

**ADSORPSI SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON
FENANTRENA DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON
AKTIF DARI SEKAM PADI (*Oryza Sativa*)**

(Skripsi)

Oleh

Ferdian Dicky Permana



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

THE ADSORPTION OF HIDROCARBON AROMATIC POLYCYCLIC COMPOUND PHENANTHRENE BY USING ACTIVATED CARBON ADSORBENT FROM RICE HUSK (*Oryza Sativa*)

By

Ferdian Dicky Permana

The contamination on water can be caused by hydrocarbon aromatic polycyclic (HAP) compound, one of them is phenanthrene. In this research, adsorption test had been done by using activated carbon adsorbent from rice husk which had been activated by using 10% $ZnCl_2$. The characterization of activated carbon was done by using SEM-EDX to determine the morphology and the composition of sample and FT-IR was used to identify the functional group. Phenanthrene adsorbed by activated carbon analyzed by using Spechtrofotometer UV-VIS on 250 nm wavelength. Adsorption test was done by using Batch's method to determine optimum adsorbent's mass, optimum contact time, and adsorbate's concentration. It was achieved the adsorption optimization result in addition adsorbent's mass was 23 mg, optimum time 60 minutes was 99,93%. Moreover for adsorption test on phenanthrene concentration effect decreased which was caused by activated carbon adsorbent capacity. The data of Adsorption kinetics on phenanthrene tend to follow second pseudo order with the value of coefficient correlation (R^2) 0,921 and phenanthrene adsorption isotherm tend to follow Freundlich isotherm model with the value of coefficient correlation 0,991.

Keyword : Adsorption, HAP, Phenantrene, Rice Husk, Activated Carbon

ABSTRAK

ADSORPSI SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON FENANTRENA DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI (*Oryza Sativa*)

Oleh

Ferdian Dicky Permana

Kontaminasi pada air dapat disebabkan oleh suatu senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) salah satunya fenantrena. Dalam penelitian ini telah dilakukan uji adsorpsi dengan menggunakan adsorben karbon aktif dari sekam padi yang sudah diaktivasi menggunakan $ZnCl_2$ 10%. Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dan komposisi serta digunakan spektrofotometer FT-IR untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Senyawa fenantrena yang teradsorpsi oleh karbon aktif dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 250 nm. Uji adsorpsi dilakukan dengan metode *batch* untuk menentukan kadar optimum adsorben, waktu kontak dan konsentrasi adsorbat. Diperoleh hasil optimasi adsorpsi pada penambahan kadar adsorben 23 mg dengan waktu optimum 60 menit sebesar 99,93 %. Sedangkan untuk proses adsorpsi pada pengaruh konsentrasi fenantrena mengalami penurunan yang dipengaruhi oleh kapasitas adsorben karbon aktif. Data kinetika adsorpsi fenantrena cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan nilai koefisien korelasi R^2 sebesar 0,921 sedangkan data isoterm adsorpsi fenantrena mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,991.

Kata kunci : Adsorpsi, PAH, Fenantrena, Sekam Padi, Karbon Aktif

**ADSORPSI SENYAWA POLISIKLIK AROMATIK HIDROKARBON
FENANTRENA DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON
AKTIF DARI SEKAM PADI (*Oryza Sativa*)**

Oleh

Ferdian Dicky Permana

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

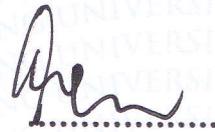
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Rinawati, Ph.D.**



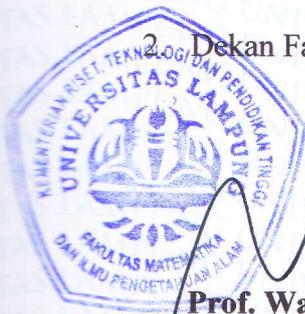
Sekretaris : **Drs. R. Supriyanto, M.S**

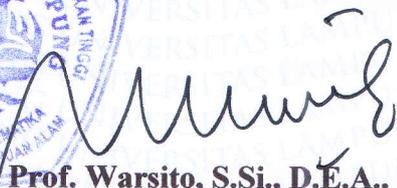


Penguji
Bukan Pembimbing : **Diky Hidayat, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Desember 2017**

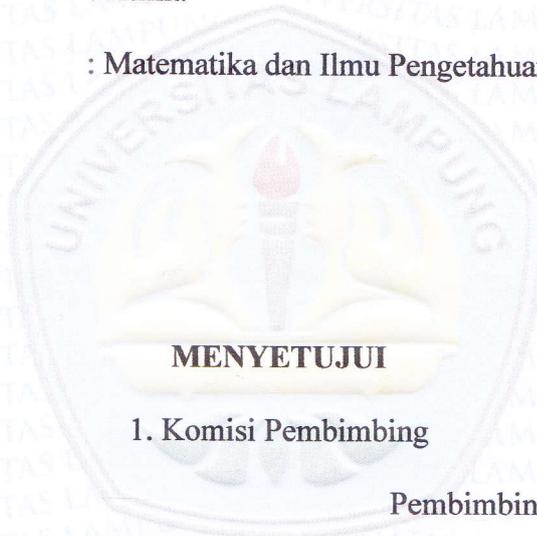
Judul Penelitian : **ADSORPSI SENYAWA POLISIKLIK
AROMATIK HIDROKARBON FENANTRENA
DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN
KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI
(*Oryza Sativa*)**

Nama Mahasiswa : ***Ferdian Dicky Permana***

Nomor Pokok Mahasiswa: 1317011026

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Rinawati, Ph.D.
NIP. 19740705 200003 1 001

Drs. R. Supriyanto, M.S
NIP. 19581111 199003 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kalianda, Lampung Selatan, pada tanggal 13 Juli 1995, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, putra dari Bapak Sardiyono dan Ibu Sri Hartati. Jenjang pendidikan penulis diawali dari Taman Kanak-kanak PKK di TK Kartini, Seputih Raman, yang diselesaikan pada tahun 2001. Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Rama Gunawan, Seputih Raman, yang diselesaikan pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Seputih Raman, diselesaikan pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Seputih Raman, diselesaikan pada tahun 2013. Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Pada bulan November 2016 penulis menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila di Bandar Lampung dengan judul **“Ekstraksi Nanosilika dari Sekam Padi Dengan Menggunakan Pelarut KOH Secara Presipitasi”**. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja

Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Galumpay, Pekon Way Petay, Kecamatan Sumber Jaya, Kabupaten Lampung Barat pada bulan Juli tahun 2016.

Pengalaman organisasi penulis dimulai sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila periode 2013/2014. Penulis juga sempat mengikuti organisasi didalam kampus, yaitu di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila sebagai anggota Biro Usaha Mandiri (BUM) pada kepengurusan periode 2014/2015 dan sebagai anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) pada kepengurusan periode 2015/2016. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Analitik I, Kimia Analitik II, Kimia Dasar, dan Kimia Analisis Lingkungan.

MOTTO

“Saya Cinta Diri Saya, Saya Sangat Bahagia, Saya Pasti Bisa”
(SuksesBefore30)

“Lebih Baik Menjadi Orang Bodoh Diantara Orang Pintar
Dibandingkan Menjadi Orang Pintar Diantara Orang Bodoh”
(Anonim)

“Habiskan Semua Kegagalan yang Ada NISCAYA Akan Memperoleh
KeSUKSESan, Karena Hasil TIDAK Akan Menghianati Usaha”
(Diky Hidayat)

“Jangan Pernah Malu Untuk Mencoba,
Dan Jadilah Diri Sendiri Dalam Segala Hal”
(Ferdian Dicky Permana)

“Orang Gagal Selalu Mencari Alasan,
Sedangkan Orang Sukses Mencari Jalan”
(Dato’ Dr. Andrew Hoo)

“Maka Sesungguhnya Sesudah Kesulitan Itu Ada Kemudahan,
Sesungguhnya Sesudah Kesulitan Itu Ada Kemudahan”
(Qs. Alam Nasyrah : 5-6)

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

*Atas Rahmat Allah SWT
Kupersembahkan Karya Sederhanaku ini
kepada :*

*Kedua Oranngtuaku,
Papa dan Mama yang telah menyayangi, merawat, mendidik, dan mengajarkan
kebaikan sejak kecil hingga saat ini. Terimakasih saya ucapkan, kalianlah
semangat hidup dan inspirasi masa depanku. Oleh karena itu, ijinkan saya
mempersembahkan sebuah karya kecil ini sebagai ungkapan rasa terima kasih
kepada Bapak dan Ibu untuk semua pengorbanan yang telah kalian berikan
untukku.*

*Saudaraku tersayang,
Kakakku Didi Hariyono yang selalu mendukung dan memberi semangat serta
motivasi saat sedang dilanda kesulitan untuk menyelesaikan skripsi ini.*

*Keluarga Besar Alm Bapak Surwarlin dan Alm Ibu Sukianah yang telah
mendukung dan mendoakanku.*

*Terimakasih banyak saya ucapkan kepada Ibu Rinawati, Ph.D, Bapak Drs.
R. Supriyanto, M.S., dan Bapak Diky Hidayat, M.Sc., yang selalu sabar
membimbing saya dalam mengerjakan penelitian dan skripsi ini.*

Dosen-dosen kimia FMIPA Unila yang selalu membagi ilmunya untukku.

Seluruh sahabat dan teman-temanmu yang selalu menyemangati.

Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alaamiin, segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Adsorpsi Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Fenantrena Dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dari Sekam Padi (*Oriza Sativa*)”** sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya yang setia hingga Yaumul Akhir nanti. Aamiin.

Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat rahmat dan ridha Allah SWT serta bantuan dan dorongan semangat dari orang-orang yang hadir di kehidupan penulis. Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih setulus-tulusnya kepada :

1. Kedua orangtua yang saya cintai, Papa Sardiyono dan Mama Sri Hartati, terimakasih atas kasih sayang, semangat, serta segala bentuk pengorbanan Papa dan Mama baik keringat, materi, seluruh kasih sayang, cinta,

kesabaran, ketulusan, nasihat, dan doa sehingga saya dapat menyelesaikan studi hingga menjadi Sarjana.

2. Kakakku Didi Hariyono, yang telah memberikan doa, semangat, kasih sayang, dukungan, dan canda tawa yang selalu mengisi hari-hariku dengan penuh warna, baik suka maupun duka.
3. Keluarga besar penulis (keluarga besar Bapak Suwarlin dan Ibu Sukianah) yang selalu memberikan saran, motivasi, dukungan dan doa kepada penulis.
4. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku pembimbing akademik dan pembimbing I atas bimbingan, perhatian, nasehat, saran, ilmu, bantuan, motivasi, serta kesabaran membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. yang telah diberikan kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Bapak Drs. R. Supriyanto M.S., selaku pembimbing II penelitian yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, nasehat, saran, motivasi, serta kesabaran membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Diky Hidayat, M.Sc., selaku penguji penelitian yang telah memberikan ilmu, perhatian, bimbingan, kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada penulis

selama kuliah. Semoga ilmu yang diberikan dapat bermanfaat dan berguna bagi penulis dan orang di sekitar penulis.

