



PIROLISIS SEKAM PADI DENGAN AKTIFASI ASAM SULFAT UNTUK ADSORPSI KESADAHAN KALKSIUM

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



WORDO AYU KUSUMADEWI

NIM. 125061101111020

PRISKA SARASWATI

NIM. 125061107111008

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

2016

LEMBAR PENGESAHAN

PIROLISIS SEKAM PADI DENGAN AKTIFASI ASAM SULFAT UNTUK ADSORPSI KESADAHAN KALSIUM

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



WORD AYU KUSUMADEWI

NIM. 125061101111020

PRISKA SARASWATI

NIM. 125061107111008

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 25 April 2016

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 196001261986031001

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Ismuyanto, MS
NIP. 196005041986031003

[illegible]

*Teriring Ucapan Terimakasih Kepada:
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*

[Repository](#)

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, 25 April 2016

Mahasiswa,



Woro Ayu Kusumadewi

NIM. 125061101111020

[illegible]

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, 25 April 2016

Mahasiswa,



Priska Saraswati

NIM. 125061107111008



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Skripsi dengan judul “PIROLISIS SEKAM PADI DENGAN AKTIFASI ASAM SULFAT UNTUK ADSORPSI KESADAHAN KALSIUM” dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan kepada:

1. Ir. Bambang Poerwadi, MS. selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Ir. Bambang Ismuyanto, MS. selaku Dosen Pembimbing I mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Seluruh staf Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi.
6. Orang tua, saudara-saudara kami, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.

Penulis mengharapkan saran dari semua pihak demi kebaikan penelitian ini. Demikian laporan ini dibuat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Malang, April 2016

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....i

DAFTAR ISI.....iii

DAFTAR TABEL.....vii

DAFTAR GAMBAR.....viii

DAFTAR LAMPIRAN.....ix

DAFTAR SIMBOL.....x

RINGKASAN.....xi

BAB I PENDAHULUAN.....1

1.1 Latar Belakang.....1

1.2 Rumusan Masalah.....2

1.3 Batasan Masalah.....2

1.4 Tujuan Penelitian.....2

1.5 Manfaat Penelitian.....2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....3

2.1 Kesadahan Air.....3

2.1.1 Pengertian Kesadahan Air.....3

2.1.2 Jenis-Jenis Kesadahan.....3

2.1.3 Metode Penanganan Kesadahan Air.....4

2.1.4 Pengukuran Kesadahan Kalsium dalam Air.....4

2.2 Adsorpsi.....5

2.2.1 Pengertian Adsorpsi.....5

2.2.2 Tipe-Tipe Adsorpsi.....6

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.....7

2.2.3.1 Luas Permukaan Adsorben.....7

2.2.3.2 Suhu Adsorpsi.....7

2.2.3.3 Porositas Adsorben.....7

2.2.3.4 Waktu Kontak.....8

2.2.4 Mekanisme Adsorpsi.....9

2.2.4.1 Perpindahan pada Larutan *Bulk*.....9

2.2.4.2 Difusi Eksternal.....10



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....27

4.1 Uji Karbon Hasil Pirolisis27

4.2 Pengaruh Suhu Pirolisis Sekam Padi Terhadap Penurunan Kesadahan Kalsium28

4.3 Hubungan Suhu Terhadap *Yield* Pirolisis Sekam Padi31

4.4 Pengaruh Aktifasi Karbon Terhadap Penurunan Kesadahan Kalsium32

4.5 Hasil Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET)33

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN35

5.1 Kesimpulan35

5.2 Saran35

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi	7
Tabel 2.2	Penghilangan Polutan Berdasarkan Jenis dan Senyawa yang Diperoleh dari Proses Adsorpsi, Perlakuan Biologis dan Penggabungan Keduanya	12
Tabel 2.3	Karakteristik Sekam Padi	14
Tabel 2.4	Daftar Fisik Unsur Silika	14
Tabel 2.5	Kandungan Produk Cair, Padat dan Gas pada Berbagai Jenis Pirolisis	15
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian	26



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan Adsorbat Eksternal dan Internal (Intrapartikel) pada Karbon Aktif	9
Gambar 4.1	Kadar Abu pada Karbon Pirolisis Sekam Padi	27
Gambar 4.2	Hubungan Konsentrasi Ca^{2+} Sisa terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon	28
Gambar 4.3	Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ca^{2+} terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon	28
Gambar 4.4	Hubungan Persen Penyisihan Ca^{2+} terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon	29
Gambar 4.5	Persentase <i>Yield</i> Pirolisis Sekam Padi	32

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data dan Perhitungan	43
Lampiran 2	Hasil Uji Laboratorium	49
Lampiran 3	Dokumentasi Penelitian	51



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar

Satuan dan Singkatannya

Simbol

keasamaan

pH

pH

konsentrasi

part per million atau ppm

C

kecepatan rotasi

rotasi per menit atau rpm

v

massa

gram atau g

m

molaritas

mol/liter atau mol/L

M

suhu

Celcius atau °C

T

volume

mililiter atau mL

V

waktu

jam atau hr

t

RINGKASAN

Woro Ayu Kusumadewi, Priska Saraswati, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2016, *Pirolisis Sekam Padi dengan Aktivasi Asam Sulfat untuk Adsorpsi Kesadahan Kalsium*, Dosen Pembimbing: Ir. Bambang Ismuyanto, MS. dan A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT.

Salah satu parameter kimia dalam persyaratan kualitas air adalah jumlah kandungan unsur Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air yang keberadaannya biasa disebut kesadahan air. Sekam padi adalah salah satu limbah agrikultur yang dapat dioptimalkan fungsinya sebagai teknologi alternatif dalam mengurangi kesadahan air. Sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memperoleh karbon aktif dengan struktur pori yang kompleks karena biomassa ini memiliki kandungan hidrokarbon tinggi di dalamnya meliputi selulosa dan lignin.

Sekam padi sebagai adsorben memerlukan tahap *pretreatment* untuk menurunkan kristalinitas selulosa dan meningkatkan porositas adsorben. Sekam padi yang telah dimodifikasi juga memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan yang belum dimodifikasi. Kapasitas adsorpsi meningkat karena adanya modifikasi mampu meningkatkan sisi aktif permukaan adsorben.

Pada penelitian ini pembuatan karbon aktif dari sekam padi melalui proses dehidrasi, pirolisis dan aktivasi menggunakan senyawa kimia yakni asam sulfat (H_2SO_4) 1 M. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu pirolisis sekam padi dan adanya aktivasi asam sulfat (H_2SO_4) terhadap kapasitas adsorpsi kesadahan kalsium oleh karbon aktif. Pirolisis sekam padi dilakukan pada suhu 500, 550, 600, 650 dan 700°C di dalam reaktor pirolisis dengan mengalirkan gas nitrogen (N_2) selama 1 jam. Selanjutnya, karbon hasil pirolisis melalui tahap impregnasi selama 24 jam di dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) 1 M pada suhu ruang. Kapasitas adsorpsi optimum dimiliki oleh karbon hasil pirolisis 600°C dengan aktivasi asam sulfat (H_2SO_4) 1 M.

Kata kunci: kesadahan, sekam padi, aktivasi, pirolisis, adsorpsi

SUMMARY

Woro Ayu Kusumadewi, Priska Saraswati, Departement of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, February 2016, *Pyrolysis of Rice Husk with Sulphuric Acid Activation to Adsorp Calcium Hardness*, Academic Supervisor: Ir. Bambang Ismuyanto, MS. and A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT.

One of the chemical parameters in water quality is the number of Ca^{2+} and Mg^{2+} content in the presence of water commonly called water hardness. Rice husk is one of the agricultural waste that can be optimized as an alternative technology to reduce water hardness. Rice husk can be used as raw material to obtain activated carbon with complex pore structure because this biomass has high hydrocarbon content, include cellulose and lignin.

Rice husk as an adsorbent require pretreatment stage to reduce cellulose crystallinity and increase the porosity of the adsorbent. The modified rice husk also has a higher adsorption capacity than the unmodified. Adsorption capacity increases because of the modification is able to increase the active surface of the adsorbent.

In this study, activated carbon made of rice husk through dehydration, pyrolysis and activation process. Pyrolysis of rice husk done by drain off N_2 for 1 hour inside pyrolysis reactor. Chemical activation done by 1 M H_2SO_4 impregnation for 24 hours. The pyrolysis process has been applied to the rice husk material at different temperatures 500, 550, 600, 650 and 700°C with 1 M H_2SO_4 impregnation, to investigate two topics: (1) influence of temperature on adsorption capability, (2) influence of chemical activation on adsorption capability. Optimum capability achieved by 600°C pyrolysis accompanied by 1 M H_2SO_4 impregnation.

Keywords: hardness, rice husk, activation, pyrolysis, adsorption



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesadahan merupakan salah satu parameter tentang kualitas air bersih yang menunjukkan ukuran pencemaran air oleh mineral-mineral terlarut berupa Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Air yang kesadahannya tinggi apabila dikonsumsi secara terus menerus akan mengakibatkan terjadinya gangguan kesehatan yaitu perut menjadi mual bahkan terjadinya gangguan pada fungsi ginjal. Selain itu dapat pula mengurangi daya aktif sabun, membentuk kerak pada alat masak dan penyumbatan pada pipa (Rosidi, 2001). Adsorpsi menggunakan karbon aktif dari biomassa dapat menjadi teknologi alternatif yang digunakan untuk mengurangi kesadahan air. Adsorpsi merupakan terjerapnya suatu zat baik molekul atau ion pada permukaan adsorben (Sulistiyi, 2005).

Sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memperoleh karbon aktif dengan struktur pori yang kompleks karena biomassa ini memiliki kandungan hidrokarbon tinggi di dalamnya meliputi selulosa dan lignin (Kumar, 2012). Data dari BPS 2015 menunjukkan bahwa Indonesia saat ini mampu menghasilkan 75.550 ton padi dalam satu tahun. Sekam padi hingga kini hanya dimanfaatkan untuk arang pembakaran batu bata. Oleh karena itu, sekam padi dapat ditingkatkan nilai gunanya dengan menjadikannya sebagai karbon aktif. Sekam padi memiliki komposisi karbon sebesar 35% sehingga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan karbon aktif (Kumar, 2012).

Menurut Kumar (2012:87) pembuatan karbon aktif sekam padi dapat dilalui melalui dua proses *pretreatment* yang yaitu aktivasi fisika atau disebut aktivasi termal dan aktivasi kimia dimana karbonisasi diikuti dengan pengaktifan arang menggunakan agen kimiawi. *Pretreatment* dapat menyebabkan penurunan kristalinitas dan peningkatan porositas adsorben (Daffalla dkk, 2010).

Menurut Argun (2006:32) aktivasi kimia dilakukan dengan menambahkan asam yakni asam sulfat (H_2SO_4). Semakin tinggi tingkat keasaman maka efisiensi adsorpsi akan semakin meningkat. Adanya modifikasi kimia melalui aktivasi adsorben akan meningkatkan porositas dan menurunkan kandungan senyawa organik yang tidak diharapkan.

Menurut Ali (2010:45) pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C dimana komponen yang tidak stabil secara termal dan material volatil menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan hidrokarbon poliaromatik. Proses



treatment termal atau pirolisis dapat meningkatkan banyak pori di permukaan biomassa karbon aktif, hal ini membuat karbon aktif memiliki kemampuan sebagai material media adsorben. Secara umum, luas permukaan karbon aktif akan meningkat dengan proses pirolisis seiring dengan meningkatnya porositas (Paethanom, 2012).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh suhu pirolisis sekam padi terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dari sekam padi dalam menurunkan kesadahan?
2. Bagaimana pengaruh aktivasi asam sulfat (H_2SO_4) terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dari sekam padi dalam menurunkan kesadahan?
3. Apakah sekam padi dapat dijadikan bahan baku alternatif pembuatan karbon aktif?

1.3 Batasan Masalah

1. Sekam padi yang digunakan berasal dari lahan pertanian di desa Sukodono, Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Aktifator yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4) 1 M
3. Proses yang digunakan adalah pirolisis dengan variasi suhu 500, 550, 600, 650 dan 700°C
4. Limbah sintetis terbuat dari larutan senyawa $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ dengan konsentrasi Ca 500 mg/L

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh suhu pirolisis sekam padi terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dari sekam padi dalam menurunkan kesadahan kalsium.
2. Mengetahui pengaruh aktivasi asam sulfat (H_2SO_4) terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dari sekam padi dalam menurunkan kesadahan kalsium.
3. Mengetahui pemanfaatan sekam padi sebagai bahan baku alternatif pembuatan karbon aktif.

1.5 Manfaat Penelitian

Memberikan referensi mengenai dampak pirolisis dan aktivasi terhadap aktifitas karbon aktif dari sekam padi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kesadahan Air

2.1.1 Pengertian Kesadahan Air

Air merupakan unsur penting dalam kehidupan. Hampir seluruh kehidupan di dunia ini tidak terlepas dari adanya unsur air ini. Air yang banyak mengandung mineral kalsium dan magnesium dikenal sebagai “air sadah” atau air yang sukar untuk dipakai mencuci. Senyawa kalsium dan magnesium bereaksi dengan sabun membentuk endapan dan mencegah terjadinya busa dalam air. Oleh karena senyawa-senyawa kalsium dan magnesium relatif sukar larut dalam air, maka senyawa-senyawa itu cenderung untuk memisah dari larutan dalam bentuk endapan atau presipitat yang akhirnya menjadi kerak (Atastina, 2010).

Kesadahan merupakan salah satu parameter kualitas air yang dapat diukur secara tradisional dengan mereaksikan air dan sabun, semakin sadah air tersebut maka semakin banyak sabun yang dibutuhkan untuk membuat busa. Kesadahan tidak hanya disebabkan oleh senyawa tunggal namun oleh berbagai ion logam polivalen, yang didominasi oleh kation kalsium dan magnesium, juga kation lainnya (seperti aluminium, barium, besi, mangan, strontium dan seng). Kesadahan diekspresikan setara miligram kalsium karbonat per liter. Air yang mengandung kalsium karbonat pada konsentrasi dibawah 60 mg/l secara umum merupakan kesadahan lunak, 60-120 mg/L merupakan kesadahan sedang, 120-180 mg/L sebagai kesadahan tinggi dan lebih dari 180 mg/L merupakan kesadahan sangat tinggi (WHO, 2011).

