

**EVALUASI KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) TERHADAP
FENOL DALAM LARUTAN**

(Skripsi)

Oleh

MEGAFHIT PUSPITARINI



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

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ADSORPTION CAPABILITY OF ACTIVATED CARBON FROM PALM OIL SHELL (*Elaeis guineensis* Jacq.) TOWARD PHENOL IN SOLUTION

By

Megafhit Puspitarini

This research aimed to know the capability of activated carbon from palm oil shell which has been activated by physical activation (KAF), physical-chemical activation (KAK), and physical-chemical-impregnation with Cu^{2+} ion (KAI) for phenol adsorption. The research was began by doing physical activation at 700 °C and physical-chemical activation using H_3PO_4 as activator, also by addition $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ on impregnation process. The result of physical activated carbon (KAF) has a greater capability of adsorption than physical-chemical activated carbon (KAK) and physical-chemical-impregnation activated carbon (KAI) are 99.95; 77.30; and 57.15% respectively. The characterization of activated carbon has been characterized using Scanning Electron Microscope (SEM) to determine the surface morphology. The spectrophotometer IR to determine the functional group of activated carbon. The adsorption test of activated carbon was conducted by the batch method that consist of four steps as follows: the determination of optimum dosage of adsorbent, optimum pH, adsorption rate, and adsorption isotherm of phenol. The optimum dosage of adsorbent was produced as much as 50 mg was able to adsorbs 24.119 mg of phenol solution/g adsorbent. The optimum pH was obtained at KAF is pH 6 then on KAK and KAI both have an optimum pH at pH 8. The optimum contact time was obtained at 120 minutes. The adsorption kinetics data of phenol on KAF, KAK, and KAI tend to follow the model of pseudo second order and the adsorption isotherm of phenol on KAF, KAK, and KAI tend to follow the model of Freundlich isotherms.

Keywords: Activated carbon, palm oil shell, physical activation, physical-chemical activation, impregnation, adsorption, phenol.

ABSTRAK

EVALUASI KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis Jacq.*) TERHADAP FENOL DALAM LARUTAN

Oleh

Megafhit Puspitarini

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit yang telah diaktivasi secara fisika (KAF), fisika-kimia (KAK), dan fisika-kimia-impregnasi dengan ion Cu^{2+} (KAI) untuk mengadsorpsi fenol. Penelitian diawali dengan melakukan aktivasi secara fisika pada suhu $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan aktivasi secara fisika-kimia menggunakan zat aktivator H_3PO_4 , serta penambahan senyawa $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dalam proses impregnasi. Karbon aktif hasil aktivasi fisika (KAF) mempunyai kemampuan adsorpsi lebih besar daripada karbon aktif hasil aktivasi fisika-kimia (KAK) dan fisika-kimia-impregnasi (KAI) yaitu masing-masing sebesar 93,95; 77,30; dan 57,15%. Karakterisasi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan. Spektrofotometer *IR* untuk mengetahui gugus fungsi karbon aktif. Uji adsorpsi pada karbon aktif dilakukan dengan metode *batch* yang meliputi empat tahap sebagai berikut: penentuan dosis optimum adsorben, pH optimum, laju adsorpsi, dan isoterm adsorpsi fenol. Dosis optimum adsorben yang dihasilkan yaitu sebanyak 50 mg mampu menyerap 24,119 mg larutan fenol/g adsorben. pH optimum yang diperoleh pada KAF yaitu pH 6 kemudian pada KAK dan KAI keduanya memiliki pH optimum yaitu pH 8. Waktu kontak optimum yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu pada 120 menit. Data kinetika adsorpsi fenol pada KAF, KAK, dan KAI cenderung mengikuti model kinetika adsorpsi pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi fenol pada KAF, KAK, dan KAI cenderung mengikuti pola isoterm Freundlich.

Kata kunci: Karbon aktif, tempurung kelapa sawit, aktivasi fisika, aktivasi kimia, impregnasi, adsorpsi, fenol.