10. Kak Wagiran, S.Si., kak Mifta S.Si dan Mba Lina S.P yang telah mengajarkan dan membantu kegiatan penelitian serta penyelesaian skripsi ini.
11. Pak Gani, mba Ani, mas Nomo, pak Man, Uni, mba Liza, mba Widya, pak John Isman, dan segenap staff administrasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
12. Untuk Rinawati's *Research Group* : khususnya *partner* penelitian yaitu Christian Paul Partogi Sidabalok dan Lulu Nur Rachmi. Terimakasih atas kerjasama, bantuan, konflik, saran, kritik, nasihat dukungan, motivasi, dan doa terhadap penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
13. Untuk teman-teman sepermainan dan seperjuanganku yang suka berkumpul di "Markas" yaitu "THE FURIOUS FIVE", yang terdiri atas Riyan Wahyudi (Pakar Wanita) , Christian Paul Partogi Sidabalok (Maha Guru semua Ilmu), Rezky Adji Pratama (Laki-laki terhoki seangkatan), dan Radho Al-Kausar (Seorang yang sering linglung). Terimakasih atas kebersamaannya, keceriaan, dukungan, perhatian, do'a, nasihat, kritik, saran, dan waktu yang telah kita habiskan bersama selama masa perkuliahan. Aku tidak akan melupakan kalian dan semoga kita dapat bertemu kembali dengan masing-masing pribadi sudah menjadi orang yang sukses.
14. Keluarga seperjuanganku Kimia 2013 (CHETIR): Andreas Doddy Prabowo, Antonius Wendy Antono, Anggi Widiawati, Anggun Ferliasari Pertiwi, Anita Sari, Arief Aulia Rahman, Arni Nadiya Ardelita, Aulia Pertiwi Tri Yuda, Awan Gunaefi, Badiatul Niqmah, Christian Paul Partogi Sidabalok, Della

Mita Andini, Dewi Citra Ariani, Dewi Rumondang, Dian Tanti Ningsih, Dona Mailani Pangestika, Eka Maharani, Eka Setiososari, Erva Alhusna, Esti Sandra Pertiwi, Ezra Reinsky Tiarsa, Faradilla Dwi Friscancelli, Fathania Sejati, Fatimah, Febri Ardiansyah, Fentri Hariyanti, Fera Lasriama Manalu, Fika Putri Aulia, Gesa Gustami Pangesti, Hermayana Simamora, Hernora Adis Parlina, Indah Tri Yulianti, Inggit Borisha, Ismi Ambalika, Kartika Agus Kusuma, Khairunisa, Khalimatus Sa'diah, Khomsatun Khasanah, Korina Sarah Selviana, Kurnia Octaria, Lindawati, Lulu Nur Rachmi, M. Sanubara Priamorta, Maya Retnasari, Megafhit Puspitarini, Mega Mawarti, Melia Tri Anggraini, Melita Sari, Mia Permatasari, Mita Sasta Viana, Monica Dhamayanti, Murnita Anggraini, Nur Hastriana, M. Ainurridho, Radho Al-Kausar, Nessia Kurnia, Nita Yulian, Nova Tri Irianti, Nur padilla, Nurma, Nurul Fatimah, Oci Rianti, Prasetyaning Tyas Chakti, Renita Susanti, Rezky Adji Pratama, Rian Fadlya Amha, Riska Martina, Riski Rahmadani, Riyan Wahyudi, Shela Anggun Septiana, Shelta Mei Inorisa, Sinta Dewi O, Siti Mudmainah, Siti Nabila Shofa, Sri Utami, Sri Wahyuni, Tika Cynthia, Tya Gita Putri Utami, Verdi Virgiawan, Veronika Netty Keleniya Manalu, Vyna Ayu Ramadian Saputri, Wahyuni Dewi Lestari, Widya Aryani, Yolanda Larasati, Yudha Ari Satria, Yulia Arizawati, Yunita Febrianti, Yunitri Sianturi, Yuvica Oktaviana Putri, dan Vicka Andini. Terimakasih persahabatan, pertemanan, dan kekeluargaannya selama ini. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dan kita semua menjadi orang yang sukses di masa depan serta berguna bagi nusa, bangsa, dan orang tua :).

15. Keluarga KKN ku Way Petay, Kecamatan Sumber Jaya, Lampung Barat
khususnya kelompok satu yaitu Pitia, Siska, Eria, Elisa, Citra, Kiki, Kholil dan Mardianto Serta teman-teman dari kelompok 2 dan 3 yaitu Suyitno, Idal, Rasyid, Irfan, Risky, Andrian, Akbar, Clara, Dian, Eka Setioso, Indah, Tyas, Nabila, Sasa, Puri, Eka purnama, Risky, Tiara terimakasih atas kerjasama serta kekeluargaannya saat menjalani Kuliah Kerja Nyata (KKN). Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dengan baik.
16. Kepada Christian Paul Partogi Sidabalok, sebagai sahabat, saudara dan teman seperjuangan dari jaman Mahasiswa baru di Universitas Lampung hingga sampai penulis lulus dan menjadi Sarjana Sains. Terima kasih atas kebersamaannya, dukungan, kritik, saran, motivasi, dan kesetia kawanannya selama ini. Semoga kita dapat tetap menjadi saudara dan teman seperjuangan serta menjadi orang sukses di masa depan.
17. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Instrumentasi (Lab bawah yang banyak tekanan dari pihak luar), yaitu: Nurma, Rezky Adji Pratama, Christian Paul Partogi Sidabalok, Lulu Nur Rachmi, Fendi Setiawan, Dinda Mezia, Agung Setyo Wibowo, M Firdaus, Yuvica Oktaviana, Fera Manalu, Anita Sari, Riski Rahmadani dan masih banyak lagi. Terimakasih atas segala perhatian, dukungan, nasihat, kritik, dan sarannya selama ini. Semoga di masa depan masing-masing dari kita semua dapat menjadi orang yang sukses dan kelak kita akan bertemu lagi.
18. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium UPT-LTSIT (Unit Pelayanan Teknis-Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi), yaitu: Christian Paul Partogi Sidabalok, Lulu Nur Rachmi, Sri Utami, Faradilla Dwi

Friscancelli, Tya Gita Putri Utami, mba Febyta Glyssenda, kak Arik Irawan, kak Ari Susanto, Riska Martina, dan Dewi Citra Ariani yang selalu memberikan warna, semangat, keceriaan, dukungan, saran, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

19. Keluarga besar mahasiswa kimia angkatan 2012, 2013, 2014, dan 2015 atas kebersamaan dan persaudaraan yang terjalin selama ini.
20. Almamater tercinta Universitas Lampung.
21. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang secara tulus dan ikhlas memberikan bantuan moril dan materil kepada penulis.

Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih kurang dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat sebagaimana mestinya. Amin.

Bandar Lampung, 25 Desember 2017
Penulis

Ferdian Dicky Permana

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
1. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Sekam Padi.....	7
B. Karbon Aktif	8
1. Karbon aktif berdasarkan penggunaannya	9
a. Karbon aktif untuk fasa cair.....	9
b. Karbon aktif untuk fasa uap.....	10
2. Struktur karbon aktif	10
a. Struktur fisik karbon aktif.....	10
b. Struktur kimia karbon aktif.....	12
3. Jenis-jenis karbon aktif.....	13
a. Karbon aktif granul	13
b. Karbon aktif <i>powder</i>	13
c. Karbon aktif <i>molecular sieves</i>	14
d. Karbon aktif fiber	14
C. Proses Karbonisasi	14
D. Aktivasi karbon aktif.....	15
1. Aktivasi kimia	16
2. Aktivasi fisika	16
E. Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH).....	17
1. Pengertian senyawa PAH	17
2. Sumber senyawa PAH.....	17
3. Sifat senyawa PAH.....	18
F. Adsorpsi	20
1. Interaksi adsorpsi.....	20

a. Adsorpsi fisika (<i>Physisorption</i>)	20
b. Adsorpsi kimia (<i>Chemisorption</i>)	21
2. Faktor- faktor yang mempengaruhi adsorpsi.....	21
a. Luas permukaan.....	21
b. Jenis adsorbat.....	22
c. Struktur molekul adsorbat.....	22
d. Konsentrasi adsorbat.....	22
e. Temperatur.....	22
f. pH.....	23
g. Kecepatan pengadukan.....	23
h. Waktu kontak.....	23
i. Porositas adsorben.....	23
3. Sistem adsorpsi.....	24
4. Kinetika adsorpsi.....	24
a. Kinetika adsorpsi pseudo orde satu	24
b. Kinetika adsorpsi pseudo orde dua.....	25
5. Kapasitas adsorpsi	25
a. Isoterm adsorpsi langmuir	25
b. Isoterm adsorpsi freundlich	26
G. Karakterisasi	27
1. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	27
2. Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	29
3. Spektroskopi UV-VIS	31

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Alat dan Bahan Penelitian	33
C. Prosedur Penelitian	34
1. Preparasi sekam padi tanpa unsur silika.....	34
2. Pembuatan karbon aktif	35
a. Karbon aktif ekstraksi.....	35
b. Karbon aktif tanpa ekstraksi.....	35
3. Karakterisasi adsorben	36
4. Pembuatan larutan induk fenantrena	36
5. Uji adsorpsi	36
a. Penentuan massa optimum adsorben	36
b. Pengaruh waktu kontak	37
c. Isoterm adsorpsi.....	37

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan dan Karakterisasi	38
1. Pembuatan karbon aktif dengan unsur silika.....	38
2. Pembuatan karbon aktif tanpa unsur silika.....	39
3. Karakterisasi dengan SEM-EDX.....	41
4. Karakterisasi dengan FT-IR	43
B. Uji Adsorpsi	45
1. Penentuan massa optimum adsorben.....	45

2. Laju adsorpsi	46
3. Isoterm adsorpsi	48
C. Proses Adsorpsi	52

V. KESSIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	54
B. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia sekam padi	7
2. Komposisi sekam padi	8
3. Senyawa PAH dengan berat molekul rendah (cincin < 4 buah) dan berat molekul tinggi (cincin \geq 4 buah).....	18
4. Komposisi karbon aktif dari sekam padi.....	43
5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich	51
6. Penentuan kurva standar fenantrena untuk variasi massa adsorben.....	62
7. Adsorpsi pada adsorben dengan variasi massa adsorben.....	63
8. Penentuan kurva standar fenantrena untuk variasi waktu kontak	63
9. Adsorpsi pada adsorben dengan variasi waktu kontak	64
10. Penentuan kurva standar fenantrena untuk variasi konsentrasi.....	64
11. Adsorpsi fenantrena pada adsorben dengan variasi konsentrasi	65
12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada karbon aktif terhadap fenantrena	65
13. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada karbon aktif terhadap fenantrena	67