Banyak kontaminan yang diketahui terdapat didalam air, namun kandungan kalsium dan magnesium sering menjadi perhatian khusus karena kehadirannya menyebabkan terjadinya kesadahan pada air. Kesadahan air dapat bervariasi antara satu tempat dengan tempat lainnya tergantung pada kondisi geologi tanah yang mengalami kontak dengan air. Kesadahan utamanya disebabkan karena kontak dengan tanah dan batuan yang banyak mengandung kalsium dan magnesium (Sawyer, 2003).

2.1.2 Jenis-jenis Kesadahan Air

Kesadahan air dapat dibedakan atas 2 macam yaitu kesadahan sementara (temporer) dan kesadahan tetap atau permanen. Kesadahan sementara disebabkan oleh garam-garam karbonat (CO_3^{2-}) dan bikarbonat (HCO_3^-) dari kalsium dan magnesium. Kesadahan karbonat merupakan bagian dari kesadahan total yang ekuivalen dengan alkalinitas yang disebabkan



oleh (CO_3^{2-}) dan (HCO_3^-). Kesadahan tetap disebabkan oleh adanya garam-garam klorida (Cl^-) dan sulfat (SO_4^{2-}) dari kalsium dan magnesium. Kesadahan ini disebut juga kesadahan non karbonat (Widayat, 2002). Uji kesadahan dapat dilakukan dengan membuat larutan uji sintetis dari senyawa CaCl_2 yang dilarutkan di dalam air sehingga akan terionisasi menjadi Ca^{2+} dan Cl^- dengan batas kelarutan 102 gram CaCl_2 /100 gram air (Perry, 2008). Ion Ca^{2+} inilah yang akan dikurangi konsentrasinya dengan cara adsorpsi.

2.1.3 Metode Penanganan Kesadahan Air

Kini terdapat banyak proses yang dapat diaplikasikan untuk mengurangi ion divalen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) diantaranya proses elektrokimia, nanofiltrasi, elektrodialisis, ultrafiltrasi, pertukaran ion, membran, osmosis balik dan lain-lain. Dua metode utama yang sering digunakan untuk mengurangi kesadahan pada air yakni proses *lime-soda ash* dan pertukaran ion menggunakan resin. Adsorpsi menggunakan karbon aktif dari biomassa dapat menjadi alternatif untuk menurunkan kesadahan pada air karena limbah agrikultur secara lokal dapat ditemui dengan mudah di berbagai tempat meskipun hasil adsorpsinya belum menjanjikan. Tantangan utama apabila ingin membuat adsorben dari biomassa adalah memilih jenis biomassa yang paling potensial dari banyaknya biomassa yang tersedia di lingkungan (Kratochvil dan Volesky, 1998). Hal ini disebabkan perlu adanya proses tambahan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif berbahan dasar biomassa salah satunya proses ekstraksi silika bagi biomassa dengan kandungan silika tinggi yang dapat menghambat proses adsorpsi (Alfarez, 2012).

2.1.4 Pengukuran kesadahan kalsium dalam air

Kesadahan air dapat dinyatakan dengan mg/liter CaCO_3 . Metode yang dapat digunakan dalam menentukan kesadahan air adalah dengan metode perhitungan dan metode titrasi EDTA. Metode perhitungan didasarkan atas perhitungan dari ion-ion yang bervalensi 2 yang didapat dari hasil analisis. Metode titrasi EDTA banyak digunakan di laboratorium untuk penentuan kesadahan. Metode ini berhubungan dengan penggunaan larutan EDTA (*Ethylene Diamine Tetra Acetic*) atau garam sodium sebagai agen titrasi. Indikator yang digunakan adalah *Eriochrome Black T* (Marsidi, 2001).

Garam dinatrium etilen diamin tetra asetat (EDTA) akan bereaksi dengan kation logam tertentu membentuk senyawa kompleks kelat yang larut. Pada pH 10,0 $\pm$ 0,1, ion-ion kalsium serta magnesium dalam contoh uji akan bereaksi dengan indikator Eriochrome Black T (EBT) dan membentuk larutan berwarna merah keunguan. Jika Na_2EDTA



ditambahkan sebagai titran, maka ion-ion kalsium dan magnesium akan membentuk senyawa kompleks, molekul indikator terlepas kembali dan pada titik akhir titrasi larutan akan berubah warna dari merah keunguan menjadi biru. Dari cara ini akan didapat kesadahan total ($\text{Ca} + \text{Mg}$). Kalsium dapat ditentukan secara langsung dengan EDTA bila pH contoh uji dibuat cukup tinggi (12-13) sehingga magnesium akan mengendap sebagai magnesium hidroksida dan pada titik akhir titrasi indikator Eriochrome Black T (EBT) hanya akan bereaksi dengan kalsium saja membentuk larutan berwarna biru. Dari cara ini akan didapat kadar kalsium dalam air dan rumus perhitungannya ditunjukkan pada Persamaan 2-1 dan 2-2 (SNI, 2004).

$$\text{Kesadahan total (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{1000}{V_{C.u.}} \times V_{EDTA(a)} \times M_{EDTA} \times 100 \quad (2-1)$$

$$\text{Kadar kalsium (mg Ca/L)} = \frac{1000}{V_{C.u.}} \times V_{EDTA(b)} \times M_{EDTA} \times 40 \quad (2-2)$$

Keterangan:

$V_{C.u.}$ = volume larutan contoh uji (mL)

$V_{EDTA(a)}$ = volume rata-rata larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi kesadahan total (mL)

M_{EDTA} = molaritas larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi (mmol/mL)

$V_{EDTA(b)}$ = volume rata-rata larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi kalsium (mL)

2.2 Adsorpsi

2.2.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi merupakan akumulasi senyawa pada permukaan atau antar muka suatu material. Senyawa yang mengalami adsorpsi disebut sebagai adsorbat dan material yang mengadsorpsi adalah adsorben. Adsorpsi terjadi diantara dua fase yakni cair-cair, gas-cair, gas-padat atau interfase cair-padat. Pada adsorben fasa padat, lapisan interfase berada diantara fase padat dan fluida. Lapisan ini tersusun atas dua bagian yakni bagian permukaan adsorben dan fluida yakni gas atau cairan yang berada di medan gaya permukaan padatan.

Reaksi adsorpsi permukaan terjadi akibat gaya aktif yang timbul pada permukaan *boundary*. Tegangan permukaan yang timbul pada permukaan fase cair merupakan hasil dari gaya tarik antar molekul zat cair. Gaya tarik zat pelarut dengan zat terlarut lebih lemah jika dibandingkan gaya tarik molekul sejenis. Oleh karena itu, zat terlarut yang menurunkan tegangan permukaan akan terkonsentrasi di permukaan adsorben. Fenomena meningkatnya konsentrasi material terlarut pada permukaan atau *boundary*. Makna adsorpsi merujuk pada



proses dimana molekul terakumulasi di lapisan interfasa, sedangkan desorpsi merupakan proses sebaliknya (Çeçen, 2012).

2.2.2 Tipe-Tipe Adsorpsi

Adsorpsi zat terlarut dari larutan menuju ke fase padat disebabkan oleh adanya gaya dorong. Gaya dorong yang pertama adalah sifat liofobik (menolak pelarut) zat terlarut. Faktor penting yang mempengaruhi intensitas adsorpsi adalah kelarutan senyawa terlarut. Senyawa hidrofil menyukai sistem air dan cenderung untuk tinggal dalam sistem tersebut.

Oleh karena itu, senyawa hidrofil kurang tertarik pada fase padat. Sementara itu senyawa hidrofobik cenderung teradsorpsi dari pada tinggal di dalam air. Kontaminan organik kompleks seperti asam humat memiliki gugus hidrofobik dan hidrofilik sehingga sisi hidrofobik molekul teradsorpsi sementara sisi hidrofilik cenderung tinggal di dalam larutan.

Gaya dorong adsorpsi yang kedua yakni adanya afinitas zat terlarut yang disebabkan oleh gaya tarik elektrik zat terlarut menuju ke padatan. Jenis adsorpsi ini diakibatkan gaya tarik van der Waals atau interaksi kimia dengan adsorben. Gaya tarik ini diakibatkan oleh tingginya afinitas zat terlarut partikel padatan. Adsorpsi yang disebabkan oleh gaya van der Waals biasa dikenal sebagai adsorpsi fisik atau fisisorpsi. Fisisorpsi tidak tergantung pada karakteristik elektron dari adsorbat atau molekul adsorben. Pada fisisorpsi tidak terjadi pertukaran elektron. Adsorbat melekat pada permukaan adsorben karena adanya van der Waals lemah. Pada fisisorpsi akan terbentuk beberapa lapisan dengan panas adsorpsi yang sama. Adsorpsi fisik utamanya berlangsung pada suhu dibawah 150°C dan ditunjukkan oleh lemahnya energi adsorpsi. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat di suatu lokasi spesifik jika dibandingkan dengan adsorpsi kimia. Oleh karena itu, molekul yang teradsorpsi secara fisik dapat bergerak bebas di dalam lapisan interfasa.

Pada adsorpsi kimia atau kemisorpsi, adsorbat mengalami interaksi kimia dengan adsorben. Kemisorpsi melibatkan pertukaran elektron-elektron antara molekul terlarut dan sisi permukaan spesifik sehingga akan terbentuk ikatan kimia. Adsorbat yang teradsorpsi secara kimiawi tidak mudah untuk bergerak pada permukaan atau di sepanjang lapisan interfasa. Adsorpsi kimia ditunjukkan oleh tingginya energi adsorpsi (dalam satuan kcal/mol) karena adsorbat membentuk ikatan pada pusat aktif adsorben. Adsorpsi kimia utamanya berlangsung pada suhu tinggi karena reaksi kimia dapat berjalan lebih cepat pada suhu tinggi. Pada umumnya hanya satu lapisan molekul yang akan teradsorpsi secara kimiawi. Tabel 2.1 di bawah ini menunjukkan perbandingan antara adsorpsi kimia dan fisika.



Tabel 2.1 Perbedaan Fisisorpsi dan Kemisorpsi

	Fisisorpsi	Kemisorpsi
Jumlah lapisan	Satu atau banyak lapisan	Satu lapisan
Sifat adsorpsi	Nondisosiatif dan reversibel	Disosiatif dan irreversibel
Spesifikasi lokasi adsorpsi	Nonspesifik	Sangat spesifik
Rentang suhu	Sekitar atau di bawah titik kondensasi gas	Tidak terbatas
Entalpi adsorpsi	5-40 kJ/mol	40-800 kJ/mol
Kinetika adsorpsi	Cepat	Bervariasi, kadang-kadang lambat
Spesi terdesorpsi	Adsorbat tidak berubah	Adsorbat berubah

(Sumber: Çeçen, 2012)

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

2.2.3.1 Luas Permukaan Adsorben

Tingkat adsorpsi biasanya sebanding dengan luas permukaan spesifik. Luas permukaan spesifik merupakan luas permukaan total yang digunakan untuk adsorpsi. Adsorben yang memiliki banyak pori dan semakin halus akan memberikan hasil adsorpsi lebih banyak pada tiap gram adsorbennya. Permukaan adsorben dapat diuji karakteristiknya dari eksternal maupun internal. Karakteristik eksternal meliputi tonjolan (*bulges*) dan rongga (*cavities*) dengan lebar lebih besar daripada kedalamannya. Sedangkan karakteristik internal meliputi pori dan rongga (*cavities*) dengan kedalaman lebih besar daripada lebarnya (Çeçen, 2012).

2.2.3.2 Suhu Adsorpsi

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 seiring dengan menurunnya suhu karena reaksi adsorpsi bersifat eksotermis. Namun, meningkatnya suhu akan menambah laju difusi zat terlarut dari cairan menuju ke lokasi adsorpsi sehingga seringkali memicu peningkatan adsorpsi. Suhu memegang peranan penting yang membedakan antara adsorpsi zat terlarut dan gas. Peningkatan suhu akan meningkatkan kecenderungan gas untuk lepas dari interfase sehingga mengurangi adsorpsi. Namun, pada adsorpsi cairan, pengaruh suhu lebih dominan pada afinitas pelarut (Çeçen, 2012).

2.2.3.3 Porositas Adsorben

Hasil adsorpsi tergantung pada kemudahan untuk mencapai permukaan internal karbon aktif. Sifat adsorben yang sangat penting dan menjadi faktor penentu hasil adsorpsi adalah



struktur pori. Jumlah pori, bentuk serta ukuran pori menentukan kapasitas adsorpsi dan laju adsorpsi. Pengaruh pori pada proses adsorpsi sangat ditentukan oleh ukurannya. Sebagian besar adsorben pada memiliki struktur kompleks yang terdiri atas banyak pori dengan ukuran dan bentuk yang berbeda. Pori diklasifikasikan menjadi tiga golongan. Menurut IUPAC, mikropori adalah pori dengan lebar tidak lebih dari 2 nm, mesopori memiliki lebar antara 2-50 nm dan makropori memiliki lebar lebih besar dari 50 nm. Terdapat klasifikasi tambahan yakni ultramikropori dengan lebar lebih kecil dari 0,7 nm.

Mekanisme adsorpsi pada permukaan makropori tidak berbeda dengan permukaan yang rata. Luas permukaan spesifik dari adsorben makropori sangat kecil. Sehingga adsorpsi pada permukaan makropori biasanya tidak diperhitungkan. Kondensasi adsorbat di kapiler tidak terjadi pada makropori. Makropori tidak mengadsorpsi molekul kecil dengan volumenya yang besar namun dengan permukaannya yang spesifik. Contohnya adsorpsi fenol pada makropori memberikan hasil yang kurang signifikan dibandingkan meso- dan mikropori.

Pada mesopori, luas permukaan adsorben memiliki karakteristik fisika yang berbeda. Adsorpsi *monolayer* dan *multilayer* terjadi beriringan pada permukaan mesopori dan proses adsorpsi berlangsung sesuai mekanisme kondensasi adsorbat pada kapiler. Luas permukaan spesifik, volume pori dan distribusi volume pori merupakan parameter dasar untuk mengetahui karakteristik mesopori. Mesopori dan makropori memiliki peran yang penting dalam proses perpindahan molekul adsorbat melalui mikropori.

Ukuran mikropori biasanya sebanding dengan molekul adsorbat. Atom-atom atau molekul adsorben dapat berinteraksi dengan spesi adsorbat. Hal inilah yang menjadi dasar perbedaan antara adsorpsi mikropori dan pori yang berukuran lebih besar yakni meso- dan makropori. Akibatnya, volume menjadi parameter pengontrol untuk adsorpsi pada mikropori.