14. Data perhitungan adsorpsi dengan persamaan Langmuir pada fenantrena oleh karbon aktif 68
15. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada fenantrena oleh karbon aktif 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi skema struktur karbon aktif.....	11
2. (a). Lapisan atom karbon heksagonal dan (b). Struktur mikrokristalin karbon aktif	11
3. Skema struktur pori karbon aktif	12
4. Ilustrasi struktur kimia karbon aktif	12
5. Skema kerja SEM.....	28
6. Skema kerja FT-IR.....	30
7. Skema kerja UV-VIS	32
8. (a). Sekam padi, (b). Sekam padi hasil karbonisasi, (c) Karbon aktif dengan silika.....	39
9. (a). Sekam padi tanpa silika, (b). Sekam padi hasil karbonisasi, (c). Karbon aktif tanpa silika.....	40
10. Hasil analisis SEM dengan perbesaran 1.000x pada permukaan adsorben berupa (a). Karbon aktif dengan unsur silika dan (b). Karbon aktif tanpa unsur silika	41
11. (a). Spektrum EDX karbon aktif dengan silika (b). Spektrum EDX karbon aktif tanpa silika	42

12. (a). Spektrum FT-IR karbon aktif dengan silika (b). Spektrum FT-IR karbon aktif tanpa silika	44
13. Kurva variasi massa adsorben pada proses adsorpsi fenantrena	45
14. Kurva variasi waktu pada proses adsorpsi fenantrena	46
15. Kurva kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon aktif terhadap fenantrena	47
16. Kurva kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon aktif terhadap fenantrena	48
17. Kurva variasi konsentrasi fenantrena oleh adsorben karbon aktif	49
18. Kurva isoterm adsorpsi menurut isoterm Langmuir pada fenantrena oleh adsorben karbon aktif	50
19. Kurva isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada fenantrena oleh adsorben karbon aktif	51
20. Proses adsorpsi senyawa fenantrena dengan karbon aktif	53
21. Kurva penentuan panjang gelombang maksimum fenantrena	62
22. Kurva standar fenantrena untuk variasi massa adsorben	62
23. Kurva standar fenantrena untuk variasi waktu kontak	64
24. Kurva standar fenantrena untuk variasi konsentrasi	65
25. Pola kinetika pseudo orde satu pada karbon aktif terhadap fenantrena	66
26. Pola kinetika pseudo orde dua pada karbon aktif terhadap fenantrena	67
27. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada fenantrena oleh karbon aktif	69

28. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada fenantrena oleh karbon aktif	71
--	----

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dapat mengakibatkan berubahnya tatanan suatu lingkungan karena kegiatan manusia atau proses alami, sehingga mutu kualitas lingkungan turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Pencemaran lingkungan dapat terjadi di perairan, udara, tanah dan lain-lain. Salah satu pencemaran yang sangat serius dewasa ini yaitu polisiklik aromatik hidrokarbon yang sering disebut PAH.

Senyawa PAH merupakan golongan senyawa organik yang memiliki dua atau lebih cincin aromatik, biasanya dihasilkan dari pembakaran yang tak sempurna bahan bakar fosil, kayu, atau selama pengolahan makanan seperti pembakaran dan pengasapan (Chen dkk,1996) maupun hasil pembakaran dari emisi gas pada kendaraan dan industri (Nguyen dan Moo, 2017). Terdapat lebih dari 100 jenis senyawa PAH, namun menurut *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) terdapat 16 senyawa PAH dikategorikan dalam daftar prioritas karena dampaknya yang merugikan terhadap lingkungan dan kesehatan bagi manusia (Zhang dkk., 2004; Abdel dan Mansour, 2016).

Senyawa PAH memiliki dampak yang sangat serius maka perlu dilakukan usaha untuk menghilangkan senyawa PAH secara efisien dan optimal. Dalam mengembangkan proses menghilangkan senyawa PAH, banyak metode telah dilakukan oleh para peneliti, diantaranya dengan metode fisik, kimia, termal, biologi dan proses fitoremediasi yang dapat di gunakan dalam proses penghilangan kontaminasi senyawa PAH di tanah, air, sedimen (Zhou dkk, 2013;. Hu dkk, 2014;. Li dkk, 2014) dan udara (Bian dkk,2016; Cao dkk,2017)

Namun, sebagian besar metode tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti biaya investasi yang tinggi dan prosedur operasi yang rumit. Selain itu, beberapa proses pengolahan melepaskan produk sekunder bersifat karsinogenik dan mutagenik misalnya *trihalomethanes* dan asam *haloacetic*, suatu senyawa yang selanjutnya dapat menambahkan dampak negatif pada kesehatan manusia (Shih dan Lederberg, 1976; Comminellis dkk, 2008; Oller dkk, 2011). Dari uraian diatas, peneliti memilih metode adsorpsi karena dinilai sangat efektif dan ekonomis dalam proses penghapusan senyawa PAH yang mempengaruhi pencemaran lingkungan.

Adsorpsi merupakan proses penyerapan yang terjadi pada suatu permukaan.

Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa (Alberty dan Daniel, 1987).

Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat.

Metode adsorpsi yang sering digunakan adalah dengan menggunakan adsorben karbon aktif untuk mengadsorpsi senyawa PAH seperti yang diaplikasikan oleh Xuemin, dkk (2015) dalam mengadsorpsi senyawa naptalena, fenantrena dan

pyrena. Yong ju, dkk (2016) megadsorpsi senyawa PAH pada sedimen. Karin dan Loretta (2017) mengadsorpsi senyawa PAH pada air hujan.

Untuk menyerap senyawa PAH secara efisien maka dibutuhkan suatu karbon aktif yang memiliki daya serap tinggi. Karbon aktif yang baik dapat dibuat dari bahan material biologi maupun limbah pertanian seperti alga, limbah tanaman padi, jagung, pisang dan lain-lain (Ptryk dkk, 2017). Diantara beberapa limbah organik yang menarik untuk membuat karbon aktif adalah penggunaan sekam padi. Sekam padi merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi dan menghasilkan limbah yang cukup banyak, yakni sebesar 20% dari berat gabah (Somaatmadja, 1980). Sifat sekam padi diketahui mengandung nilai gizi yang rendah, tahan terhadap pelapukan, memiliki kandungan abu yang tinggi, dan mempunyai kandungan karbon yang cukup tinggi. Selain itu ketersediaan limbah sekam padi yang cukup banyak di sekitar penggilingan padi dan pemanfaatan limbah tersebut yang masih terbatas.

Secara umum sekam padi berwarna kekuningan atau keemasan dan mempunyai panjang 5 - 10 mm dan lebar 2,5 - 5 mm, serta memiliki kerapatan jenis 1,125 kg/m³. Sekam padi mempunyai komposisi kimia selulosa yang dapat dikonversi menjadi arang. Arang adalah suatu bahan padat berpori yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi dengan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran tidak sempurna, sehingga bahan hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Sebagian besar pori - pori pada arang masih tertutup dengan hidrokarbon, ter dan senyawa organik lainnya (Kinoshita, 1988).

Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan arang sekam padi sebagai adsorben, perlu dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi sehingga menjadi karbon aktif.

Karbon aktif merupakan adsorben terbaik dalam sistem adsorpsi. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang tinggi sehingga pemanfaatannya dapat optimal. Karbon aktif dari sekam padi dapat dibuat dengan cara tradisional misalnya dengan menggunakan drum atau lubang dalam tanah maupun dengan cara karbonisasi. Karbonisasi merupakan proses pembentukan material kasar menjadi arang dan membuka pori pada arang untuk proses adsorpsi. Nasir, dkk (2015) memperoleh hasil karbon aktif yang berpori pada permukaan adsorben dari sekam padi yang sudah dihilangkan kadar silikanya dengan perlakuan suhu karbonisasi 300°C selama 2 jam kemudian di aktivasi menggunakan ZnCl_2 10 % dan di *furnace* pada suhu 400°C selama 1 jam.

Pemanfaatan karbon aktif dari sekam padi sebagai adsorben telah dilakukan oleh Abass dkk, (2012) yang menyatakan bahwa adsorpsi dipengaruhi oleh suhu karbonisasi tinggi dan konsentrasi PAH asenaftena yang rendah dengan efisiensi penghapusan senyawa PAH asenaftena sebesar 71,37 - 80,56%. Data adsorpsi asenaftena yang diperoleh untuk model isoterm Freundlich, Langmuir, Temkin dan Dubnin-Radushkevich dengan nilai korelasi secara berturut yaitu 0,9981, 0,9262, 0,9667 dan 0,9215. Yakout dkk (2013) menyatakan bahwa berat molekul dan kelarutan berperan penting dalam adsorpsi senyawa PAH. Data adsorpsi yang diperoleh berdasarkan besarnya senyawa PAH yang teradsorpsi adalah pyrena, fenantrena dan naftalena. Model isoterm terbaik mewakili data yang diperoleh adalah Freundlich untuk naftalena, Redlich-Peterson untuk fenantrena dan

Langmuir untuk pyrena. Rohadin M.R, dkk (2014) menyatakan bahwa adsorpsi fenantrena dengan menggunakan adsorben karbon aktif diperoleh hasil adsorpsi sebesar 8,34 mg/g pada pH 7 dengan dosis adsorben 0,3 g/100 ml dan waktu agitasi 11 jam.

Berdasarkan paparan diatas maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan adsorben karbon aktif dari sekam padi untuk mengadsorpsi senyawa PAH.

Adsorben yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi dan SEM-EDX untuk mengetahui bentuk morfologi dan komposisinya. Sedangkan senyawa PAH yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fenantrena.

Fenantrena merupakan salah satu polutan organik penting karena distribusinya dalam lingkungan yang cukup luas dan sangat bersifat karsinogenik dan mutagenik. Fenantrena dengan cincin ring karbon berjumlah tiga dan kelarutan dalam air pada suhu 25⁰C dalam mg/L sebesar 1,28 sehingga sangat cocok untuk identifikasi dalam medium cair. Selain itu adsorben yang diperoleh juga diuji sifat adsorpsinya dengan beberapa parameter seperti : pengaruh kadar adsorben, waktu kontak, dan pengaruh variasi konsentrasi untuk menentukan kinetika dan isoterm adsorpsi terhadap senyawa fenantrena.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat adsorben karbon aktif dari sekam padi sebagai adsorben senyawa PAH fenantrena.

2. Menentukan optimasi adsorpsi senyawa PAH fenantrena menggunakan adsorben karbon aktif dari sekam padi dengan optimasi pengaruh penambahan massa adsorben, waktu kontak, dan variasi konsentrasi fenantrena.
3. Menguji secara kinetika dan isoterm adsorpsi karbon aktif dari sekam padi sebagai adsorben terhadap senyawa PAH fenantrena.

C. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi dampak polutan senyawa PAH fenantrena sebagai suatu polutan organik yang dapat mengakibatkan gangguan pada lingkungan dan kesehatan.
2. Memanfaatkan limbah sekam padi dari hasil samping penggilingan padi menjadi karbon aktif sebagai adsorben yang efektif dan ekonomis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah yang dihasilkan dari penggilingan padi disamping jerami padi. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi di Indonesia pada tahun 2004 mencapai 53,67 ton gabah kering giling dan menghasilkan sekam padi sebesar 12 juta ton sedangkan produksi padi di Sumatra Selatan pada tahun 2005 sebesar 2.320.110 ton gabah kering giling atau setara dengan 1.466.310 ton beras dan menghasilkan sekam padi sebesar 522.025 ton. Komposisi kimia sekam dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Komposisi Kimia Sekam Padi

Kandungan	Persentase
C-organik	45,06
N-total	0,31
P-total	0,07
K-total	0,28
Mg-total	0,16
SiO ₂	33,01

(Balai Penelitian Pasca Panen Pertanian, 2009).

Sekam padi adalah bagian terluar dari butir padi. Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dalam proses penggilingan padi, yaitu sekitar 20% dari bobot gabah. Ditinjau dari komposisinya, sekam mengandung beberapa unsur penting sebagai yang tercantum pada Tabel 2:

Tabel 2. Komposisi Sekam Padi Sebagai Berikut :

Komponen	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

(Ismail dan Waliuddin,1996)

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% selulosa, 25–30% lignin, dan 15–20% silika (Ismail dan Waliuddin,1996).

B. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan adsorben terbaik dalam sistem adsorpsi karena karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang tinggi sehingga

pemanfaatannya dapat optimal. Karbon aktif yang baik harus memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga besar.

Luas permukaan karbon aktif umumnya berkisar antara 300–3000 m²/g dan ini terkait dengan struktur pori pada karbon aktif tersebut. Karbon aktif adalah material berpori dengan kandungan karbon 87%-97% dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur, dan material lain. Karbon aktif merupakan karbon yang telah diaktivasi sehingga terjadi pengembangan struktur pori yang bergantung pada metode aktivasi yang digunakan. Struktur pori menyebabkan ukuran molekul teradsorpsi terbatas, sedangkan bila ukuran partikel tidak masalah, kuantitas bahan yang diserap dibatasi oleh luas permukaan karbon aktif (Austin, 1996). Kemampuan adsorpsi karbon aktif tidak hanya bergantung pada luas permukaannya saja tetapi juga struktur dalam pori-pori karbon aktif, karakteristik permukaan dan keberadaan grup fungsional pada permukaan pori (Prabowo, 2009).

1. Karbon Aktif Berdasarkan Penggunaannya

Berdasarkan penggunaannya, karbon aktif terbagi menjadi 2 jenis yaitu :

a. Karbon Aktif untuk Fasa Cair

Karbon aktif untuk fasa cair biasanya berbentuk serbuk. Karbon aktif untuk fasa cair biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis rendah seperti kayu, batubara lignit, dan bahan yang mengandung lignin seperti limbah hasil pertanian. Karbon aktif jenis ini banyak digunakan untuk pemurnian larutan dan penghilangan rasa serta bau pada zat cair misalnya untuk penghilangan polutan berbahaya seperti gas amonia dan logam berbahaya pada proses pengolahan air.

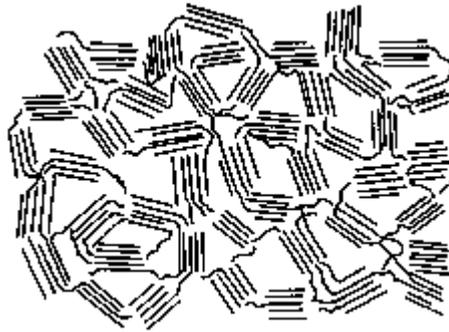
b. Karbon Aktif untuk Fasa Uap

Karbon aktif untuk fasa uap biasanya berbentuk butiran/granular. Karbon aktif jenis ini biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis lebih besar seperti tempurung kelapa, batubara, dan residu minyak bumi. Karbon aktif jenis ini digunakan dalam adsorpsi gas dan uap misalnya adsorpsi emisi gas hasil pembakaran bahan bakar pada kendaraan seperti CO dan NOx. Pernyataan mengenai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif untuk masing- masing jenis yang telah disebutkan bukan merupakan suatu keharusan, karena ada karbon aktif untuk fasa cair yang dibuat dari bahan yang mempunyai densitas besar, seperti tulang. Kemudian dibuat dalam bentuk granular dan digunakan sebagai pemucat larutan gula. Begitu pula dengan karbon aktif yang digunakan untuk fasa uap dapat diperoleh dari bahan yang memiliki densitas kecil, seperti serbuk gergaji (Sembiring, 2003).

2. Struktur Karbon Aktif

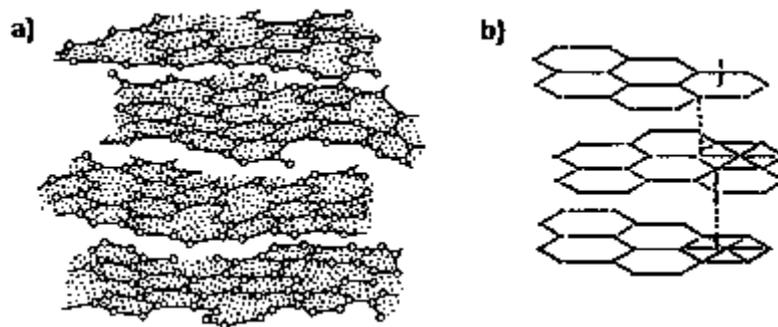
a. Struktur Fisik Karbon Aktif

Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin). Karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas lapisan bidang datar dimana atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal. Gambar 1. menunjukkan skema struktur karbon aktif. Setiap garis pada Gambar 1 menunjukkan lapisan atom-atom karbon yang berbentuk heksagonal dan adanya mikrokristalin dengan struktur grafit pada Karbon aktif (Sudibandriyo, 2003).



Gambar 1 Ilustrasi Skema Struktur Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003).

Adanya lapisan atom-atom karbon yang berbentuk heksagonal dan adanya mikrokristalin pada karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lapisan Atom Karbon Heksagonal (a) dan Struktur Mikrokristalin Karbon Aktif (b) (Pujiyanto, 2010).

Umumnya karbon aktif berbentuk granular (butiran) dan serbuk. Karbon aktif berbentuk serbuk halus memiliki distribusi ukuran partikel 5-10 μm . Sedangkan karbon aktif berbentuk granular memiliki ukuran 0,8-1,2 mm. Porositas karbon aktif terbentuk pada saat proses karbonisasi.

Pada karbon aktif terdapat 3 ukuran pori, yaitu mikropori ($< 2 \text{ nm}$), mesopori (2 nm– 50 nm), dan makropori ($> 50 \text{ nm}$) (Marsh, 2006). Selain itu, jauh terdapat pula ukuran supermikropori (0,7 nm – 2 nm) dan ultramikropori ($< 0,7 \text{ nm}$).

Gambar 3. menunjukkan skema struktur pori pada karbon aktif.



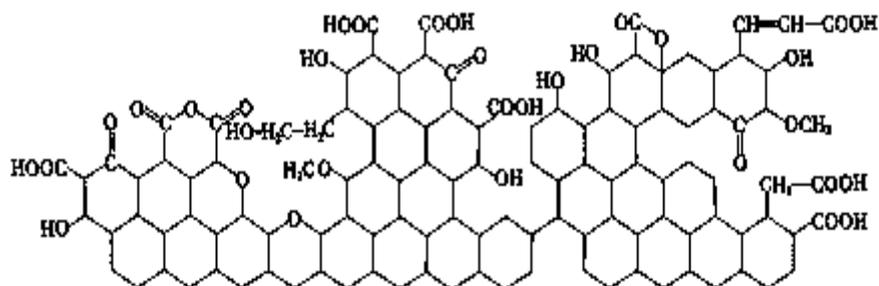
Gambar 3. Skema Struktur Pori Karbon Aktif (Manocha, 2003).

b. Struktur Kimia Karbon Aktif

Selain terdiri dari atom karbon, karbon aktif mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada gugus fungsi misalnya karboksil, fenol, dan eter.

Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif. Selain itu, gugus fungsi pada karbon aktif juga terbentuk selama proses aktivasi oleh karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Gugus fungsi ini menjadikan permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya (Murti, 2008).

Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Struktur Kimia Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003).

3. Jenis-Jenis Karbon Aktif

Menurut Suzuki (1990) karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

a. Karbon Aktif *Granule*

Jenis ini berbentuk butiran atau pelet. Biasanya digunakan untuk proses pada fluida fase gas yang berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, pemisahan dan pemurnian gas. Karbon aktif granul diperoleh dari bahan baku yang memiliki struktur keras seperti tempurung kelapa, tulang dan batubara. Ukuran partikel dari karbon aktif *granule* berbeda-beda tergantung pada aplikasinya. Untuk aplikasi adsorpsi fase gas ukuran *granule* yang sering digunakan adalah 4x8 mesh sampai 10x20 mesh dan untuk bentuk pelet memiliki ukuran partikel 4 mm – 6 mm.

b. Karbon Aktif *Powder*

Karbon aktif *powder* umumnya diproduksi dari bahan kayu dalam bentuk serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan struktur yang lemah. Jenis ini memiliki ukuran rata-rata 50–150 μm . Industri besar menggunakan karbon aktif *powder* untuk penghilangan warna pada proses pembuatan makanan. Belakangan karbon aktif *powder* digunakan pada *water treatment* untuk air minum dan air limbah. Biasanya karbon aktif *powder* digunakan dalam fase cair yang berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan.

c. Karbon aktif *Molecular Sieves*

Aplikasi utama dari karbon aktif *molecular sieve* adalah pemisahan nitrogen dan oksigen dalam udara. Karbon aktif *molecular sieve* merupakan suatu material yang menarik sebagai model karbon aktif sejak memiliki ukuran mikropori yang seragam dan kecil.

d. Karbon Aktif Fiber

Karbon aktif fiber memiliki ukuran yang lebih kecil dari karbon aktif *powder*. Sebagian besar karbon aktif fiber memiliki diameter antara 7–15 μm . Aplikasi karbon aktif fiber dapat ditemukan dalam bidang perlakuan udara seperti penangkapan larutan.

C. Proses Karbonisasi

Karbonisasi (pengarangan) adalah suatu proses pirolisis (pembakaran) tak sempurna dengan udara terbatas dari bahan yang mengandung karbon. Pada proses ini pembentukan struktur pori dimulai. Tujuan utama dalam proses ini adalah untuk menghasilkan butiran yang mempunyai daya serap dan struktur yang rapi. Bahan dasar dipanaskan dengan temperatur yang bervariasi sampai 1300 °C. Material organik didekomposisi dengan menyisakan karbon dan komponen volatil yang lain diuapkan (Jankowska, 1991).