Selain itu, sebagian besar dari total luas permukaan ditemukan dalam mikropori dan kontribusi pori makro pada total luas permukaan sangat rendah dengan demikian kontribusi mikropori untuk adsorpsi akan lebih tinggi. Energi penyerapan pada mikropori lebih tinggi sehingga menyebabkan mikropori dapat digunakan untuk adsorpsi senyawa organik dengan berat molekul rendah (Çeçen, 2012).

2.2.3.4 Waktu Kontak

Ketika karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah yang



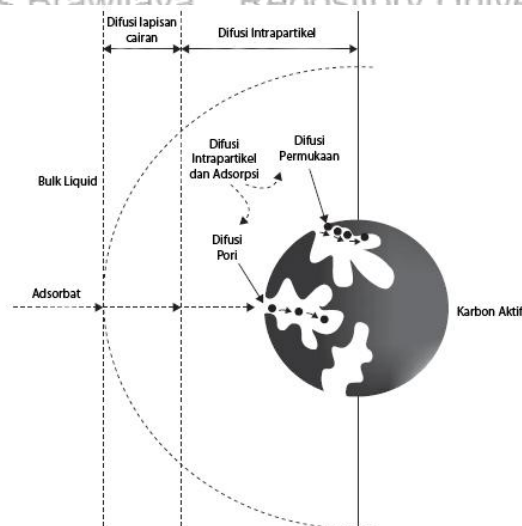
digunakan. Waktu yang dibutuhkan ditentukan oleh dosis karbon aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk bersinggungan dengan senyawa serapan. Larutan yang mempunyai viskositas tinggi memerlukan waktu singgung yang lebih lama. Penggunaan bubuk karbon aktif mempunyai kelebihan sebagai berikut:

1. Sangat ekonomis karena ukuran butir yang kecil dan luas permukaan kontak per satuan berat sangat besar.
2. Kontak menjadi sangat baik dengan mengadakan pengadukan cepat dan merata.

(Widyastuti, 2011)

2.2.4 Mekanisme Adsorpsi

Pada sistem adsorpsi, kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat terbentuk pada *bulk phase*. Definisi kinetika adsorpsi merupakan laju untuk mencapai titik kesetimbangan. Kesetimbangan adsorpsi tidak muncul dengan segera karena laju adsorpsi biasanya dibatasi oleh mekanisme transfer massa serta tergantung pada sifat adsorben dan adsorbat. Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan mekanisme adsorbat menuju ke permukaan karbon dan fenomena adsorpsi.



Gambar 2.1 Perpindahan Adsorbat Eksternal dan Internal (Intrapartikel) pada Karbon Aktif
(Sumber: Çeçen, 2012)

2.2.4.1 Perpindahan pada Larutan *Bulk*

Awalnya adsorbat berpindah dari larutan *bulk* menuju ke lapisan pembatas pada air (*film liquid*) yang mengelilingi partikel karbon aktif. Di dalam air yang tidak bergerak dimana karbon aktif dalam bentuk tersuspensi, proses perpindahan terjadi secara difusi. Namun



dapat berlangsung melalui pengadukan turbulen seperti pada aliran granular karbon aktif di dalam *packed bed* atau pengadukan partikel karbon aktif pada unit *treatment* air (Çeçen, 2012).

2.2.4.2 Difusi Eksternal

Pada peristiwa adsorpsi terdapat hambatan proses transfer massa menuju ke permukaan karbon dalam hal ini adalah perpindahan adsorbat dari larutan *bulk* melewati lapisan stasioner air yakni lapisan pembatas hidrodinamika, *liquid film* atau *film* eksternal, yang mengelilingi partikel adsorben. Gaya dorong difusi molekul yakni perbedaan konsentrasi. Laju difusi tergantung pada sifat hidrodinamika sistem (Çeçen, 2012).

2.2.4.3 Difusi Intrapartikel (Internal)

Difusi intrapartikel melibatkan transfer adsorbat dari permukaan menuju ke dalam partikel, contohnya partikel karbon aktif. Proses transfer tidak tergantung pada kondisi hidrodinamika sistem namun tergantung pada ukuran dan struktur pori partikel. Difusi intrapartikel berlangsung karena adanya difusi pori yakni difusi molekular zat terlarut untuk memenuhi pori-pori partikel. Selain itu ada tipe lain pada difusi intrapartikel yakni difusi permukaan atau difusi padatan. Difusi permukaan adalah difusi zat terlarut di sepanjang permukaan adsorben setelah terjadinya proses adsorpsi. Difusi permukaan hanya terjadi jika gaya tarik permukaan tidak cukup kuat untuk mecegah mobilitas permukaan molekul. Adsorpsi terjadi secara signifikan pada adsorben berpori dengan luas permukaan yang tinggi dan pori yang sempit. Secara umum makropori disebut sebagai difusi pori dan mikropori sebagai difusi permukaan (Çeçen, 2012).

2.2.4.4 Adsorpsi

Setelah adsorbat berpindah menuju ke lokasi spesifik adsorben maka terbentuklah ikatan dengan adsorben. Pada kasus adsorpsi fisika, melekatnya adsorbat secara fisik ke adsorben dianggap terjadi secara cepat. Oleh karena itu, tahapan paling lambat di antara tahap difusi awal yakni adveksi, difusi eksternal atau difusi internal, disebut juga dengan *rate-limiting step*, akan mengontrol laju perpindahan adsorbat dari larutan. Namun jika adsorpsi diikuti dengan reaksi kimia yang mengubah keadaan awal molekul maka reaksi kimia akan berjalan lebih lambat daripada proses difusi dan menjadi kontrol bagi laju perpindahan molekul (Çeçen, 2012).



2.3 Karbon Aktif

2.3.1 Pengertian Karbon Aktif sebagai Adsorben

Karbon aktif merupakan adsorben yang memiliki porositas tinggi. Permukaan berpori dari karbon aktif dapat mengadsorpsi dan menyimpan zat terlarut juga gas didalam porinya, jumlah material yang diadsorpsi bisa dalam jumlah yang besar karena besarnya luas permukaan dalam karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan adsorpsi yang besar ($500-1500 \text{ m}^2/\text{g}$), dimana diameter volume pori berada pada $0.7-1.8 \text{ cm}^3/\text{g}$ (Çeçen, 2012).

Menurut Do (1998), pori-pori pada karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan:

1. Makropori (diameter $> 50 \text{ nm}$)
2. Mesopori (diameter $2 - 50 \text{ nm}$)
3. Mikropori (diameter $< 2 \text{ nm}$)

Dari ketiga golongan tersebut, yang memegang peranan penting pada proses penjerapan adalah mikropori karena volume total lubang mikropori jauh lebih besar daripada volume total makropori dan mesopori. Makropori dan mesopori hanya berfungsi sebagai *transport pore* (jalan menuju mikropori). Melalui penelitian dengan sinar X diperlihatkan bahwa karbon aktif mempunyai bentuk amorf atau mikrokristalin yang terdiri dari plat-plat datar dimana atomatom C-nya tersusun dan terikat secara kovalen dalam bentuk cincin 6 karbon (Hassler, 1951).

Karbon aktif sudah digunakan sebagai instrumen penanganan polusi lingkungan sejak pertengahan abad ke- 20 hingga saat ini. Sekarang, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan berbagai macam senyawa organik maupun inorganik dari air permukaan, air tanah dan limbah. Proses adsorpsi dengan karbon aktif juga banyak digunakan dalam penanganan air minum diantaranya penghilangan klorin, rasa dan bau yang disebabkan oleh senyawa klorofenol didalam air, senyawa-senyawa organik sintetis dan inorganik seperti brom. Prosedur adsorpsi menggunakan karbon aktif banyak dikembangkan untuk menghilangkan senyawa-senyawa inorganik. Lebih dari 800 senyawa organik dan inorganik diidentifikasi terdapat pada beragam jenis air minum. Kehadiran senyawa-senyawa tersebut sangat berimbas pada kesehatan dan dampak lingkungan sehingga perlu usaha yang sangat besar untuk melakukan kontrol bahkan penghilangan senyawa-senyawa tersebut, metode yang mayoritas banyak digunakan yaitu dengan adsorpsi menggunakan karbon aktif. Pada peralatan industri karbon aktif banyak digunakan untuk menangani air pada generator uap, alat penukar panas juga dalam produksi air *ultrapure*. Tabel 2.2 menunjukkan gambaran



pengurangan polutan berdasarkan jenis penanganan baik secara penghilangan, biologi, adsorpsi dan maupun penggabungan keduanya. (Çeçen, 2012).

Tabel 2.2 Penghilangan Polutan Berdasarkan Jenis dan Senyawa yang Diperoleh dari Proses Adsorpsi, Perlakuan Biologis dan Penggabungan Keduanya

Parameter/grup polutan	Kepentingan untuk penanganan air (W), air tanah (GW) atau air limbah	Adsorpsi Karbon Aktif	Penghilangan dengan cara biologis atau transformasi	Gabungan keduanya
Polutan organik				
<i>Oxygen demand parameters</i>				
BOD	WW	F to G	G to E	E
COD	WW	G	L to G	G to E
<i>Organic carbon parameters</i>				
TOC	W, WW, GW	G	L to G	G to E
DOC	W, WW, GW	G	L to G	G to E
VOC	W, WW, GW	L to G	L to G	G to E
BDOC	W, GW	F to G	G to E	E
AOC	W, GW	F to G	E	E
<i>Other organic parameters</i>				
AOX	W, WW, GW	G to E	L to F	G to E
UV	W, WW, GW	G	L	G to E
<i>Organic pollutant groups</i>				
THMs	W, GW	G	P to L	G
HAAs	W, GW	G	G	G to E
Pestisida	W, GW	F to E	L to F	G
Farmasi	W, WW	F to E	F to E	G to E
EDCs	W, WW	G	P to G	G to E
Hidrokarbon terklorinasi	GW, WW	F to E	L to G	G to E
<i>Inorganic pollutants</i>				
Brom	W	L to F ^a	F to G ^d	G ^d
Perklorat	GW	N	G	G to E
Ammonia	W, WW	N	G	G to E
Nitrat	GW, WW	N	G	G to E
Logam	W, GW, WW	P to G ^b	F ^e	G ^c

(Sumber: Çeçen, 2012).

Keterangan :

E: excellent, G: good, F: fair, L: low, P: poor, N: none

^apenghilangan pada permukaan

^bbergantung pada jenis dan kondisi

^cadanya kemungkinan transformasi dan/atau biosorpsi

^dtak menentu

^eVolatile Organic Carbon: senyawa organik volatil diukur berdasarkan surrogate carbon



2.3.2 Sumber Bahan Baku Karbon Aktif

Saat ini sudah banyak pembuatan karbon aktif yang beredar dan dikomersialisasikan, karbon aktif tersebut terbuat dari bahan-bahan yang memiliki kandungan karbon yang tinggi seperti batu bara, *lignite*, kayu, cangkang kacang, cangkang kelapa, sekam padi, lignin, kokas minyak bumi dan polimer sintetik dengan berat molekul yang tinggi (Çeçen, 2012).

2.3.2.1 Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif

Sekam padi adalah salah satu limbah agrikultur yang banyak dijumpai di negara penghasil beras. Pada umumnya sekam dari proses penggilingan padi dibakar atau dibuang sebagai limbah. Sekam padi yang dibakar pada kondisi ambien akan meninggalkan residu yang disebut abu sekam padi. Setiap 1000 kilogram padi yang telah digiling akan menghasilkan sekitar 220 kilogram (22%) sekam dan apabila sekam ini dibakar pada sebuah tungku akan menghasilkan sekitar 55 kilogram (25%) abu sekam padi (Kumar, 2012).

Sekam padi hasil proses penggilingan menimbulkan masalah pengolahan limbah karena hanya menarik sedikit perhatian komersil. Selain itu, penanganan dan transportasi sekam padi juga menjadi masalah karena densitasnya yang rendah. Abu sekam padi merupakan masalah yang cukup serius bagi lingkungan karena dapat merusak tanah jika ditimbun di sembarang tempat (Kumar, 2012).

2.3.2.2 Komposisi Sekam Padi

Sekam padi memiliki karakteristik tertentu di dalamnya yang tergantung pada varietas padi, kondisi tanah, iklim dan kondisi geografis lahan pertanian. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan karakteristik sekam padi pada umumnya. Sekam padi memiliki kadar abu cukup tinggi jika dibandingkan dengan biomassa lainnya yang berada pada rentang 10-20%.

Abu dari sekam padi ini mengandung 87-97% silika, memiliki banyak pori dan bobotnya ringan dengan luas permukaan luar yang cukup besar. Komponen lain yang terdapat pada abu sekam padi yakni K_2O , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , Fe_2O_3 dengan persentase kurang dari 1% keseluruhan.



Tabel 2.3 Karakteristik Sekam Padi

Karakteristik	Rentang
<i>Bulk Density</i> (km/m ³)	96-160
Kesadahan (Skala Mohr)	5-6
Abu (%)	22-29
Karbon (%)	≈ 35
Hidrogen (%)	4-5
Oksigen (%)	31-37
Nitrogen (%)	0,23-0,32
Sulfur (%)	0,04-0,08
Kelembaban (%)	8-9

(Sumber: Kumar, 2012)

Menurut Kumar (2012), sekam padi mengandung hingga 29% kadar abu dengan kandungan silika 87-97% dan karbon sebesar ±35%. Kandungan silika ini merupakan salah satu permasalahan dalam pembuatan karbon aktif karena akan menurunkan luas permukaannya. Silika merupakan Silika (Si) merupakan salah satu unsur golongan IVA yang merupakan unsur logamoid atau semi logam. Silika tidak bereaksi dengan asam nitrat, asam klorida, dan asam sulfat akan tetapi larut dalam asam hidrofluorik yang membentuk gas dan silikon tetrafluorida (SiF₄). Data fisik mengenai silikon dapat dilihat di Tabel 2.3.

Silika atau silikon dioksida (SiO₂) adalah senyawa kimia yang terbentuk dari atom silikon dan oksigen (Sunardi, 2006)

Tabel 2.4 Data Fisik Unsur Silika

Volume Atom	12.1 cm ³ /mol
Titik Didih	2603 K
Titik Lebur	1683 K
Massa Jenis	2.33 gram/cm ³
Kapasitas Panas	0.7 J/g.K
Konduktivitas Kalor	148 W/mK

(Sumber: Sunardi, 2006)

Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik abu sekam padi yakni kondisi insinerasi (suhu dan lama pembakaran), laju pemanasan, teknik pembakaran, varietas padi dan pupuk yang digunakan. Silika pada abu sekam padi mengalami transformasi struktur bergantung pada kondisi pembakaran seperti waktu dan suhu (Kumar, 2012).

Sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memperoleh karbon aktif dengan struktur pori yang kompleks karena biomassa ini memiliki kandungan hidrokarbon tinggi di dalamnya meliputi selulosa dan lignin (Kumar, 2012).



2.3.3 Metode Pembuatan Karbon Aktif

Menurut Julandini (2008), pembuatan karbon aktif berlangsung 3 tahap yaitu proses dehidrasi, proses karbonisasi dan proses aktifasi:

1. Proses Dehidrasi

Proses ini dilakukan dengan memanaskan bahan baku sampai suhu 105°C selama 24 jam dengan tujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air pada bahan baku. Kemudian diukur kadar air.

2. Proses Karbonisasi (Pirolisis)

Menurut Wild (2011) pirolisis dapat didefinisikan sebagai dekomposisi termal material organik pada suasana inert (tanpa kehadiran oksigen) yang akan menyebabkan terbentuknya senyawa volatil. Pirolisis pada umumnya diawali pada suhu 200°C. Laju degradasi termal dan pembentukan produk pirolisis sangat bergantung pada stabilitas termokimia dari setiap senyawa penyusun biomassa. Degradasi termal hemiselulosa dilakukan pada suhu 200-300°C, selulosa pada suhu 300-400 °C dan lignin pada suhu 250-500 °C. Pirolisis suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk yaitu produk gas, cair dan padat (char). Jumlah produk gas, cair dan char tergantung pada jenis prosesnya (suhu dan waktu pirolisis) seperti terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kandungan Produk Cair, Padat dan Gas pada Berbagai Jenis Pirolisis

Jenis Pirolisis	Gas	Cair	Padat (Char)
Pirolisis Cepat			
- Suhu tinggi (hingga 1000°C)	13%	75%	12%
- Waktu pemanasan singkat (<2 detik)		(senyawa organik)	
Intermediate			
- Suhu (400-500°C)	25%	50%	25%
- Waktu pemanasan 10-30 detik			
Torrefaksi			
- Suhu (290°C)	23%	0-5%	77%
- Waktu pemanasan lama (30 menit)			
Karbonisasi			
- Suhu (400-600°C)	35%	30%	35%
- Waktu pemanasan lama (berjam-jam bahkan hari)			

(Sumber: Wild, 2011).

Proses yang digunakan untuk menghasilkan lebih banyak karbon adalah karbonisasi. Proses karbonisasi meliputi pengeringan dan pemanasan untuk menghilangkan produk samping yang tidak diinginkan seperti tar dan hidrokarbon lain. Penghilangan senyawa volatile fraksi ringan ini akan menghasilkan material dengan karbon tinggi (Çeçen, 2012).



3. Proses Aktivasi

Tujuan dasar dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa porositas baru (Smisek dan Cerny, 1970). Adanya interaksi antara zat pengaktifasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi merupakan mekanisme proses aktivasi. Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul- molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Jamilatun, 2014). Ada dua cara dalam melakukan proses aktivasi yaitu:

a. Aktivasi Fisika (*Vapor Adsorben Carbon*)

Proses aktivasi dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara ke dalam reaktor pada suhu tinggi (800-1000°C). Proses ini harus mengontrol tinggi suhu dan besarnya uap atau udara yang dipakai sehingga dihasilkan karbon aktif dengan susunan karbon yang padat dan pori yang luas.

b. Aktivasi Kimia (*Chemical Impregnating Agent*)

Metode ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada senyawa kimia asam atau basa. Beberapa senyawa kimia asam yang sering digunakan antara lain H_3PO_4 , HCl dan H_2SO_4 . Aktivasi dengan asam mampu menurunkan kandungan senyawa organik dan meningkatkan porositas adsorben serta memiliki kelebihan dapat mengadsorpsi kandungan logam berat. Sementara itu senyawa kimia basa seperti $NaOH$ memberikan keuntungan yakni meningkatkan kemampuan adsorpsi senyawa organik (Yin, 2007).

Asam sulfat, H_2SO_4 , merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Kegunaan utamanya termasuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah dan pengilangan minyak. Asam sulfat murni yang tidak diencerkan tidak dapat ditemukan secara alami di bumi oleh karena sifatnya yang higroskopis (Adinata, 2013).

Rumus Molekul : H_2SO_4

Massa molar : 98,08 gram/mol

Sifat Fisik : cairan bening, tak berwarna, dan tak berbau

Densitas : 1,84 gram/cm³, cair

Kelarutan dalam air : tercampur penuh



2.4 Karakterisasi Karbon Aktif

2.4.1 Brunauer–Emmett–Teller (BET)

Analisis BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume total pori, dan rata-rata jari-jari pori sampel adsorben yang digunakan. Pengukuran luas permukaan menggunakan teknik adsorpsi fisik dengan prinsip gaya van der Waals. Metode teoritis untuk menyatakan keseimbangan dalam adsorpsi adalah model Brunauer Emmett Teller yang lebih dikenal dengan persamaan BET. Persamaan BET sedemikian rupa diubah pada akhirnya V_m dan luas permukaan dapat ditentukan (Firdaus, 2013).

2.4.2 Yield

Setelah tahap pirolisis biomassa maka dapat dihitung *yield* karbon yang terbentuk. Menurut Ambursa (2011:735) *yield* karbon dapat diekspresikan sebagai ratio massa karbon yang terbentuk dengan massa biomassa awal. Persamaan 2-3 berikut ini digunakan untuk menghitung *yield*.

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

Keterangan:

W_0 = massa awal biomassa

W_1 = massa karbon yang terbentuk

2.4.3 Kadar Abu

Kadar abu merupakan pengukuran kandungan mineral dan senyawa anorganik lain di dalam biomassa dan digunakan dalam hubungannya dengan prosedur lain untuk menentukan total komposisi sampel biomassa (Sluiter, 2005). Penentuan kadar abu mengacu pada CEFIC-Test Methods For Activated Carbon. Kadar abu arang aktif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-4.

$$\% \text{ Kadar Abu} = \frac{F-G}{B-G} \times 100 \quad (2-4)$$

Keterangan:

G = massa *crucible* kosong (gram)

B = massa *crucible* ditambah massa sampel kering (gram)

F = massa *crucible* ditambah massa sampel abu (gram)



2.5 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini penulis memaparkan dua penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti tentang pirolisis sekam padi dengan aktivasi H_2SO_4 sebagai adsorben kesadahan kalsium.

Paethanom dkk (2012) dalam penelitiannya yang berjudul *"Influence of Pyrolysis Temperature on Rice Husk Char Characteristics and Its Tar Adsorption Capability"* memaparkan tentang kemampuan limbah biomassa sekam padi sebagai media adsorben untuk menghilangkan tar. Sekam padi diperlakukan dengan proses pirolisis pada suhu 600, 800 dan 1000°C pada laju alir panas 20°C/min. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi 2 topik yaitu pengaruh suhu pada karakterisasi karbon sekam padi dan kemampuan adsorpsi karbon sekam padi untuk penghilangan tar. Hasil yang menunjukkan bahwa pirolisis berperan untuk menaikkan porositas dari material dengan luas permukaan optimum berada pada suhu pirolisis 600°C yang juga berbanding lurus dengan efisiensi penghilangan tar. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa karakteristik karbon sekam padi dan kemampuan penghilangan tar sangat dipengaruhi oleh suhu pirolisis.

Daffala dkk (2010) dalam penelitiannya yang berjudul *"Characterization of Adsorbent Developed from Rice Husk: Effect of Surface Functional Group on Phenol Adsorption"* memaparkan tentang penggunaan adsorben dari sekam padi termodifikasi secara termal dan kimiawi untuk mengefektifkan penghilangan fenol dari limbah industri. Hal ini disebabkan karena fenol dan turunannya merupakan racun terbanyak dari limbah industri yang dapat menyebabkan bahaya karsinogenik di alam. Perlakuan termal dilakukan dengan pembakaran sekam padi pada suhu 300 hingga 600°C untuk menentukan suhu pembakaran optimum sedang perlakuan kimia dilakukan dengan basa (0.5 M NaOH) dan asam (13 M H_2SO_4) untuk melihat perbedaan dari keduanya. Hasilnya mengidentifikasikan bahwa *pretreatment* atau perlakuan pada sekam padi membuat perubahan pada gugus fungsi dipermukaan adsorben dan meningkatkan luas permukaan adsorben. Pembakaran dari suhu 300 hingga 600°C menyebabkan peningkatan porositas serta luas permukaan pada adsorben dan perlakuan dengan penambahan 13 M H_2SO_4 meningkatkan porositas dibanding dengan sekam padi tanpa perlakuan.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental. Penelitian ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan dan bertujuan mengetahui hasil yang diperoleh apabila variabel-variabel tersebut diubah maupun dikontrol selama penelitian.

3.2 Tempat Penelitian

Pembuatan karbon aktif dari sekam padi dengan aktifator asam sulfat (H_2SO_4) termasuk proses adsorpsi dilakukan di Laboratorium Sains Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Analisis karakteristik adsorben yakni Brunauer–Emmett–Teller (BET) dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia Institut Teknologi Surabaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini meliputi variabel tetap, bebas dan terikat. Variabel tetap adalah variabel yang nilainya tetap dan tidak berubah dalam setiap percobaan yang dilakukan. Variabel bebas adalah variabel yang nilainya tidak tergantung pada variabel lain dan divariasikan kondisi operasinya. Sedangkan variabel terikat adalah variabel yang nilainya ingin diketahui tergantung pada variabel lain yaitu variabel bebas.

1. Variabel tetap

Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini antara lain waktu pirolisis, waktu aktifasi dan massa karbon aktif.

2. Variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini antara lain suhu pirolisis yakni 500, 550, 600, 650, 700 °C dan konsentrasi H_2SO_4 yakni 0 dan 1 M.

3. Variabel terikat

Variabel terikat yang akan ditentukan nilainya dari penelitian ini antara lain *yield*, kadar abu dan kapasitas adsorpsi kesadahan kalsium.



3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

1. Oven
2. *Shaker*
3. Reaktor pirolisis
4. Kertas saring
5. Pengayak 50 mesh
6. Desikator
7. *Furnace*

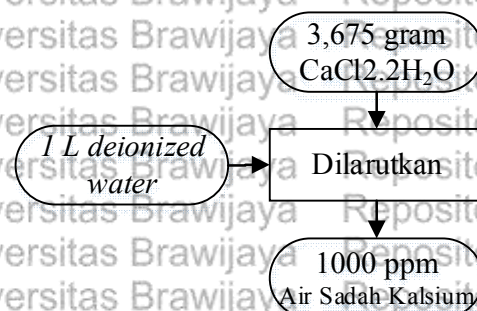
3.4.2 Bahan Penelitian

1. Sekam padi
2. H_2SO_4 1 M
3. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
4. *Deionized water*
5. Indikator Eriochrome Black-T (EBT)
6. Na_2EDTA 0.01 M

3.5 Prosedur Penelitian

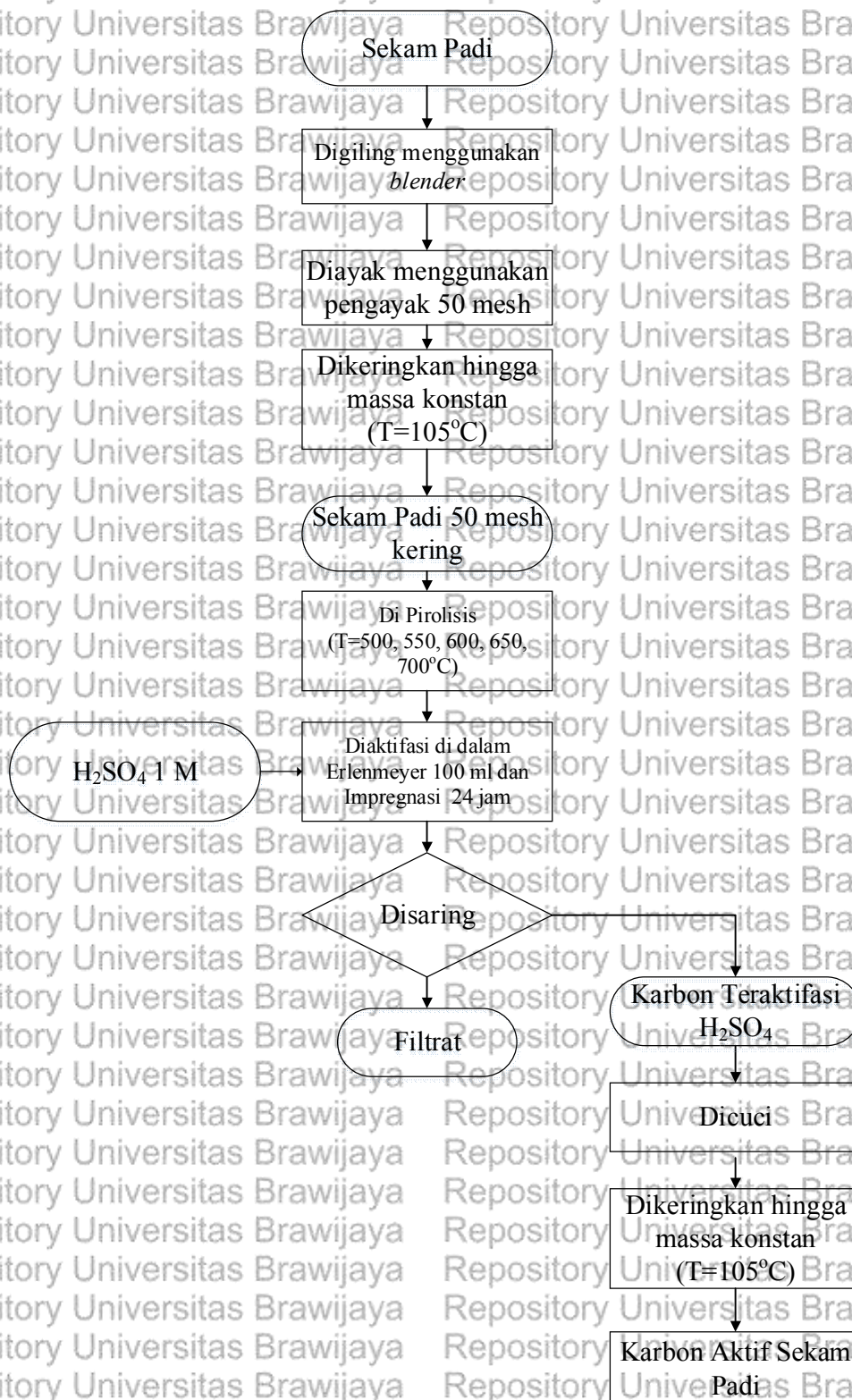
3.5.1 Persiapan Larutan Uji Kesadahan

Air sadah sintetis diperoleh dengan cara melarutkan 3,675 gram $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($K_{sp} = 102$ gram $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /100 gram air) di dalam 1 liter *deionized water* sehingga diperoleh larutan sintetis kesadahan kalsium 1000 mg/L. Penelitian ini menggunakan larutan uji kesadahan kalsium 500 mg/L maka diperlukan pengenceran dari larutan dengan konsentrasi kesadahan kalsium 1000 mg/L.



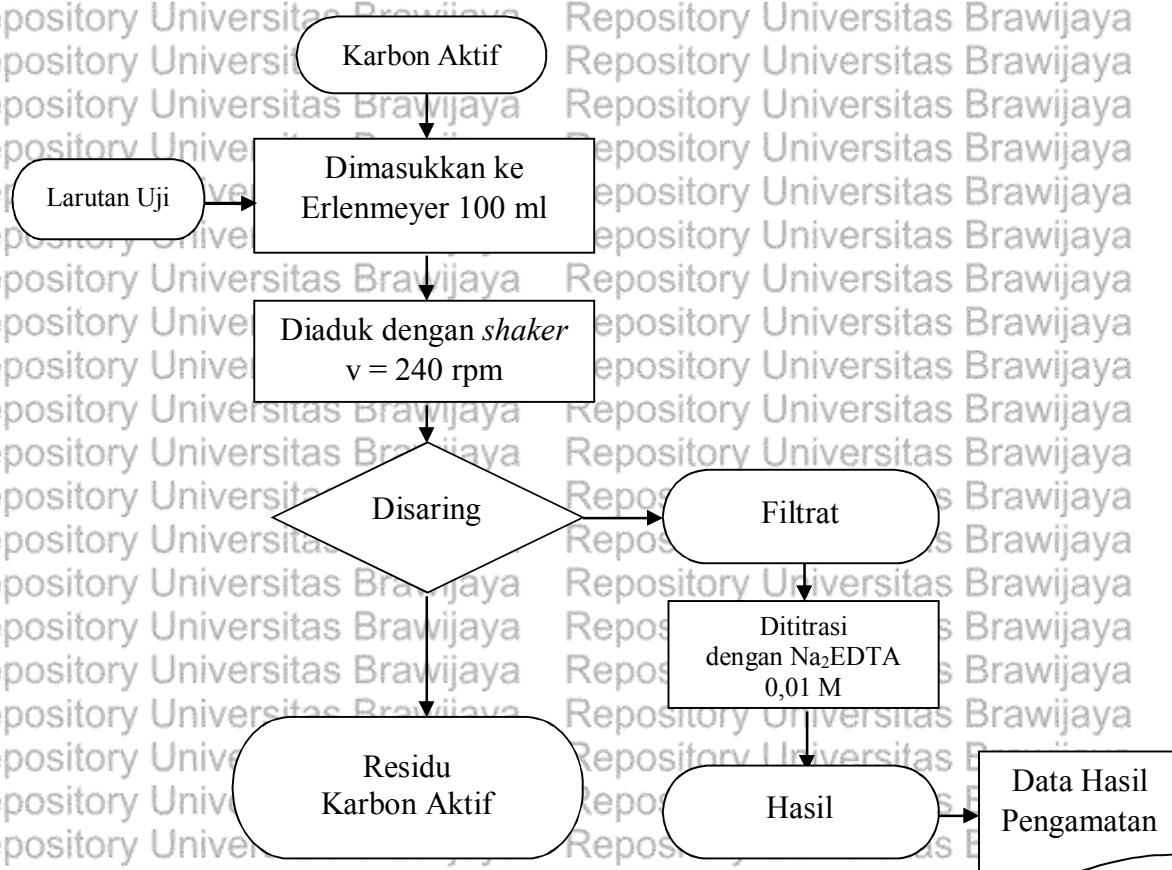
3.5.2 Persiapan Karbon Aktif Sekam Padi

Sekam padi digiling menggunakan blender dan diayak dengan pengayak ukuran 50 mesh kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga massa konstan. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 500, 550, 600, 650, 700°C selama 1 jam dengan dialirkan gas nitrogen (N_2). Karbon sekam padi hasil pirolisis kemudian diaktifasi. Aktivasi karbon sekam padi dilakukan dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) 1 M disertai dengan impregnasi selama 24 jam pada suhu ruang. Karbon aktif sekam padi kemudian dipisahkan dari larutan asam sulfat menggunakan kertas saring, dicuci hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu 105°C menggunakan oven hingga diperoleh massa konstan.



3.5.3 Proses Adsorpsi

Karbon aktif dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang telah berisi larutan uji kesadahan kalsium dengan perbandingan antara adsorben dan adsorbat yakni 4:1 (wt/v) kemudian diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan putar 240 rpm. Campuran dipisahkan dengan kertas saring untuk memisahkan karbon aktif sekam padi dari campuran.



3.6 Pengujian Abu Sekam Padi dan Larutan Uji

3.6.1 Brunauer–Emmett–Teller (BET)

Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET) digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material yang meliputi luas permukaan (SA, m²/g), diameter pori (D) dan volume pori (V_{pr}, cc/g).

3.6.2 Yield

Setelah tahap pirolisis biomassa maka dapat dihitung *yield* karbon yang terbentuk. Persamaan 2-3 dapat digunakan untuk menghitung *yield*.



3.6.3 Kadar Abu

Penentuan kadar abu mengacu pada CEFIC-Test Methods For Activated Carbon. Kadar abu arang aktif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-4.

3.6.5 Konsentrasi Ion Kesadahan

Analisa nilai kesadahan mengacu pada SNI 06-6989.12-2004. Langkah-langkah analisa yakni dengan mengambil filtrat diambil sebanyak 25 mL contoh secara duplo dengan pipet volume dan dimasukkan kedalam Erlenmeyer 250 mL kemudian ditambahkan 1 mL sampai dengan 2 mL larutan penyangga pH $10 \pm 0,1$. Selanjutnya ditambahkan dengan 30 mg - 50 mg indikator EBT dan dititrasi dengan Na_2EDTA 0,01 M hingga terjadi perubahan warna dari warna merah keunguan menjadi biru. Titrasi tersebut diulangi sebanyak 2 kali, kemudian dihitung volume Na_2EDTA rata-rata yang digunakan. Penetapan kadar kesadahan kalsium dihitung menggunakan Persamaan 3-1.

$$\text{Kadar kalsium} \left(\text{mg} \frac{\text{Ca}}{\text{L}} \right) = \frac{1000}{V_{\text{filtrat}}} \times V_{\text{EDTA}} \times M_{\text{EDTA}} \times 40 \quad (3-1)$$

Keterangan:

V_{filtrat} = volume filtrat (mL)

V_{EDTA} = volume rata-rata larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi kadar (mL)

M_{EDTA} = molaritas larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi (mmol/mL)

3.6.6 Kapasitas Adsorpsi

Massa kalsium yang teradsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3-2 berikut ini (Megawati, 2013).

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) \times V}{m \times 1000} \quad (3-2)$$

Keterangan:

q_t = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = konsentrasi Ca^{2+} awal (mg/L)

C_t = konsentrasi Ca^{2+} yang tersisa dalam filtrat (mg/L)

V = volume larutan Ca^{2+} yang digunakan (L)

m = massa karbon aktif yang digunakan (g)

3.7 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua variabel bebas yakni suhu pirolisis dan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4). Tabel 3.1 dibawah ini merupakan rancangan penelitian yang akan dilakukan.

3.8 Diagram Alir Penelitian





Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

No Sampel	Konsentrasi H_2SO_4	Suhu Pirolisis ($^{\circ}C$)
1	0 M	500
2		500
3		500
4	0 M	550
5		550
6		550
7	0 M	600
8		600
9		600
10	0 M	650
11		650
12		650
13	0 M	700
14		700
15		700
16	1 M	500
17		500
18		500
19	1 M	550
20		550
21		550

22			600
23	1 M		600
24			600
25			650
26	1 M		650
27			650
28			700
29	1 M		700
30			700

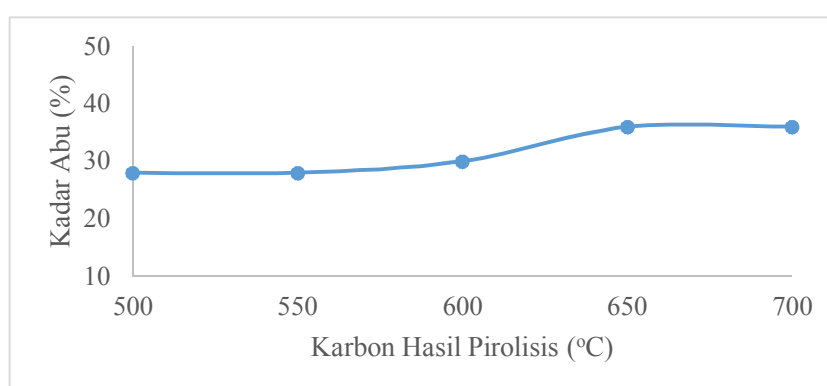
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Karbon Hasil Pirolisis

Bahan baku yang digunakan untuk membuat karbon aktif yakni sekam padi yang diperoleh dari salah satu lahan pertanian di desa Sukodono, Sidoarjo. Sekam padi dari limbah pertanian ini diuji kadar abunya untuk mengetahui persentase mineral pengotor yang terdapat di dalamnya. Penentuan kadar abu mengacu pada CEEIC-Test Methods For Activated Carbon yakni dengan cara memanaskan karbon hasil pirolisis di dalam *muffle furnace* pada suhu $650 \pm 25^\circ\text{C}$.

Menurut Kumar (2012:86) diketahui bahwa sekam padi secara umum mengandung unsur karbon ~35%, hidrogen 4-5%, oksigen 31-37%, 0,23-0,32% nitrogen, 0,04-0,08% sulfur dan 22-29% kadar abu (87-97% silika). Pada saat pemanasan suhu tinggi di dalam *muffle furnace* kandungan karbon, nitrogen, sulfur dan hidrogen akan teroksidasi secara berturut-turut membentuk CO_x , NO_x , SO_x dan H_2O sementara itu mineral pengotor yakni silika akan tertinggal sebagai abu sekam padi.



Gambar 4.1 Kadar Abu pada Karbon Hasil Pirolisis Sekam Padi

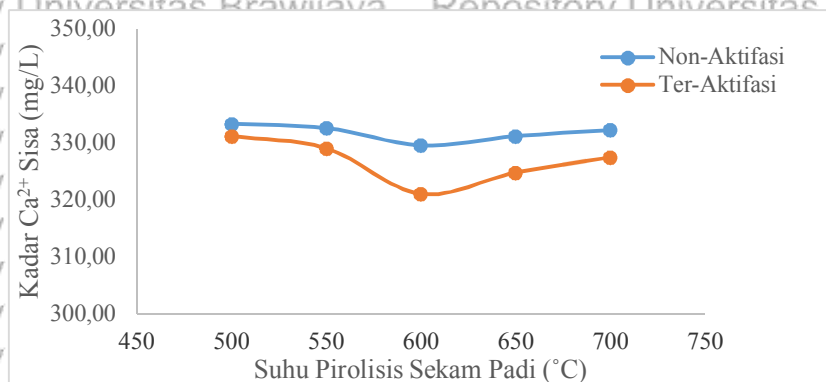
Data uji kadar abu ditunjukkan pada Gambar 4.1 diatas. Karbon hasil pirolisis suhu 500, 550, 600, 650 dan 700°C memiliki kadar abu secara berturut-turut 28%, 28%, 30%, 36%, 36%. Menurut Dafalla (2010:3) kandungan silika meningkat seiring dengan bertambahnya suhu pemanasan. Oleh karena itu, semakin tinggi suhu pirolisis maka kadar abu juga semakin meningkat.

Berdasarkan hasil uji kadar abu diketahui bahwa sekam padi memiliki kandungan silika tinggi yang ditunjukkan oleh tingginya kadar abu sehingga pirolisis sekam padi beresiko menghasilkan karbon dengan kandungan silika yang tinggi. Dengan demikian sekam padi

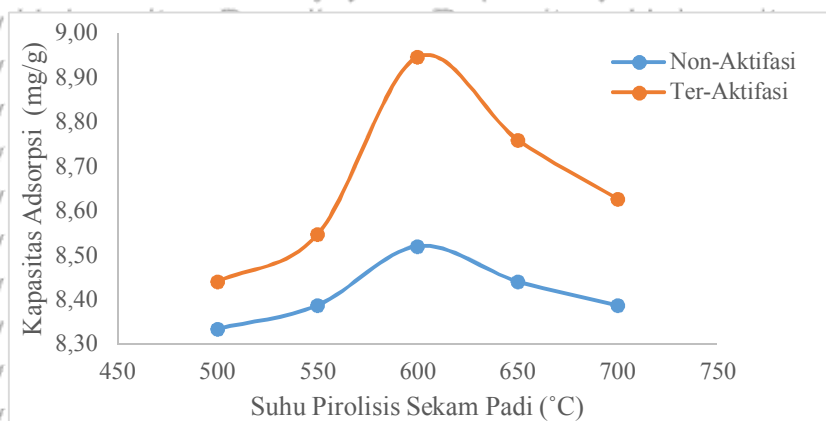
kurang sesuai jika digunakan sebagai adsorben karbon aktif karena tingginya kandungan pengotor yakni silika. Tingginya kandungan silika pada karbon hasil pirolisis akan menyebabkan penyumbatan (*sintering*) pori-pori karbon dan menghambat proses adsorpsi. Selain itu, silika juga memicu timbulnya kerak pada alat yang sukar untuk dihilangkan. Menurut Alfarez (2015:8) ekstraksi silika mampu meningkatkan porositas karbon hingga lebih dari 200 persen. Oleh karena itu, diperlukan *pretreatment* khusus mengurangi kandungan silika pada sekam padi.