Sifat-sifat dari hasil karbonisasi ini ditentukan oleh kondisi dari bahan dasarnya. Beberapa parameter yang biasa digunakan untuk menentukan kondisi karbonisasi yang sesuai yaitu temperatur akhir yang dicapai, waktu karbonisasi, laju peningkatan temperatur, medium dari proses karbonisasi (Jankowska, 1991).

Temperatur akhir proses mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap struktur dari butiran. Pada temperatur tinggi akan terjadi berbagai macam reaksi dari bahan mentah, sesuai dengan sifat dari struktur kimianya. Reaktivitas dari hasil karbonisasi yang didapatkan setelah pirolisis pada temperatur 300 °C lebih rendah dari temperatur 600 °C dikarenakan penurunan jumlah karbonnya (Jankowska, 1991).

Jika temperatur yang dinaikkan dengan cepat, pembentukan sebagian besar zat volatil terjadi dalam waktu singkat dan hasilnya biasanya terbentuk pori yang berukuran lebih besar. Reaktivitas hasil karbonisasinya lebih besar dari pada hasil yang dipanaskan dengan laju lambat. Dekomposisi *thermal* dari reaksi samping hasil pirolisis juga dipengaruhi oleh medium, jika gas dan uap yang dihasilkan selama pirolisis dipisahkan dengan cepat oleh gas netral maka akan didapatkan hasil karbonisasi yang kecil dengan reaktivitas yang besar (Jankowska, 1991).

D. Aktivasi Karbon Aktif

Proses aktivasi adalah proses perlakuan panas dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas (pirolisis) terhadap produk karbon. Proses aktivasi ini menyebabkan terjadinya pelepasan hidrokarbon dan senyawa organik yang masih melekat pada karbon hasil karbonisasi. Menurut Sontheimer, (1985) pada proses aktivasi terjadi pembentukan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran serta jumlah pori-pori kecil yang telah terbentuk. Dengan demikian karbon aktif hasil aktivasi memiliki luas permukaan internal yang lebih besar. Karbon hasil aktivasi disebut juga dengan karbon aktif. Proses aktivasi merupakan proses yang terpenting karena sangat menentukan kualitas karbon aktif yang dihasilkan baik luas area

permukaan maupun daya adsorpsinya. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia biasanya digunakan untuk bahan dasar yang mengandung selulosa dan menggabungkan antara tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Zat kimia yang dapat mendehidrasi seperti H_3PO_4 atau KOH ditambahkan ke bahan dasar pada temperatur yang telah dinaikkan. Produk ini kemudian akan mengalami pirolisis termal yang mendegradasi selulosa lalu didinginkan dan terakhir agen aktivasinya diekstraksi. Biasanya hasil proses ini adalah karbon aktif bubuk densitas rendah. Aktivasi kimia ini bertujuan mengurangi pembentukan pengotor dan produk samping dengan cara merendam bahan mentah dalam senyawa kimia. Menurut Yang dkk, (2003) proses aktivasi kimia dilakukan pada temperatur 500-900 °C dan agen aktivasi yang digunakan bervariasi seperti H_3PO_4 , K_2SO_4 , $ZnCl_2$, KOH dan NaOH.

2. Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika disebut juga aktivasi termal. Menurut Satish, (2003) aktivasi fisika adalah proses untuk mengembangkan struktur pori dan memperbesar luas permukaan karbon aktif dengan perlakuan panas pada temperatur 800 -1000°C dengan mengalirkan gas pengoksidasi seperti uap atau karbondioksida. Hasil dari proses aktivasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain laju kenaikan temperatur, laju aliran inert gas, proses temperatur, agen aktivasi, lama proses aktivasi dan alat yang digunakan pada penelitian tersebut (Marsh dkk, 2006).

Bahan dasar yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi disebut dengan karbon aktif. Karbon aktif merupakan jenis adsorben yang paling banyak digunakan, karena adsorben jenis ini dinilai memiliki luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang paling baik diantara jenis adsorben lainnya (Cabe dkk, 1999).

E. Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)

1. Pengertian Senyawa PAH

Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon adalah senyawa yang memiliki cincin benzen yang mempunyai enam atom karbon dengan satu atom hidrogen pada setiap karbon. Keadaan ini menyebabkan satu elektron tersisa untuk membentuk ikatan ganda. Senyawa ini sering disebut juga sebagai senyawa hidrokarbon aromatik karena senyawa ini memiliki aroma yang khas dan harum. Senyawa ini termasuk senyawa yang tidak jenuh. Ikatan ganda pada cincin benzen tidak hanya berada pada satu posisi saja, namun selalu berpindah-pindah. Peristiwa ini sering dikenal dengan istilah resonansi. Keadaan inilah yang menyebabkan senyawa aromatik sukar didegradasi dan lebih tahan terhadap beberapa reaksi kimia (Wilbraham & Matta, 1992).

2. Sumber Senyawa PAH

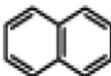
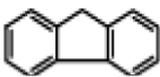
Keberadaan PAH di alam dapat berasal dari dua sumber, yakni sumber alami dan sumber antropogenik. Sumber alami meliputi : kebakaran hutan dan padang rumput, rembesan minyak bumi, gunung berapi, tumbuhan yang berklorofil, jamur dan bakteri, sedangkan sumber antropogenik meliputi: minyak bumi, pembangkit tenaga listrik, insenerasi, pemanas rumah, batu bara, karbon hitam,

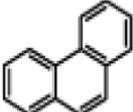
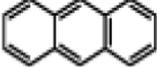
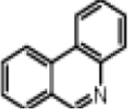
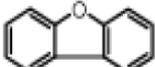
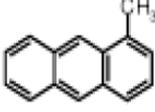
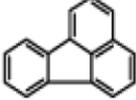
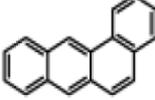
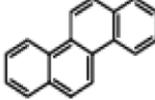
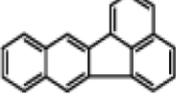
aspal dan mesin-mesin pembakaran (Lah, 2011). PAH yang berasal dari proses alami umumnya lebih rendah dari sumber antropogenik (Culotta dkk, 2006).

3. Sifat Senyawa PAH

Karakter fisik dan kimia PAH bervariasi dalam mode reguler lebih atau kurang dengan berat molekulnya. Konsistensi tiap senyawa PAH dalam peristiwa oksidasi dan reduksi cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya berat molekul. Tekanan uap dan kelarutan dalam air berkurang secara logaritmik dengan bertambahnya berat molekul. Menurut Neff (1979) menyatakan bahwa Naftalen ($C_{10}H_8$) yang terdiri dari 2 cincin aromatik adalah pemilik berat molekul terendah. Selain Naftalen, ada beberapa jenis lainnya yang memiliki berat molekul yang rendah yakni fluorena, fenantrena dan antrasena yang dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Senyawa PAH dengan berat molekul rendah (cincin < 4 buah) dan berat molekul tinggi (cincin \geq 4 buah) (Lundstedt, 2003).

No	Senyawa PAH	Struktur
1.	Naftalena	
2.	Asenaftena	
3.	Flourena	

4. Fenantrena 
 5. Anthrasena 
 6. Fenantrilena 
 7. Dibenzofuran 
 8. 1-Metil Antrasena 
 9. Pyrena 
 10. Fluorantena 
 11. Benzo(a)antrasena 
 12. Crysena 
 13. Benzo(k)fluorantena 
-

PAH yang berat molekulnya rendah bersifat toksik secara akut terhadap organisme perairan, dibandingkan dengan yang memiliki berat molekul lebih tinggi. Selain itu, PAH dengan berat molekul yang rendah dapat terdegradasi dengan cara evaporasi dan aktivitas mikroba. Sedangkan berat molekul yang tinggi umumnya terdegradasi oleh sedimentasi dan fotooksidasi. Penyebab relative dari berbagai proses degradasi pada PAH adalah karakter dari masing-masing senyawa PAH.

F. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan oleh permukaan benda penyerap di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerapnya. Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat penyerap akibat ikatan fisika dan kimia. Adsorpsi dalam air limbah sering mengikuti proses biologis untuk menyisihkan bahan-bahan yang tidak tersisihkan oleh proses biologis, misalnya bahan organik non-biodegradabel. Oleh karena itu adsorpsi sering dikelompokkan sebagai pengolahan tersier (Sawyer dkk, 1994).

1. Interaksi adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu :

a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat adalah gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar

daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi fisika ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol. Contoh : Adsorpsi dengan karbon aktif.

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia (bukan ikatan van Der Waals) antara senyawa terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media.

Adsorpsi kimia terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel adsorbat tertarik ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau bisa melalui ikatan hidrogen. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Contoh : *Ion exchange*. (Sawyer dkk, 1994)

2. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi adalah sebagai

berikut :

a. Luas Permukaan

Semakin luas permukaan adsorben, maka makin banyak zat yang teradsorpsi.

Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben.

b. Jenis Adsorbat

Peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) memiliki kemampuan tarik menarik terhadap molekul lain dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar). Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus.

c. Struktur Molekul Adsorbat

Adanya gugus fungsi hidroksil dan amino mengakibatkan mengurangi kemampuan penyisihan sedangkan Nitrogen dapat meningkatkan kemampuan penyisihan.

d. Konsentrasi Adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben.

e. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorbat menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun.

f. pH

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi.

g. Kecepatan Pengadukan

Menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dan adsorbat. Bila pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat kemungkinan struktur adsorben cepat rusak, sehingga proses adsorpsi kurang optimal.

h. Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan. Waktu kesetimbangan dipengaruhi oleh :

- tipe biomasa (jumlah dan jenis ruang pengikatan),
- ukuran dan fisiologi biomasa (aktif atau tidak aktif),
- ion yang terlibat dalam sistem biosorpsi
- konsentrasi ion logam.

i. Porositas Adsorben

Porositas adsorben juga mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben.

Adsorben dengan porositas yang besar mempunyai kemampuan menyerap yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben yang memiliki porositas kecil. Untuk meningkatkan porositas dapat dilakukan dengan mengaktivasi secara fisika seperti

mengalirkan uap air panas ke dalam pori-pori adsorben atau mengaktivasi secara kimia (Syauqiah, 2011).

3. Sistem Adsorpsi

Sistem adsorpsi ada dua macam, yaitu adsorpsi sistem *batch* dan adsorpsi sistem kontinyu. Adsorpsi sistem *batch* dengan cara partikel adsorben ditempatkan dalam sebuah larutan adsorbat dan diaduk untuk mendapatkan kontak yang merata sehingga terjadi proses adsorpsi. Konsentrasi larutan awal (C_0) nantinya akan berkurang dan bergerak ke konsentrasi kesetimbangan (C_e) setelah beberapa waktu tertentu. Tujuan dari sistem *batch* adalah untuk mengetahui karakteristik adsorbat dan adsorben. Dalam proses adsorpsi secara *batch* berlaku persamaan isotherm Freundlich dan Langmuir. Sedangkan adsorpsi sistem kontinyu dilakukan dengan adsorben selalu berkontak sehingga proses kontak yang terjadi relatif lebih konstan. Dalam proses adsorpsi secara kontinyu berlaku persamaan Thomson (Metcalf dan Eddy, 2003).

4. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu merupakan salah satu parameter yang menggambarkan efisien adsorpsi. Kinetika adsorpsi tergantung pada interaksi adsorbat-adsorben dan kondisi sistem. Beberapa model kinetika adsorpsi yaitu :

a. Kinetika Adsorpsi Pseudo orde Satu

Kinetika ini memiliki arti bahwa laju reaksi berbanding lurus dengan pangkat satu konsentrasi pereaksi yang dinyatakan oleh persamaan 1 berikut :

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - K_t \quad (1)$$

Dengan q_e adalah konsentrasi logam teradsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g), q_t yaitu konsentrasi logam teradsorpsi pada saat waktu t (mg/g), t merupakan waktu kontak (menit) dan k adalah konstanta kinetika adsorpsi pseudo orde satu (g/mg/menit).

b. Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua

Kinetika ini memiliki arti bahwa laju reaksi berbanding lurus dengan pangkat satu konsentrasi pereaksi yang dinyatakan oleh persamaan 2 berikut :

$$\frac{t}{q_t} + \frac{1}{Kq_e} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

Notasi q_e adalah jumlah ion logam yang teradsorpsi setelah setimbang (mg/g), q_t adalah jumlah ion teradsorpsi pada saat t (mg/g), k adalah konstanta kinetika adsorpsi pseudo orde dua (g/mg/menit) (Demirbas dkk., 2008).

5. Kapasitas Adsorpsi

Model kesetimbangan adsorpsi yang sering digunakan untuk menentukan kesetimbangan adsorpsi yaitu :

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Model kinetika adsorpsi Langmuir adalah laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen dan adsorpsi terjadi secara monolayer.

Proses adsorpsi heterogen memiliki dua tahap, yaitu : perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben dan adsorpsi pada permukaan adsorben.

Tahap pertama akan bergantung pada sifat pelarut dan adsorbat yang terkontrol (Oscik, 1982). Bagian yang terpenting dalam proses adsorpsi yaitu situs yang dimiliki oleh adsorben yang terletak pada permukaan, akan tetapi jumlah situs-

situs ini akan berkurang jika permukaan yang tertutup semakin bertambah (Husin and Rosnelly, 2005). Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir tersebut dapat ditulis dalam bentuk persamaan 3 :

$$\frac{c}{m} = \frac{1}{bK} + \frac{c}{b} \quad (3)$$

Dengan C adalah konsentrasi kesetimbangan, m adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben, b adalah kapasitas adsorpsi dan K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi. Dari kurva linier hubungan antara C/m versus C maka dapat ditentukan nilai b dari kemiringan (slop) dan K dari intersep kurva. Energi adsorpsi (Eads) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol ion logam teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi Gibbs standar, ΔG^0 dapat dihitung menggunakan persamaan 4 :

$$E = -\Delta G^0_{ads} = -RT \ln K \quad (4)$$

Dengan R adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K), T adalah temperatur (K) dan K adalah konstanta kesetimbangan yang diperoleh dari persamaan Langmuir, sehingga energi total adsorpsi E harganya sama dengan negative energi bebas Gibbs (Oscik, 1982).

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm Freundlich merupakan proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Hal tersebut berkaitan

dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (Husin and Rosnelly, 2005). Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich tersebut dapat ditulis dalam bentuk persamaan 5:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (5)$$

Dengan q_e adalah jumlah adsorbat yang terserap tiap satuan berat adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L), K_f dan n adalah konstanta empiris yang tergantung pada sifat padatan, adsorben dan suhu (Soeprijanto dkk., 2005). Penentuan konstanta K_f dan n dapat dilakukan dengan linierisasi persamaan 6 :

$$\log (q_e) = \log (K_f) + 1/n \log (C_e) \quad (6)$$

K_f dan n dapat dicari dengan membuat kurva $\ln(q_e)$ berbanding $\ln(C_e)$. Nilai K_f didapat dari titik potong dengan sumbu tegak dan n dari tangen arah garis lurus yang terbentuk. Koefisien K_f sering dikaitkan dengan kapasitas adsorpsi adsorben sehingga mencerminkan jumlah rongga dalam adsorben tersebut (Singh and Alloway, 2006).

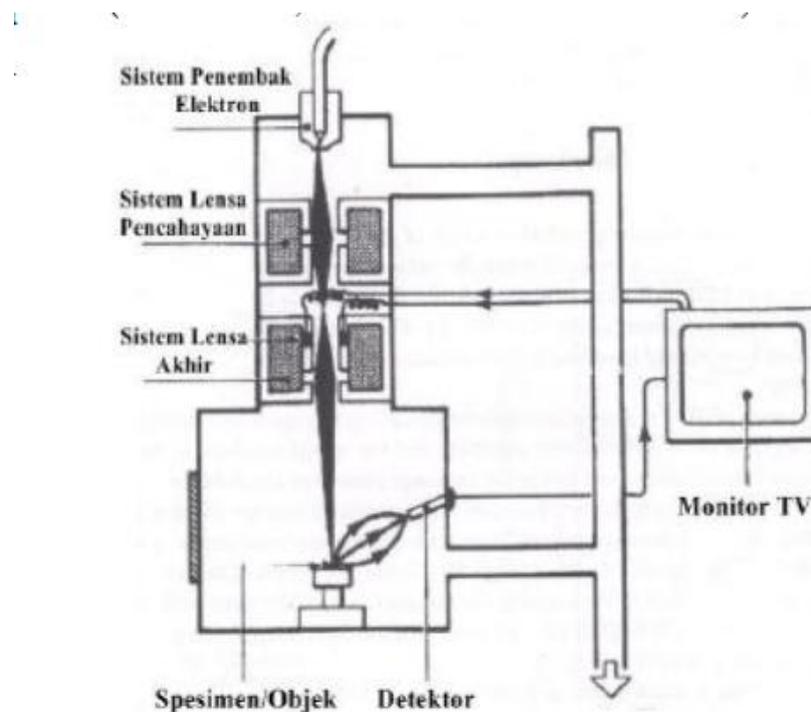
G. Karakterisasi

1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan mikroskop elektron yang mampu menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari sebuah permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan oleh SEM digunakan untuk menentukan struktur permukaan dari sampel. SEM menerapkan prinsip difraksi electron dengan pengukuran sama seperti mikroskop

optik. Prinsip kerjanya adalah elektron yang ditembakkan akan dibelokkan oleh lensa elektromagnetik dalam SEM (Wijaya, 2008).

Sistem kerja SEM terdiri atas sumber cahaya elektron, sistem lensa, detektor, dan monitor TV. Sumber cahaya elektron dihasilkan di dalam suatu penembak elektron yang berbentuk filamen pemanas berupa tabung tanpa udara. Sumber cahaya elektron dipercepat dan difokuskan oleh sistem lensa magnetik yang berada di atas objek. Elektron dikumpulkan oleh detektor, diubah dalam bentuk voltase (energi listrik), kemudian disebar. Berikut skema kerja SEM yang ditunjukkan dalam Gambar 5. (Elizabeth, 2011).



Gambar 5. Skema kerja SEM

Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra permukaan yang tajam adalah permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron. Material yang

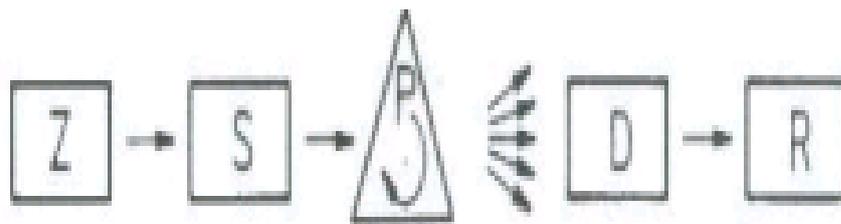
memiliki sifat demikian adalah logam. Jika permukaan logam diamati di bawah SEM maka profil permukaan akan tampak dengan jelas. Sementara, pada profil permukaan bukan logam untuk diamati dengan SEM, permukaan material tersebut harus dilapisi dengan logam. Film tipis logam dibuat pada permukaan material tersebut sehingga dapat memantulkan berkas elektron. Metode pelapisan yang umum dilakukan adalah *coating* (Abdullah & Mikrajuddin 2008). SEM memiliki beberapa keunggulan, diantaranya mampu menggambarkan area yang besar secara komparatif dari spesimen, mengukur komposisi dan sifat dasar dari spesimen, serta memiliki resolusi tinggi (Wijaya 2008).

2. Spektrofotometer *Fourier Transformer Infrared Spectroscopy* (FTIR)

FTIR merupakan suatu metode spektroskopi Infrared (IR). Pada metode ini, radiasi IR dilewatkan pada sampel. Beberapa radiasi IR diabsorpsi oleh sampel dan ada juga yang ditransmisikan, sehingga menghasilkan spektrum absorpsi molekul dan transmisi molekul. FTIR berguna untuk menentukan gugus fungsional suatu sampel. Jika suatu molekul ditempatkan di dalam suatu daerah elektromagnetik (sinar IR), akan terjadi perubahan bentuk energi dari daerah elektromagnetik ke molekul. Kemampuan molekul dalam mengabsorpsi radiasi berdasarkan sifat khas masing-masing molekul, yaitu perubahan dalam tingkat loncatan energetik elektron, pergerakan getaran dari atom, dan rotasi suatu molekul.

Sumber radiasi (Z) pada FTIR berupa laser IR. IR memiliki energi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan ultraviolet dan sinar tampak. Hal tersebut menentukan tebal sampel (S) yang dipakai, tebal sampel yang dipakai pada FTIR

lebih tipis daripada spektrofotometer lainnya, yaitu sekitar 0.02 mm. Sampel (S) berupa padatan digerus dalam mortar bersama KBr kering dalam jumlah sedikit (0.5-2 mg sampel dengan 100 mg KBr kering). Campuran tersebut dipres diantara dua sekrup menggunakan kunci, kemudian terbentuk tablet sampel tipis yang diletakkan di tempat sel FTIR dengan lubang mengarah ke sumber radiasi (Z). Sampel dibiarkan terkena radiasi IR di dalam FTIR. Radiasi dari sumber (Z) melalui sampel (S) dan prisma (P). Prisma (P) merupakan tempat terjadi pemisahan komponen cahaya monokromatik. Rotasi perlahan prisma menghasilkan suatu radiasi dengan frekuensi yang berbeda-beda, kemudian radiasi tersebut jatuh pada detektor. Detektor (D) dapat merekam frekuensi dan aliran radiasi (R). Skema alat dapat dilihat dalam Gambar 6. Spektrum (*peaks*) yang tergambar bergantung pada absorpsi dan frekuensi radiasi. Alat berupa *Analog Digital Converter* digunakan untuk menghubungkan antara instrumen dengan komputer. Hasil *peaks* terlihat pada monitor sesuai dengan gugus fungsi yang khas untuk masing-masing molekul (Elizabeth, 2011).