4.2 Pengaruh Suhu Pirolisis Sekam Padi Terhadap Penurunan Kesadahan Kalsium

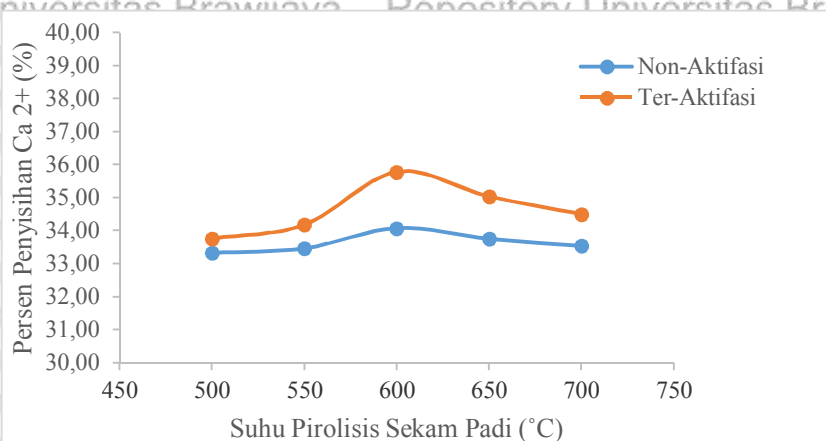
Pada penelitian ini, digunakan variabel perbedaan suhu pirolisis untuk mengetahui kondisi operasi optimum dan pengaruh suhu didalam pembuatan karbon sekam padi sebagai adsorben kesadahan kalsium, pirolisis merupakan perlakuan fisika secara termal pada pembuatan adsorben karbon sekam padi. Hubungan antara penurunan konsentrasi kesadahan kalsium hasil adsorpsi terhadap suhu pirolisis karbon sekam padi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Hubungan Konsentrasi Ca^{2+} Sisa terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon



Gambar 4.3 Hubungan Kapasitas Adsorpsi Ca^{2+} terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon



Gambar 4.4 Hubungan Persen Penyisihan Ca^{2+} terhadap Suhu Pirolisis Sekam Padi dan Aktivasi Karbon

Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan pengaruh suhu pirolisis dan aktivasi karbon sekam padi terhadap penurunan konsentrasi kesadahan kalsium. Pada Gambar 4.2, diketahui bahwa titik optimum penurunan konsentrasi kesadahan kalsium berada pada suhu pirolisis sekam padi 600°C. Pada titik optimum, konsentrasi Ca^{2+} yang tersisa sebesar 321,07 mg/L untuk karbon aktif teraktivasi dan 329,60 mg/L untuk karbon aktif tanpa aktivasi dengan kapasitas adsorpsi masing-masing 8,9467 mg/g dan 8,5200 mg/g (Gambar 4.3). Semakin tinggi suhu pirolisis, semakin tinggi persen penyisihan kalsium namun mengalami penurunan setelah suhu 600°C seperti terlihat pada Gambar 4.4 dengan persen penyisihan kalsium optimum masing-masing 34,08% dan 35,79% untuk karbon aktif tidak teraktivasi dan teraktivasi dengan H_2SO_4 1 M pada suhu 600°C.

Kenaikkan persen *penyisihan* kesadahan kalsium seperti pada Gambar 4.4 disebabkan oleh semakin meningkatnya suhu pirolisis maka semakin banyak pori yang terbentuk, hal ini disebabkan semakin banyaknya komponen *volatile* seperti N, S, H, O dan H_2O yang hilang atau terkonversi menjadi gas-gas, yang kemudian berbanding lurus dengan meningkatnya kapasitas adsorpsi karena banyaknya pori menunjukkan meningkatnya luas permukaan yang digunakan untuk menyerap adsorbat. Semakin banyak pori maka akan menyebabkan semakin luas permukaan adsorpsi. Hal ini dikarenakan proses fisisorpsi tidak tergantung pada karakteristik elektron dari adsorbat atau molekul adsorben, hanya dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben karena pada permukaan adsorben terjadi interaksi kimia yang diakibatkan gaya tarik van der Waals sehingga semakin luas permukaan adsorben maka semakin luas tempat terjadinya interaksi kimia oleh adsorbat dipermukaan adsorben yang kemudian disebut dengan proses adsorpsi.



Namun jika suhu pirolisis terlalu tinggi maka akan mengganggu pertumbuhan struktur pori dari karbon. Pada suhu yang semakin tinggi kandungan karbon akan semakin menurun, hal ini dikarenakan semakin banyak unsur karbon, nitrogen, sulfur, dan hidrogen yang terkonversi menjadi gas. Jika dilihat pada Tabel 2.3 persentase oksigen terikat pada sekam padi mencapai 37%, sedangkan unsur terikat yang lain yaitu N, H dan S memiliki persentase yang lebih rendah bila dijumlahkan yaitu sebesar 5.4%. Oksigen yang terbebas dari sekam padi melalui dekomposisi termal oleh peningkatan suhu akan mengoksidasi unsur-unsur tersebut menjadi senyawa NO_x , H_2O dan SO_x , persentase N, H dan S yang lebih rendah dibandingkan dengan oksigen menunjukkan adanya oksigen berlebih yang dihasilkan dari proses pirolisis, oksigen berlebih ini kemudian akan mengoksidasi karbon yang memiliki persentase cukup tinggi yaitu 35% didalam sekam padi membentuk CO_2 dan CO_x . Konversi karbon menjadi gas-gas tersebut menyebabkan dinding pori menjadi semakin tipis dan rapuh yang disertai dengan keruntuhan dinding pori dan mengakibatkan semakin menurunnya porositas adsorben, hal ini akan berbanding lurus dengan menurunnya luas permukaan adsorben karbon aktif.

Selain itu semakin tinggi suhu mengakibatkan semakin tingginya pembentukan abu yang dapat menyumbat (*sintering*) struktur pori karbon dan berakibat pada penurunan luas permukaan adsorpsi karbon aktif. Abu berisi mineral-mineral yang teroksidasi, didalam sekam padi mineral-mineral tersebut antara lain terdiri dari K_2O , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , Fe_2O_3 dengan persentase kurang dari 1% keseluruhan dan silika hingga 97%. Pada karbon aktif mineral-mineral ini bertindak sebagai pengotor yang dapat menyumbat pori adsorben. Saat proses pirolisis mineral-mineral ini tidak mengalami perubahan secara kuantitas sedangkan kandungan karbon menurun seiring meningkatnya suhu hal ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya suhu pirolisis maka *impurities*/pengotor berupa mineral-mineral didalam karbon aktif akan semakin meningkat dari persen keseluruhan seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Kenaikan persentase kadar abu ini kemudian akan mengakibatkan semakin banyaknya *sintering* atau penyumbatan pori karbon yang kemudian akan berakibat pada menurunnya kuantitas pori adsorben dan menghambat adsorpsi oleh adsorben karbon aktif sekam padi terhadap kesadahan kalsium. Seperti pada data penelitian Gambar 4.2, kondisi operasi optimum pembuatan karbon aktif berada pada suhu 600°C dan terus turun pada suhu yang lebih tinggi.

Proses termal untuk menghasilkan karbon sejatinya membutuhkan waktu yang panjang dari hitungan jam hingga hari yang disebut sebagai proses karbonisasi. Hal ini dikarenakan



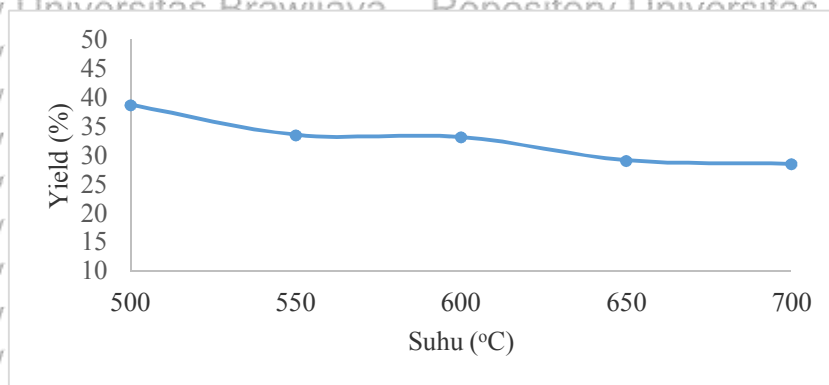
metode termal ini tidak menambahkan oksigen didalam prosesnya, sehingga dibutuhkan lebih banyak waktu terjadinya dekomposisi secara termal untuk membebaskan oksigen terikat dari sekam padi yang kemudian akan menyebabkan adanya pembakaran atau oksidasi oleh oksigen dan memicu terbentuknya karbon. Pada penelitian ini hanya menggunakan waktu pirolisis selama 1 jam, sehingga pembentukan karbon aktif tidak terjadi secara sempurna, selain itu hadirnya silika dengan kuantitas yang cukup tinggi membuat pori adsorben tertutup dan tidak dapat digunakan sebagai tempat terjadinya adsorpsi yang menyebabkan rendahnya kapasitas adsorpsi seperti terlihat pada Gambar 4.3 dengan kapasitas adsorpsi optimum sebesar 8,9467 mg/g dan 8,5200 mg/g untuk karbon teraktifasi dan tanpa teraktifasi.

Menurut Castilla (1997;148) perlakuan dengan aktifasi menggunakan agen pengoksidasi kuat seperti H_2SO_4 menyebabkan meningkatnya volume makropori dan mikropori serta adanya sedikit penurunan volume makropori namun tidak mengganggu struktur pori. Besarnya volume karbon aktif menunjukkan meningkatnya permukaan karbon aktif sehingga seperti yang terlihat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa persen penyisihan yang dihasilkan oleh karbon aktif teraktifasi lebih besar dibanding dengan karbon aktif tanpa aktifasi. Selain itu, menurut (Daffala-2010) aktifasi menggunakan H_2SO_4 akan menghasilkan peningkatan luas permukaan dan luas mikropori pada karbon aktif dibanding dengan karbon sekam padi tanpa aktifasi.

4.3 Hubungan Suhu Terhadap *Yield* Pirolisis Sekam Padi

Pada proses pirolisis biomassa, salah satu produk yang dihasilkan yakni biochar yang dihasilkan dari proses dekomposisi termal biomassa. Pada saat laju dan waktu pirolisis berada pada kondisi konstan maka suhu pirolisis merupakan faktor utama penentu produk (*yield*) pirolisis (Paethanom, 2012).

Persentase *yield* pirolisis sekam padi ditunjukkan pada Gambar 4.5. Data hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan *yield* pirolisis seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis sekam padi dari 500 hingga 700°C. *Yield* pirolisis pada suhu 500, 550, 600, 650 dan 700°C secara berturut-turut yakni 38,8%, 33,6%, 33,2%, 29,2% dan 28,6%.



Gambar 4.5 Persentase *Yield* Pirolisis Sekam Padi

Pirolisis sekam padi pada suhu yang semakin tinggi tinggi akan membebaskan material *volatile* dari sekam padi sehingga material *volatile* yang tertinggal semakin sedikit dan menyebabkan turunnya *yield* pirolisis. Tingginya suhu pirolisis juga menyebabkan putusnya oksigen yang terikat pada sekam padi sehingga mengalami transformasi menjadi fase gas dan mengoksidasi hidrogen, nitrogen dan sulfur yang terdapat pada sekam padi dalam jumlah sangat kecil. Menurut Kumar (2012:86) sekam padi umumnya memiliki kandungan oksigen yang tinggi mencapai 37% dan sebagian dari oksigen tersebut juga mengoksidasi sebagian karbon pada sekam padi sehingga mengurangi *yield* pirolisis.

4.4 Pengaruh Aktifasi Karbon Terhadap Penurunan Kesadahan Kalsium

Aktifasi berperan sebagai sebagai perlakuan kimia terhadap karbon sekam padi yang bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap adsorpsi kesadahan kalsium. Pengaruh aktifasi karbon sekam padi pada penurunan kadar kesadahan kalsium dan persen penyisihan kalsium pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.2 tampak perbedaan titik optimum konsentrasi Ca^{2+} sisa antara karbon sekam padi yang diaktifasi dengan H_2SO_4 1 M dan tanpa aktifasi dengan konsentrasi Ca^{2+} yang tersisa sebesar 321,07 mg/L untuk karbon aktif teraktifasi dan 329,60 mg/L untuk karbon aktif tanpa aktifasi. Hasil adsorpsi ini menunjukkan karbon sekam padi dengan aktifasi memiliki daya adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan karbon sekam padi tanpa aktifasi. Hal ini dikarenakan pada proses aktifasi, larutan asam sulfat dapat melarutkan sebagian besar senyawa organik dan sebagian besar logam pada karbon sekam padi yang merupakan pengotor dan penyebab terjadinya penyumbatan pori/sintering (Chakraverty, 1988). Sehingga proses aktifasi akan meningkatkan porositas dan memperbesar luas permukaan karbon sekam padi.



Pada penelitian ini H_2SO_4 1 M berfungsi untuk meningkatkan pori dan memperbesar luas permukaan karbon sekam padi. Peningkatan luas permukaan karbon aktif ini membuat semakin luasnya permukaan adsorpsi pada karbon aktif. Penghilangan sebagian besar senyawa organik dan sebagian besar logam pada karbon sekam padi yang merupakan pengotor akan memperluas permukaan pori, menghilangkan hambatan pada pori (sintering) yang kemudian mempercepat laju difusi ion kalsium sehingga dapat melakukan adsorpsi lebih baik dibandingkan dengan karbon sekam padi tanpa aktivasi, mekanisme difusi ion kalsium kedalam pori karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 2.1. Aktivasi juga mengakibatkan meningkatnya persen penyisihan kesadahan kalsium didalam larutan uji seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

4.5 Hasil Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET)

Uji Brunauer–Emmett–Teller (BET) dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume total pori dan rata-rata jari-jari pori sampel adsorben yang digunakan (Firdaus dkk, 2013). Dari hasil uji BET pada karbon hasil pirolisis 600°C yang disertai dengan aktivasi H_2SO_4 diketahui bahwa luas permukaan spesifik cukup rendah yakni $19,227 \text{ m}^2/\text{gram}$ adsorben. Luas permukaan spesifik ini merupakan parameter utama tempat terjadinya proses adsorpsi. Menurut Alfarez (2015:8) luas permukaan pada karbon hasil pirolisis sekam padi dapat ditingkatkan dengan menggunakan senyawa HCl 1 M atau Na_2CO_3 . Ekstraksi silika sebelum proses pirolisis mampu meningkatkan luas permukaan spesifik hingga $227 \text{ m}^2/\text{gram}$ adsorben pada kondisi pirolisis yang sama.

Data hasil uji BET menunjukkan besarnya diameter pori rata-rata karbon yakni $1,85 \text{ nm}$. Menurut IUPAC, pori dengan diameter tersebut tergolong jenis mikropori dengan demikian sebagian besar karbon tersusun atas pori berukuran mikro ($<2 \text{ nm}$). Adsorbat yang digunakan pada penelitian ini adalah ion Ca^{2+} yang memiliki diameter atom $1,98 \text{ \AA}$ atau setara dengan 0.198 nm (Periodic Table, 2016). Ukuran diameter ion Ca^{2+} yang lebih kecil dibandingkan dengan diameter pori rata-rata karbon ini, memungkinkan ion tersebut berdifusi dan berinteraksi dengan spesi adsorben pada mikropori sehingga dapat terjadi proses adsorpsi di dalamnya.