Gambar 6. Skema kerja FTIR

Analisis menggunakan Spektrofotometer FTIR memiliki dua kelebihan dibandingkan metode konvensional lainnya, yaitu dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan dengan cara sekuensial atau *scanning*. Selain itu,

sensitifitas dari metoda spektrofotometri FTIR lebih besar daripada cara dispersi, karena radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak tanpa harus melalui celah (Fatmawati, 2010).

3. Spektrofotometer UV-VIS

a. Pengertian Spektrofotometri

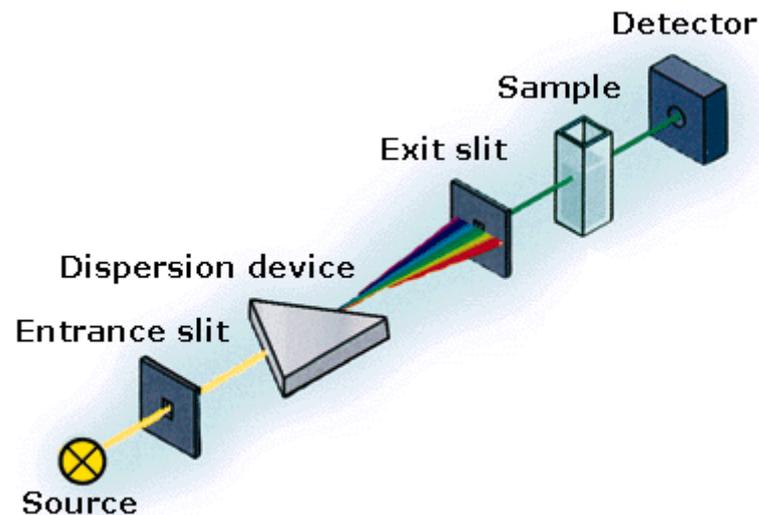
Spektrofotometri sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spectrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang. Kelebihan spektrofotometer dengan fotometer adalah panjang gelombang dari sinar putih dapat lebih di deteksi dan cara ini diperoleh dengan alat pengurai seperti prisma, *grating* atau celah optis. Pada fotometer filter dari berbagai warna yang mempunyai spesifikasi melewati trayek pada panjang gelombang tertentu (Gandjar, 2007).

b. Prinsip Kerja Spektrofotometri

Spektrum elektromagnetik dibagi dalam beberapa daerah cahaya. Suatu daerah akan diabsorpsi oleh atom atau molekul dan panjang gelombang cahaya yang diabsorpsi dapat menunjukkan struktur senyawa yang diteliti. Spektrum elektromagnetik meliputi suatu daerah panjang gelombang yang luas dari sinar gamma gelombang pendek berenergi tinggi sampai pada panjang gelombang mikro (Marzuki Asnah, 2012).

Spektrum absorpsi dalam daerah-daerah ultra ungu dan sinar tampak umumnya terdiri dari satu atau beberapa pita absorpsi yang lebar, semua molekul dapat

menyerap radiasi dalam daerah UV-tampak. Oleh karena itu mereka mengandung electron, baik yang dipakai bersama atau tidak, yang dapat dieksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Panjang gelombang pada waktu absorpsi terjadi tergantung pada bagaimana erat elektron terikat di dalam molekul. Elektron dalam satu ikatan kovalen tunggal erat ikatannya dan radiasi dengan energi tinggi, atau panjang gelombang pendek, diperlukan eksitasinya. Keuntungan utama metode spektrofotometri adalah bahwa metode ini memberikan cara sederhana untuk menetapkan kuantitas zat yang sangat kecil. Selain itu, hasil yang diperoleh cukup akurat, dimana angka yang terbaca langsung dicatat oleh *detector* dan tercetak dalam bentuk angka digital ataupun grafik yang sudah diregresikan (Wunas dkk, 2011). Secara sederhana instrument spektrofotometri yang disebut spektrofotometer terdiri dari :



Gambar 7. Skema kerja UV-VIS

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan (Mei-September 2017) di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Karakterisasi adsorben menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray*) dan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) sedangkan analisis adsorpsi menggunakan spektrofotometer UV-VIS (*Ultra Violet-Visible*) yang dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah peralatan gelas, pH meter, *Shaker*, kertas saring biasa, *siever*, oven, *Furnace*, neraca analitik, *Centrifuge*, SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), dan spektrofotometer UV-VIS (*Ultra Violet-Visible*).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah sekam padi, 25 % NaOH, HCl 1 N (37%, *analysis grade*), ZnCl₂ 10%, Metanol (HPLC *grade*), Aquabides, air suling dan larutan standar fenantrena.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sekam Padi Tanpa Unsur Silika

Sekam padi dicuci dengan air panas untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada sekam padi. Setelah direndam dengan air panas, kemudian direndam menggunakan air suling selama semalam dan dicuci kembali menggunakan air panas keesokan paginya, sehingga kotoran yang menempel pada sekam padi benar-benar hilang. Sekam padi yang sudah bersih lalu dikeringkan menggunakan oven selama semalaman pada suhu 90°C . Kemudian sekam padi yang sudah dikeringkan dilarutkan dengan menggunakan larutan HCl 1N dalam gelas kimia 1000 ml selama 1 jam sambil dipanaskan menggunakan *heating mantle* dengan suhu 75°C . Setelah itu, disaring dan residu padatnya dicuci berulang kali dengan air suling untuk menghilangkan ion-ion logam yang masih menempel pada sekam padi. Sekam padi kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90°C selama semalam.

Ditimbang sebanyak 40 gram sekam padi dan dilarutkan dengan NaOH 25 % sebanyak 600 ml dalam gelas kimia 1000 ml lalu dipanaskan selama 1 jam dengan menggunakan *magnetic stirrer hot plate* pada suhu 90°C . Kemudian disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat berupa ekstrak silika dan residu sekam padi. Residu sekam padi kemudian dicuci dengan menggunakan air suling secara berulang kali dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 4 jam untuk menghilangkan konsentrasinya.

2. Pembuatan Karbon Aktif dari Sekam Padi

a. Karbon Aktif Tanpa Unsur Silika

Ditimbang sekam padi tanpa unsur silika sebanyak 50 gram hasil ekstraksi silika dan dilakukan karbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam. Karbon hasil *furnace* kemudian dihaluskan menggunakan lumpang porselin lalu dimasukkan dalam desikator. Karbon yang sudah dihaluskan kemudian diaktivasi dengan menggunakan ZnCl_2 10 % dengan perbandingan 1: 10 selama 24 jam. Selanjutnya karbon yang telah diaktivasi dengan ZnCl_2 10 % disaring menggunakan kertas saring. Setelah proses penyaringan, karbon dicuci dengan air suling hingga pH 7. Setelah itu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Kemudian karbon diaktivasi secara fisika menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 1 jam. Setelah diaktivasi secara fisika, karbon dimasukkan dalam desikator dan diayak dengan ukuran $100\ \mu\text{m}$.

b. Karbon Aktif dengan Unsur Silika

Ditimbang sekam padi yang sudah dibersihkan sebanyak 50 gram dan dilakukan karbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 300°C selama 2 jam. Karbon hasil *furnace* kemudian dihaluskan menggunakan lumpang porselin. Kemudian dimasukkan dalam desikator. Karbon yang sudah dihaluskan kemudian diaktivasi dengan menggunakan ZnCl_2 10 % dengan perbandingan 1: 10 selama 24 jam. Selanjutnya karbon yang telah diaktivasi dengan ZnCl_2 10 % disaring menggunakan kertas saring. Setelah proses penyaringan, karbon dicuci dengan air suling hingga pH 7. Setelah itu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Kemudian karbon diaktivasi secara fisika menggunakan *furnace* pada suhu

400⁰C selama 1 jam. Setelah diaktivasi secara fisika, karbon dimasukkan dalam desikator dan diayak dengan ukuran 100 µm.

3. Karakterisasi Karbon Aktif

Karbon aktif sekam padi yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk melihat morfologi permukaan dan komposisinya. Selain itu, karbon aktif sekam padi dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk menentukan gugus fungsi.

4. Pembuatan larutan induk Fenantrena

Larutan induk fenantrena 25 ppm dibuat dengan cara melarutkan 12,5 mg padatan fenantrena kedalam labu takar 500 ml lalu ditambahkan pelarut metanol (HPLC *Grade*) dan aquabides dengan perbandingan pelarut (50:50) hingga tanda terra dan dihomogenkan. Untuk mengetahui konsentrasi fenantrena, dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum 250 nm seperti yang tersaji pada Gambar 8 (Lampiran 1).

5. Uji Adsorpsi

a. Penentuan Massa Optimum Adsorben

Sebanyak 20 mL larutan fenantrena 10 ppm ditambahkan adsorben dengan variasi massa 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25 mg. Campuran tersebut diaduk menggunakan *Shaker* selama 1 jam pada kecepatan 150 rpm. Kemudian larutan disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit. Filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 250 nm untuk mengetahui konsentrasi fenantrena yang teradsorpsi.

b. Penentuan Optimasi Waktu Kontak

Sebanyak 20 mL larutan fenantrena 10 ppm ditambahkan adsorben optimum. Campuran tersebut diaduk menggunakan *Shaker* dengan variasi waktu 10, 30, 60, 90 dan 120 menit pada kecepatan 150 rpm. Kemudian larutan disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit. Filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 250 nm untuk mengetahui konsentrasi fenantrena yang teradsorpsi.

c. Isoterm Adsorpsi

Sebanyak 20 mL larutan fenantrena dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm masing-masing ditambah adsorben dengan massa optimum. Campuran tersebut diaduk dengan waktu kontak optimum pada kecepatan 150 rpm. Kemudian larutan disentrifugasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 10 menit. Filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 250 nm untuk mengetahui konsentrasi fenantrena yang teradsorpsi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh

kesimpulan bahwa :

1. Pembuatan karbon aktif dari sekam padi yang telah dihilangkan silikanya dan diaktivasi sudah berhasil dilakukan, hal ini dibuktikan dengan hasil karakterisasi SEM dengan adanya pori-pori pada permukaan adsorben.
2. Adsorpsi fenantrena oleh adsorben karbon aktif optimum pada dosis 23 mg dengan waktu kontak selama 60 menit dan diperoleh adsorpsi sebesar 99,93 %.
3. Laju adsorpsi fenantrena cenderung mengikuti kinetika kimia pseudo orde 2 dengan nilai koefisien relatif (R^2) sebesar 0,927 dengan nilai konstanta laju sebesar $5,2195 \times 10^{-3} \text{ g mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$.
4. Isoterm adsorpsi fenantrena oleh adsorben karbon aktif pada penelitian ini cenderung mengikuti model isotherm Freundlich dengan nilai koefisien relatif (R^2) sebesar 0,991.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan :

1. Melakukan analisis adsorpsi senyawa fenantrena dengan menggunakan karbon aktif dari zat aktivasi lainnya.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap adsorpsi zat PAH lain oleh karbon aktif dari sekam padi sehingga dapat diaplikasikan di lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abass Olanrewaju Alade, Omotayo Sarafadeen Amuda, Afolabi Tinuade Jolaade and Asiata Omotayo Ibrahim. 2012. *Isothermal studies of adsorption of acenaphthene from aqueous solution onto activated carbon produced from rice (Oriza Sativa) husk*. Elixir Chem. Engg. 46 8461-8467. Nigeria.
- Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S.M., 2016. *A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation*. Egypt. J. Pet. 25, 107–123.
- Abdullah, Mikrajuddin. 2008. *Pengantar Nanoscience*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung. Bandung:
- Alberty, R.A., and F. Daniel. 1987. *Physical Chemistry, 5th ed, SI Version*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Anthony, Wilbraham, C., dan Michael, B, Matta. 1992. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*. penerbit ITB. Bandung;
- Austin.G.T. 1996. *Industri Proses Kimia*. Erlangga. Jakarta.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. 2009. *Jus Jeruk Siam : Di Balik Rasa Pahit Temukan Manfaat yang Menakjubkan*. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Bian, Q., Alharbi, B., Jr, Jeffrey Collett, Kreidenweis, S., Pasha, M.J., 2016. *Measurements and source apportionment of particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air in Riyadh, Saudi Arabia*. Atmos. Environ. 137, 186–198.
- Binod Kumar Pandey, Salma Habib K, Amit Chattree. 2016. Preparation and Characterization of Activated Carbon Derived From Rice Husk by NaOH Activation. International Journal of Mathematic and Physical Sciences Research. India.
- Cabe. Mc, Warren L. 1999. *Operasi Teknik Kimia Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.

- Cao, X., Hao, X., Shen, X., Jiang, X., Wu, B., Yao, Z., 2017. *Emission characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel trucks based on on-road measurements*. Atmos. Environ. 148, 190–196.
- Chen B.H, Wang C.Y, Chiu C.P. 1996. *Evaluation of analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in meat products by liquid chromatography*. J Agric & Food Chem 44: 2244-2251.
- Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S.A., Poulios, L., Mantzavinos, D., 2008. *Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D*. J. Chem. Technol. Biotechnol. 83, 769e776.
- Culoota, L., Cencetta De Stefano., Antonio Gianguzza Maria Rosaria Mannino & Santino Groecchia. 2006. *The PAH Composition of Surface Sediments from Stagnone coastal Lagoon*. Mar. Chem. 99: 117-127. Marsala Italy.
- Crittenden, Barry dan W.J. Thomas. 1998. *Adsorption Technology and Design*. Elsevier Science & Technology Books. United Kingdom.
- Demirbas, A. 2008. *Comparison of Transesterification Methods for Production of Biodiesel from Vegetable Oils and Fats*. Energy Conversion and Management. Vol. 49, hal. 125-130.
- Elizabeth IR. 2011. *skripsi : Biosintesis Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Sekam oleh Fusarium oxysporum*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Faradina, E dan Setiawati, N. 2010. *Regenerasi Minyak Jelantah Dengan Proses Bleaching Menggunakan Adsorben Arang Aktif*. Laporan Penelitian Program Studi Teknik Kimia. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Fatmawati F. 2010. *skripsi : Sintesis SiO₂ Berbasis Sekam Padi dan Uji Kuat Tarik terhadap Komposit Ripoksi- SiO₂ (R802- SiO₂)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Gandjar, Ibnu Gholib. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Gupta H. 2015. *Removal of Phenanthrene From Water Using Activated Carbon Developed From Orange Rind*. Int. J. Sci. Res. Environ. Sci. 3, 248-255.
- Hu, Y., He, Y., Wang, X., Wei, C., 2014. *Efficient adsorption of phenanthrene by simply synthesized hydrophobic MCM-41 molecular sieves*. Appl. Surf. Sci. 311, 825e830.
- Husin, G. dan C. M. Rosnelly. 2005. *Tesis : Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang*. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darrusalam. Banda Aceh.
- Ismail, M. S. dan Waliuddin, A. M. 1996. *Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete*. Construction and Building Materials. 10 (1):521 – 526

- Ismunadji, M., S.O. Manurung. 1988. *Dalam Ismunadji, M., S. Partohadjono, M. Syam, dan A. Widjono (eds). Padi Buku 1. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. Hal 55-102.*
- Jankowska, H., Swatkowski, A. and Choma, J., 1991. *Active Carbon*. Ellis Horwood. New York.
- Karin Bjorklund dan Loretta Y. Li. 2017. *Performance of retrievable activated carbons to treat sediment contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons*. *Journal of Hazardous Materials* 320 (2016) 359–367
- Kinoshita, K, 1988. *Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties*. John Wiley & Sons. New York.
- Lah, Katarina. 2011. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. <http://toxipedia.org/display/toxipedia/PolycyclicAromaticHydrocarbons>. Diakses pada tanggal 1 maret 2017.
- Li, H., Qu, R., Li, C., Guo, W., Han, X., He, F., Ma, Y., Xing, B., 2014. *Selective removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil washing effluents using biochars produced at different pyrolytic temperatures*. *Bioresour. Technol.* 163, 193e198.
- Lundstedt, S. 2003. *Analysis of PAHs and their transformation products in contaminated soil and remedial processes*. Department of Chemistry. Environmental Chemistry. Umeå University. Sweden.
- Manocha, S. M., 2003. *Porous Carbons*. Sadhana Vol. 28 bagian 1&2.
- Marsh, Harry, and Francisco Rodriguez-Reinoso. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier. London.
- Marzuki, Asnah. 2012. *Kimia Analisis Farmasi*. Dua Satu Press. Makassar.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Fourth Edition*. McGraw Hill Book Co. Singapore.
- Murti, S., 2008. *Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Molekul Amonia dan ion Krom*. Universitas Indonesia. Depok.
- Nasir La Hasan, Muhammad Zakir dan Prastawa Budi. 2015. *Desilikasi Karbon Aktif Sekam Padi Sebagai Adsorben Hg Pada Limbah Pengolahan Emas Di Kabupaten Buru Propinsi Maluku*. Universitas Hasanudin. Maluku.
- Neff, J. M. 1979. *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment*. Applied Science Publishers Ltd. London.
- Nguyen-Duy Dat dan Moo Been Chang. 2017. *Review on characteristics of PAHs in atmosphere, anthropogenic sources and control technologies*. *Science of the Total Environment* 609 (2017) 682–693.

- Oller, I., Malato, S., Sanchez-Perez, J.A., 2011. *Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination-a review*. *Sci. Total Environ.* 409, 4141e4166.
- Oscik, 1982. *Adsorption*. Ellis Horwood Limited. England.
- Patryk Oleszczuk, Paulina Godlewska, Danny D. Reible, Piotr Kraska. 2017. *Bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons in activated carbon or biochar amended vegetated (*Salix viminalis*) soil*. *Environmental Pollution* 227 (2017) 406e413.
- Prabowo, A. 2009. *Skripsi : Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung Serta Aplikasinya Untuk Adsorpsi Cu, Pb, dan Amonia*. Universitas Indonesia Depok.
- Pujiyanto. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif Super Dari Batubara dan Tempurung Kelapa*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Rahmawati, A. and S. J. Santoso. 2012. *Studi adsorpsi logam Pb(II) dan Cd(II) pada asam humat dalam medium air*. *Alchemy*. 2(1): 46-57.
- Rohadin Moradi Rad, Leila Omid, Hossein Kakooei, Farideh Golbabaee, Hamed Hassani, Rezvan Abedin Loo dan Kamal. 2014. *Adsorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Activated Carbon : Kinetic and Isoterm Curve Modeling*. *International Journal Of Occupational Hygiene*. University Of Tehran. Iran
- S.M. Yakout, A.A.M. Daifullah and S.A. El-Reefy. 2013. *Equilibrium and Kinetic Studies of Sorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Water Using Rice Husk Activated Carbon*. *Asian Journal of Chemistry*; Vol. 25, No. 18 (2013), 10037-10042. Arab Saudi.
- Satish, 2003. *Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Cara Pemanasan Suhu Tinggi*. *Majalah Ilmiah*. No. 5.
- Sawyer, Clair N., et al. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering Fourth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapura.
- Sembiring, TM dan Sinaga, TS, 2003. *Arang Aktif : Pengenalan dan Proses Pembuatannya*. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Shih, K.L., Lederberg, J. 1976. *Chloramine mutagenesis in bacillus-subtilis*. *Science* 192, 1141e1143.
- Singh, B and Alloway, B.J. 2006. *Adsorptive Minerals To Reduce The Availability Of Cadmium And Arsenic In Contaminated Soils*. School of Land, Water & Crop Sciences. University of Sidney.
- Soeprijanto, Elsony A, dan Sulistyowati E. 2005. *Kineka Biosorpsi Ion Logam Berat Cr(IV) Menggunakan Biomassa *Sacromyces Cerevisiae**. *Jurnal teknik kimia Indonesia* 4 (1) 183-190.

- Sontheimer, J.E., 1985. *Activated Carbon for Water Treatment Netherlands*. Elsevier. pp. 51-105
- Sudibandriyo, M., 2003. *Ph. Dissertation: A Generalized Ono-Kondratice Model for High Pressure on Carbon Adsorbent*. Oklahoma State University. Oklahoma.
- Suzuki, M., 1990. *Adsorption Engineering*. Elsevier Science Publishers. Tokyo.
- Syauqiah, Isna., Amalia, Mayang., Kartini, A, Hetty. 2011. *Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif*. INFO TEKNIK. Vol 12, No. 1
- Wijaya L. 2008. *skripsi : Modifikasi Elektroda Karbon dengan Nanopartikel Emas dan Aplikasinya sebagai Sensor Arsen (III)*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Wunas, Yeanny dan Susanti. 2011. *Analisa Kimia Farmasi Kuantitatif (revisi kedua)*. Laboratorium Kimia Farmasi Fakultas Farmasi UNHAS. Makassar.
- Xuemin Xiao, Dandan Liua, Yujun Yan, Zhilin Wu, Zhansheng Wu, Giancarlo Cravotto. 2015. *Preparation of activated carbon from Xinjiang region coal by microwave activation and its application in naphthalene, phenanthrene, and pyrene adsorption*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 000(2015)1–8
- Yang, Ralph T. 2003. *Adsorbents : Fundamentals and Application*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.
- Zhang, Z.L., Hong, H.S., Zhou, J.L., Yu, G., 2004. *Phase association of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Minjiang river Estuary*. Sci. Total Environ. 323, 71e86. China.
- Zhou, W., Wang, X., Chen, C., Zhu, L., 2013. *Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from surfactant solutions by selective sorption with organo-bentonite*. Chem. Eng. J. 233, 251e257.