Karakteristik fisika adsorben sangat dipengaruhi oleh suhu pirolisis. Semakin tinggi suhu pirolis maka semakin banyak pori yang terbentuk karena semakin banyaknya komponen volatile yang hilang atau menguap. Semakin banyak pori maka akan menyebabkan semakin meningkatnya luas permukaan total adsorben, yang kemudian

berbanding lurus dengan meningkatnya kapasitas adsorpsi karena banyaknya pori yang dapat digunakan untuk menjerap adsorbat. Jika suhu pirolisis terlalu tinggi maka akan mengganggu pertumbuhan struktur pori dari karbon, dinding pori menjadi semakin tipis dan rapuh yang kemudian menyebabkan keruntuhan dinding pori. Hal ini mengakibatkan menurunnya luas permukaan adsorben karbon aktif. Selain itu semakin tinggi suhu mengakibatkan semakin tingginya pembentukan abu yang dapat menyumbat permukaan pori dan berakibat pada penurunan luas permukaan karbon aktif. Menurut Paethanom (2012) pada suhu pirolisis sekam padi di atas 600°C akan menghasilkan karbon dengan luas permukaan spesifik yang semakin rendah akibat degradasi termal pada struktur adsorben.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pirolisis mempengaruhi aktifitas karbon sekam padi yang ditunjukkan oleh kapasitas adsorpsinya dimana semakin tinggi suhu pirolisis maka kapasitas adsorpsi semakin tinggi namun pada suhu diatas 600°C terjadi penurunan kapasitas adsorpsi, pada penelitian ini suhu optimum pirolisis berada pada 600°C . Suhu juga mempengaruhi *yield* dan kadar abu sekam padi yang diperoleh.
2. Aktivasi mempengaruhi kapasitas adsorpsi karbon sekam padi dimana karbon teraktivasi memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi dibandingkan karbon sekam padi tanpa aktivasi dengan kapasitas adsorpsi masing-masing 8.947 mg/g dan 8.520 mg/g karena proses aktivasi melarutkan pengotor organik maupun logam didalam karbon aktif sekam padi.
3. Sekam padi dapat dijadikan alternatif pembuatan karbon aktif namun hasilnya kurang efektif karena luas permukaannya yang rendah yaitu hanya sebesar 19,227 m^2/gram adsorben, selain itu tingginya kandungan silika dapat menurunkan luas permukaan adsorben serta menyebabkan permasalahan pada peralatan pirolisis karena terbentuknya kerak yang sulit untuk ditangani.

5.2 Saran

1. Pengaruh suhu pirolisis memerlukan penelitian lebih lanjut karena metode yang tepat untuk menghasilkan karbon dari biomassa adalah karbonisasi dengan variasi suhu $300-500^{\circ}\text{C}$ dan pirolisis sekam padi menyisakan silika yang menghambat proses adsorpsi.
2. Proses pirolisis sebaiknya tidak dilakukan untuk biomassa dengan kandungan silika yang tinggi, karena silika akan menempel pada dinding reaktor dan dapat merusak alat.
3. Perlu dilakukan penghilangan silika sebelum proses karbonisasi untuk memperluas permukaan karbon aktif.



DAFTAR PUSTAKA

- Adinata, M.R. 2013. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Karbon Aktif. *Skripsi*. Jawa Timur: Fakultas Teknologi Industri, Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Ambursa, M.M., Faruk, U.Z., Uba, A., Sahabi, D.M., Atiku, F.A., dan Koko, R.A. 2011. Comparative Efficiency Of Base Activated Carbon And Acid Activated Carbon For Sorption Of Heavy Metals From Waste Water. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 3(6):732-741.
- Argun, M.E., Dursun, S. 2006. Removal of Heavy Metal Ions Using Chemically Modified Adsorbents, *International Journal Environmental Application & Science*. Vol. 1 (1-2): 27-40.
- Atastina S.B, Wulan, P.P.D,K dan Syarifudin. Penghilangan Kesadahan Air yang Mengandung Ion Ca^{2+} dengan Menggunakan Zeolit Alam Lampung sebagai -Penukar Kation. *Jurnal Lingkungan*. 1:1-5
- Atkins, PW. 1990. *Kimia Fisika Edisi ke IV*. Jakarta: Erlangga
- CEFIC. 1986. *Test Methods for Activated Carbon*. Switzerland: CEFIC
- Çeçen, F. & Aktas, O. 2012. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment*. Jerman: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Chatwal, G. 1985. *Spectroscopy Atomic and Molecule*. Himalaya Publishing House: Bombay
- Daffalla, S.B., Mukhtar, H. dan Shaharun, M.S. 2010. Characterization of Adsorbent Developed from Rice Husk: Effect of Surface Functional Group on Phenol Adsorption. *Journal of Applied Sciences*. ISSN 1812-5654:1-8.
- Danarto Y.C., Utomo B.P. dan Sasmita F. 2010. Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit. *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. ISSN 1693 – 4393:B09(1-6)
- Firdaus, Lukman Hakim., Wicaksono, Adit Rizky dan Dr. Widayat, ST, MT. 2013. Pembuatan Katalis H-Zeolit Dengan Impregnasi K_2O dan Uji Kinerja Katalis Untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2(2):148-154
- Hassler, John W. 1963. *Activated Carbon*. New York: Chemical Publishing Co., Inc.
- Juliandini F dan Trihadiningrum Y. 2008. Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.



- Kumar, A., Mohanta, K., Kumar, D. dan Parkash, O. 2012. Properties and Industrial Applications of Rice husk. *Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. ISSN 2250-2459, 2(10):86-90.
- Laboratorium Mineral dan Material Maju (Laboratorium Sentral). 2016. Hasil Analisis FT-IR. Malang: Universitas Negeri Malang
- Marsidi, R. 2001. Zeolit Untuk Mengurangi Kesadahan Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2(1):1-10.
- Megawati, Ni Made Shinta., Putra, Anak Agung Bawa dan James Sibarani. 2013. Pemanfaatan Arang Batang Pisang (*Musa paradisiacal*) untuk Menurunkan Kesadahan Air. *Jurnal Kimia*. 7(2):153-162.
- Paethanom, A. dan Yoshikawa, K. 2012. Influence of Pyrolysis Temperature on Rice Husk Char Characteristics and Its Tar Adsorption Capability. *Journal Energies*. ISSN 1996-1073, (5):4941-4951.
- Pecsok, Shield. 1968. *Modern Methods of Chemical Analysis*. New York: John Wiley & Sons
- Rolence, C., Machunda, L.R. dan Njau, K.N. 2014. Water Hardness Removal by Coconut Shell Activated Carbon. *Journal of Science, Technology and Society*. 2(5):97-102
- Setiawan, D. dan Supriyatna, D. Sintesis Zeolit Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Proses Hidrogel. *Jurnal Kimia Nuklir*. ISSN 0216-3128:6-7.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., and Templeton, D. 2005. "Determination of ash in biomass," Laboratory Analytical Procedure (LAP). NREL/TP-510-42622. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado
- Smisek, M and Cerny, S. 1970. Active Carbon. New York: American Elsevier Publishing Co.
- Standar Nasional Indonesia. 2004. *Air dan air limbah – Bagian 12: Cara uji kesadahan total kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dengan metode titrimetri*. Tangerang: SNi.
- Sud D., Mahajan, G., Kaur, M.P. 2008. Agricultural Waste Material as Potential Adsorbent for Sequestering Heavy Metal Ions From Aqueous Solutions: A Review, *Bioresource Technology*. 99 (6017–6027).
- Ugheoke, I.B., Mamat, O. 2012. A Critical Assessment and New Research Directions of Rice Husk Silica Processing Methods and Properties, Maejo *International Journal of Science Technology*. 6(03):430–448.
- Widayat, W. 2002. Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 3(3):256-266.



- Widayat, W. 2007. Teknologi Pengolahan Air Minum dari Air Baku yang Mengandung Kesadahan Tinggi. *JAI*. 4(1):13-21.
- Widyastuti, Sri dan Antik Sepdian Sari. 2011. Kinerja Pengolahan Air Bersih dengan Proses Filtrasi dalam Mereduksi Kesadahan. *Jurnal Teknik Waktu*. 9(1):43-54.
- World Health Organization. 2011. *Hardness in Drinking-water*. Switzerland: WHO.
- Yin C.Y., Arona M.K., Daud W.M.A.W. 2006. Review of Modifications of Activated Carbon for Enhancing Contaminant Uptakes from Aqueous Solutions. *Journal of Separation and Purification Technology*. 52 (2007) 403-415.



LAMPIRAN 1 DATA DAN PERHITUNGAN

1. Perhitungan Pembuatan Larutan Uji Kalsium 1000 mg/L

Konsentrasi Ca = 1000 mg/L

Mr Ca = 40 gr/mol

Mr CaCl₂·2H₂O = 147 gr/mol (yang tersedia dilaboratorium)

Sehingga, untuk mendapatkan larutan uji kalsium 1000 mg/L dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Massa CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{\text{Mr}_{\text{Ca}}} \times \text{Mr CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$\frac{1}{40 \text{ gr/mol}} \times 147 \text{ gr/mol} = 3,675 \text{ gr CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

(Mangestiyono, 2011)

Keterangan :

Mr = Berat molekul relatif (gr/mol)

2. Perhitungan Pengenceran Larutan H₂SO₄ (PA)

% H₂SO₄ = 96%

ρ H₂SO₄ = 1.84 kg/L

Mr H₂SO₄ = 98,08 (gr/mol)

Sehingga, untuk mendapatkan larutan H₂SO₄ 1 M dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Perhitungan molaritas larutan H₂SO₄ (PA)

$$M = \frac{\% \text{H}_2\text{SO}_4 \times \rho \text{H}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{Mr}}$$

$$M = \frac{96\% \times 1,84 \frac{\text{gr}}{\text{L}} \times 1000}{98,08 \text{ gr/mol}}$$

$$M = 18 \text{ M}$$

Perhitungan Pengenceran H₂SO₄ (PA)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 18 \text{ M} = 1000 \text{ ml} \times 1 \text{ M}$$

$$V_1 = 55,556 \text{ ml}$$



Keterangan:

M_r = Berat molekul relatif (gr/mol)

ρ = Massa jenis (kg/L)

V_1 = Volume H_2SO_4 (PA) untuk pengenceran (ml)

M_1 = Molaritas H_2SO_4 (PA) (M)

V_2 = Volume H_2SO_4 setelah pengenceran (ml)

M_2 = Molaritas H_2SO_4 setelah pengenceran

3. Pembuatan Larutan EDTA 0.01 M

M_{EDTA} = 0,01 M

M_r_{EDTA} = 452,2 gr/mol

V_{EDTA} = 1 L

Sehingga, untuk mendapatkan larutan EDTA 0.01 M dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$M_{EDTA} = \frac{m_{EDTA}}{M_r_{EDTA}} \times \frac{1}{V_{EDTA}}$$

$$0,01 M = \frac{m_{EDTA}}{452,2 \text{ gr/mol}} \times \frac{1}{1 L}$$

$$m_{EDTA} = 4,522 \text{ gr EDTA}$$

Keterangan:

M_{EDTA} = Molaritas EDTA (M)

M_r_{EDTA} = Berat molekul relatif (gr/mol)

V_{EDTA} = Volume EDTA (L)

m_{EDTA} = Massa EDTA (gr)

4. Perhitungan Persen Pembentukan Karbon dari Hasil Pirolisis Sekam Padi (Yield)

Feed reaktor (Co) = 5 gram

Waktu Pirolisis = 1 jam

Perhitungan persen pembentukan karbon dari hasil pirolisis sekam padi (yield) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Yield \text{ Karbon} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

Melalui perhitungan maka diperoleh data hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel berikut.



No	Suhu (°C)	Karbon Hasil Pirolisis (c_1) (gram)	Yield (%)
0	-	5	100
1	500	1,94	38,8
2	550	1,68	33,6
3	600	1,66	33,2
4	650	1,46	29,2
5	700	1,43	28,6

5. Perhitungan Kadar Abu Karbon dari Hasil Pirolisis Sekam Padi

Massa awal = 0,5 gram

Suhu pemanasan = 650 ± 25°C

Waktu pemanasan = 4 jam

Perhitungan kadar abu pada karbon hasil pirolisis sekam padi dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100$$

Melalui perhitungan maka diperoleh data hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel berikut.

No	Karbon Hasil Pirolisis Suhu (°C)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Abu (%)
1	500	0,5	0,14	28
2	550	0,5	0,14	28
3	600	0,5	0,15	30
4	650	0,5	0,18	36
5	700	0,5	0,18	36

6. Perhitungan Sisa Kadar Ca^{2+} Setelah Proses Adsorpsi pada Karbon Aktif Sekam Padi Teraktifasi dan Tidak Teraktifasi

Konsentrasi aktifator = 1 M H_2SO_4

Waktu adsorpsi = 10 menit

Volume contoh uji ($V_{c.u}$) = 25 ml

Molaritas EDTA = 0,01 M

Jumlah adsorben = 0,1 gram

Konsentrasi kalsium (Ca^{2+}) = 500 ppm Ca^{2+}

Kadar Ca^{2+} setelah adsorpsi diperoleh dari perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar Kalsium (mg Ca/L)} = \frac{1000}{V_{c.u}} \times V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 40 \quad (\text{SNI, 2004})$$



Melalui perhitungan maka diperoleh data hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

- Hasil Penelitian Penurunan Kadar Ca^{2+} setelah Adsorpsi untuk Karbon Aktif Sekam Padi Tidak Teraktifasi

No	Suhu Pirolisis ($^{\circ}\text{C}$)	Volume titrasi Tidak Teraktifasi (ml EDTA)				Kadar Ca^{2+} Sisa (ppm)
		1	2	3	Rata-Rata	
0	26	-	-	-	-	500,00
1	500	20,9	20,8	20,8	20,83	333,33
2	550	20,9	20,7	20,77	20,79	332,64
3	600	20,6	20,6	20,6	20,60	329,60
4	650	20,7	20,7	20,7	20,70	331,20
5	700	20,8	20,7	20,8	20,77	332,27

- Hasil Penelitian Penurunan Kadar Ca^{2+} setelah Adsorpsi untuk Karbon Aktif Sekam Padi Teraktifasi

No	Suhu Pirolisis ($^{\circ}\text{C}$)	Volume titrasi Ter-Aktifasi (ml EDTA)				Kadar Ca^{2+} Sisa (ppm)
		1	2	3	Rata-Rata	
0	-	-	-	-	-	500,00
1	500	20,7	20,7	20,7	20,70	331,20
2	550	20,5	20,6	20,6	20,57	329,07
3	600	20	20	20,2	20,07	321,07
4	650	20,3	20,3	20,3	20,30	324,80
5	700	20,5	20,5	20,4	20,47	327,47

7. Perhitungan Persen Penyisihan Ca^{2+} Setelah Proses Adsorpsi pada Karbon Aktif Sekam Padi Teraktifasi dan Tidak Teraktifasi

Konsentrasi kalsium (Ca^{2+}) awal, C_i = 500 ppm

Waktu adsorpsi = 10 menit

Volume contoh uji = 25 ml

Jumlah adsorben = 0,1 gr

Setelah mengetahui kadar kalsium setelah adsorpsi maka dapat diperoleh persentasi penyisihan kalsium (Ca^{2+}). Persen penyisihan kalsium (Ca^{2+}) setelah adsorpsi diperoleh dari perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Persen Penyisihan} = \frac{\text{C}_i - \text{C}_f}{\text{C}_i} \times 100 \quad (\text{Rolence dkk, 2014})$$

Melalui perhitungan maka diperoleh data hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.



Hasil Penelitian Persen Penyisihan Ca^{2+} setelah Adsorpsi untuk Karbon Aktif Sekam Padi Tidak Teraktifasi

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kadar Ca^{2+} (Cf) (ppm)	Penyisihan Ca^{2+} (%)
0	26	500	0
1	500	333.33	33.33
2	550	332.64	33.47
3	600	329.60	34.08
4	650	331.20	33.76
5	700	332.27	33.55

Hasil Penelitian Persen Penyisihan Ca^{2+} setelah Adsorpsi untuk Karbon Aktif Sekam Padi Teraktifasi

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kadar Ca^{2+} (ppm)	Penyisihan Ca^{2+} (%)
0	26	500	0
1	500	331.20	33.76
2	550	329.07	34.19
3	600	321.07	35.79
4	650	324.80	35.04
5	700	327.47	34.51

8. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Ca^{2+} oleh Karbon Sekam Padi

Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon sekam padi hasil pirolisis baik yang teraktifasi maupun yang tidak teraktifasi:

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) \times V}{m \times 1000} \quad (\text{Megawati, 2013})$$

Melalui perhitungan maka diperoleh data kapasitas adsorpsi karbon sekam padi yang ditunjukkan pada tabel berikut.



Kode	Co (mg/L)	V titasi (mL)	Ct (mg/L)	ΔC (mg/L)	C avg (mg/L)	V (L)	m (g)	Qt (mg/g)
500 TA	500	20,9	334,4	165,6	166,667	0,005	0,1	8,3333
	500	20,8	332,8	167,2				
	500	20,8	332,8	167,2				
550 TA	500	20,9	334,4	165,6	167,733	0,005	0,1	8,3867
	500	20,7	331,2	168,8				
	500	20,7	331,2	168,8				
600 TA	500	20,6	329,6	170,4	170,400	0,005	0,1	8,5200
	500	20,6	329,6	170,4				
	500	20,6	329,6	170,4				
650 TA	500	20,7	331,2	168,8	168,800	0,005	0,1	8,4400
	500	20,7	331,2	168,8				
	500	20,7	331,2	168,8				
700 TA	500	20,8	332,8	167,2	167,733	0,005	0,1	8,3867
	500	20,7	331,2	168,8				
	500	20,8	332,8	167,2				
500 A	500	20,7	331,2	168,8	168,800	0,005	0,1	8,4400
	500	20,7	331,2	168,8				
	500	20,7	331,2	168,8				
550 A	500	20,5	328	172	170,933	0,005	0,1	8,5467
	500	20,6	329,6	170,4				
	500	20,6	329,6	170,4				
600 A	500	20	320	180	178,933	0,005	0,1	8,9467
	500	20	320	180				
	500	20,2	323,2	176,8				
650 A	500	20,3	324,8	175,2	175,200	0,005	0,1	8,7600
	500	20,3	324,8	175,2				
	500	20,3	324,8	175,2				
700 A	500	20,5	328	172	172,533	0,005	0,1	8,6267
	500	20,5	328	172				
	500	20,4	326,4	173,6				

Keterangan:

q_t = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = konsentrasi Ca^{2+} awal (mg/L)

C_t = konsentrasi Ca^{2+} yang tersisa dalam filtrat (mg/L)

V = volume larutan Ca^{2+} yang digunakan (L)

m = massa adsorben (mg)

T = teraktifasi

TA = tidak teraktifasi



LAMPIRAN 2 HASIL UJI LABORATORIUM

1. Hasil Uji BET Karbon Hasil Pirolisis Sekam Padi 600°C dan Aktifasi H₂SO₄ 1M

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2007, Quantachrome Instruments
version 10.01

Analysis	Date: 2016/01/29	Report	Date: 2/26/2016
Operator: ITS	Filename:	Operator: ITS	
Sample ID: Priska Saraswa	Comment:	C:\QCdata\Physisorb\16012801 600 C Aktivasi.qps	
Sample Desc: Serbuk	Sample Volume:	28 Januari 2016	
Sample weight: 0.0941 g	Outgas Temp:	0.2086 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Equil time:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)	End of run:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)
Analysis Time: 203.2 min		2016/01/29 23:02:49	Instrument: Nova Station A
Cell ID: 25			
Adsorbate Nitrogen	Temperature	77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Relative Pressure	Volume @ STP	1 / [W((Po/P) - 1)]
P/Po	cc/g	
9.87840e-02	1.0725	8.1771e+01
1.51704e-01	2.1841	6.5512e+01
2.02682e-01	3.0293	6.7143e+01
2.54203e-01	3.1832	8.5674e+01
3.04472e-01	3.3589	1.0428e+02

BET summary
Slope = 125.689
Intercept = 5.544e+01
Correlation coefficient, r = 0.647202
C constant = 3.267
Surface Area = 19.227 m²/g

LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENELITIAN

NO	DOKUMENTASI	KEGIATAN
1		Pencucian dan pengeringan sekam padi hingga massa konstan
2		Proses pirolisis dilakukan pada suhu 500, 550, 600, 650, 700°C selama 1 jam dengan dialirkan gas nitrogen (N_2)
3		Aktifasi sekam padi hasil pirolisis dengan cara impregnasi di dalam larutan H_2SO_4 1 M selama 24 jam



4



Pencucian karbon hasil aktifasi
hingga pH netral

5



Pengeringan karbon aktif hingga
massa konstan

6



Proses adsorpsi kesadahan kalsium
oleh karbon aktif

Proses titrasi menentukan sisa kandungan Ca^{2+} di dalam sampel



CURRICULUM VITAE

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Woro Ayu Kusumadewi
Nama Panggilan	: Ayu
Jenis Kelamin	: Wanita
Umur	: 22 Tahun
Tempat, Tanggal Lahir	: Banjarmasin, 20 Januari 1994
Kota	: Banjarmasin
Provinsi	: Kalimantan Selatan
Alamat Asal	: Jl. Cempaka Raya, Komplek Agraria II, Gg III, Perumahan Wijaya Lestari I, No FB/06, Banjarmasin Barat
Status Perkawinan	: Belum Menikah
Tinggi, Berat Badan	: 156 cm, 57 kg
Kesehatan	: Sangat Baik
Agama	: Kristen
IPK	: 3.40
Kewarganegaraan	: Indonesia
Telepon	: 089655505514
Alamat E-mail	: Woroayu.che@gmail.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

Tahun	Institusi Pendidikan
2012 - 2016	Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang – Konsentrasi Rekayasa Energi (Strata 1)
2009- 2012	Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Banjarmasin – Program Ilmu Pengetahuan Alam (Nilai Akhir 8.62)
2006 - 2009	Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Banjarmasin
2000 - 2006	Sekolah Dasar (SD) Negeri Telaga Biru 1 Banjarmasin
1998- 2000	Taman Kanak-kanak (TK) Bhayangkara Buntok



CURRICULUM VITAE

PENGALAMAN ORGANISASI

- 2010-2011 : Koordinator Bidang Acara Sanggar Mentari SMA Negeri 1 Banjarmasin
- 2014-2015 : Anggota Komisi 1 PMK Yehezkiel Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
- 2015-2016 : Anggota Komisi 1 PMK Yehezkiel Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

PENGALAMAN KERJA

- 2013-2014 : Asisten Laboratorium Kimia Organik Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
- 2015-2016 : Asisten Laboratorium Kimia Analisis Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
- 2015 : Praktek Kerja Lapang di PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk, Departemen *Process Engineering High Density Polyethylene*

PENGALAMAN KEPANITIAAN

- 2012 : Anggota Sie Acara Natal PMK Yehezkiel
- 2013 : Anggota Sie Acara Studi Ekskursi (SE) Program Studi Teknik Kimia
- Anggota Sie Kerohanian PK2 Jurusan Teknik Kimia
- Anggota Sie Acara Camp PMK Yehezkiel Fakultas Teknik
- Anggota Sie Acara Paskah PMK Yehezkiel Fakultas Teknik
- Anggota Sie Acara Natal PMK Yehezkiel Fakultas Teknik
- 2014 : Kabid Sie Acara Paskah PMK Yehezkiel Fakultas Teknik

SEMINAR ATAU TRAINING

- 2012 : Kuliah Tamu Instrumentasi Kimia Program Studi Teknik Kimia Universitas Brawijaya



CURRICULUM VITAE

- 2013 Seminar Nasional K3 "Kesehatan, Keselamatan, Kerja" Teknik Kimia Universitas Brawijaya
- 2013 Sarasehan dan Kuliah Tamu "Rekayasa Sumber Daya Alam Sebagai Sumber Energi" Program Studi Teknik Kimia Universitas Brawijaya
- 2013 Lokakarya Peningkatan Layanan Kuliah Kerja Nyata-Praktek (KKN-P), Tugas Perancangan Pabrik, dan Skripsi Program Studi Teknik Kimia Universitas Brawijaya
- 2014 Kuliah Tamu Material Energitika "Bahan Peledak" oleh Dinas Pertahanan Indonesia
- 2015 True Life Seminar 01/SoL-TL/80/III/16 oleh School of Life
- 2015 Awareness Training for Environmental Management System Based on ISO 14001:2004
- 2015 Awareness Training for Quality Management System Based on ISO 9001:2008
- 2015 Awareness Training for Occupational Health and Safety Management System Based on OHSAS 18001:2007

KEMAMPUAN DIRI

Menguasai Bahasa : 1. Indonesia

2. Inggris

Soft Skill : 1. MS. Word

2. Ms. Power Point

3. Program Hysys

4. Ms. Excel

5. Internet

6. Ms. Visio

CURRICULUM VITAE

SUMMARY

Confident and articulate individual with commended ability to work with others to achieve set outcomes. Young yet mature school leaver with developed employability skills and personal attributes that support the transition from education to full-time employment. Leadership and communication skills developed and demonstrated through engagement in Christian community. Motivated individual keen to obtain employment in chemical engineering environment. Key strengths include strong attention to detail and willingness to learn and develop professionally.



PERSONAL DETAILS

Name Priska Saraswati, S.T.
Gender Female
Place and Date of Birth Jombang, May, 4th 1994
Nationality Indonesia
Marital status Single
Address Sukodono Dian Regency,
 Jalan Sukodono Anugerah II/32,
 Saimbang Kebonagung, Sukodono,
 Sidoarjo, Jawa Timur (61258)
Phone Number +628563011253
Email priskasaraswati@gmail.com

EDUCATION

Period	Stage	City-Country
1998 – 1999	Petra 5 Kindergarten Christian School	Surabaya-Indonesia
1999 – 2000	Petra 9 Kindergarten Christian School	Surabaya-Indonesia
2000 – 2006	Petra 9 Elementary Christian School	Surabaya-Indonesia
2006 – 2009	6 State Junior High School	Surabaya-Indonesia
2009 – 2012	5 State Senior High School	Surabaya-Indonesia
2012 – 2016	Brawijaya University	Malang-Indonesia

Final Education Chemical Engineering of Brawijaya University
 GPA 3.56 / 4.0



WORK EXPERIENCE

- 2012 Private teacher for elementary and junior high student
- 2014 Chemical Analyts Laboratory Assistant for Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2015 Internship Program on PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk.
- 2016 Chemical Analyts Laboratory Assistant for Chemical Engineering Program of Brawijaya University

SEMINAR AND TRAINING PROGRAM

- 2012 Chemical Instrumentation Seminar on Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2013 In House Training "Quality Internat Audit (QIA/AIM)" on Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2013 "Safety and Occupational Health (K3) National Seminar
- 2013 BATAN (*Badan Tenaga Nuklir Nasional* – National Nuclear Energy Institution) National Seminar
- 2013 "Natural Resource Engineering as Source of Energy" Seminar on Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2014 In House Training "Simulation Software for Chemical Engineer"
- 2014 "Explosives Material as Source of Energy" Seminar on Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2015 Awareness Training for Environmental Management System Based on ISO 14001:2004
- 2015 Awareness Training for Quality Management System Based on ISO 9001:2008
- 2015 Awareness Training for Occupational Health and Safety Management System Based on OHSAS 18001:2007

ORGANIZATION EXPERIENCE

- 2012 Member of Event Organizer for Ezekiel Christian Community Passover Event
- 2013 Member of Event Organizer for Ezekiel Christian Community Passover Event
- 2013 Member of Event Organizer for Ezekiel Christian Community Camp Event
- 2013 Exchequer for Ezekiel Christian Community Christmas Event
- 2014 Vice President of Ezekiel Christian Community Brawijaya University
- 2014 Secretary for Excursion Study on Chemical Engineering Program of Brawijaya University
- 2014 Lead of Steering Comitee for Ezekiel Christian Community Passover Event
- 2014 Lead of Steering Comitee for Ezekiel Christian Community Camp Event
- 2014 Lead of Steering Comitee for Ezekiel Christian Community Christmas Event
- 2015 President of Ezekiel Christian Community Brawijaya University



LANGUAGE SKILL

Indonesian (native)
English (fluent)
Chinese (basic knowledge)

SOFTWARE SKILL

Microsoft Office (with certificate)
Microsoft Visio
Aspen HYSYS
Adobe Audition
Adobe Photoshop
Corel Draw
3dS Max