**EVALUASI KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI
TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) TERHADAP
FENOL DALAM LARUTAN**

Oleh

MEGAFHIT PUSPITARINI

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**

Judul Skripsi : **EVALUASI KEMAMPUAN ADSORPSI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) TERHADAP FENOL DALAM LARUTAN**

Nama Mahasiswa : **Megafhit Puspitarini**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011042

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Bullani, M.Si.
NIP 19690416 199403 2 003

Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

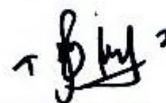
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Buhani, M.Si.



Sekretaris : Dr. Mita Rilyanti, M.Si.

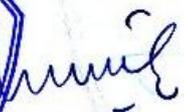


**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Zipora Sembiring, M.S.**



Dean Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 04 Oktober 2017

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 28 Februari 1995, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Bambang Wahyu Widodo, SE. dan Ibu Rr. Siti Khotimah. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-kanak di TK Xaverius Panjang, Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2001. Sekolah Dasar (SD) di SD Xaverius 2 Panjang, Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 23 Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2013. Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Pada bulan Juni 2016 penulis menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila di Bandar Lampung dengan judul

“Pembuatan dan Karakterisasi serta Uji Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kelapa (*Cocosnucfera L.*) terhadap Senyawa Fenol”. Penulis juga

melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Tanjung Ratu, Kabupaten Lampung Tengah pada tahun 2016.

Pengalaman organisasi dimulai sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila periode 2013/2014. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila sebagai anggota Biro Kesekretariatan (Kestari) pada kepengurusan periode 2014/2015 dan 2015/2016.

Beasiswa yang diperoleh penulis yakni dari Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (DIKTI-Kemdikbud) berupa Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (Beasiswa PPA) pada tahun ajaran 2014/2015. Pada Februari 2017 penulis melakukan penelitian di laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Unila.

MOTTO

The happy life is about how we are thankful and grateful for everything (Anonymous)

Hai orang-orang yang beriman. Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar (Q.S Al. Baqarah : 153)

Believe on yourself that you can do it, cause there is no limit of struggling (Megafhit Puspitarini)

Karena sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan (Q.S Al. Insyirah : 5)

Past and future are not something you can always prepare for. Things can change with just one decision. The future is not fixed, but it's depend on your choice (Kim Shin)

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,

Bapak dan Ibu yang telah menyayangi, merawat, mendidik, dan mengajarkan kebaikan sejak kecil hingga saat ini. Terima kasih saya ucapkan, kalianlah semangat hidup dan inspirasi masa depanku. Oleh karena itu, ijin kan 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,

Muhammad Wahyu Anggoro dan Diyaz Rachmaningtiyas.

Keluarga Besar Soepadi Adi Wijono dan RB. Soenaryo yang telah mendukung dan mendoakanku.

Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S., dan Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. Saya ucapkan terima kasih atas bimbingannya selama saya mengerjakan penelitian dan tugas akhir.

Guru-guru yang selalu membagi ilmunya untukku.

Seluruh sahabat dan teman-temanku yang selalu menyemangati ku.

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 **“Evaluasi Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap Fenol dalam Larutan”** 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, Bapak Bambang Wahyu Widodo, S.E., terimakasih atas kasih sayang, semangat, serta segala bentuk pengorbanan Bapak baik keringat maupun materi sehingga saya dapat menyelesaikan studi hingga menjadi Sarjana Sains, dan Ibu Rr. Siti Khotimah, terimakasih ibuku

atas seluruh kasih sayang, kesabaran, ketulusan, keikhlasan, nasehat, serta selalu mendo'akanku di setiap waktu. Semoga Allah SWT membalas dengan jannah-Nya, aamiin Allahumma amiin.

2. Saudaraku Muhammad Wahyu Anggoro dan saudariku Diyaz Rachmaningtiyas, yang telah memberikan do'a, semangat, kasih sayang, dan melukiskan keceriaan kepadaku. Terimakasih mas, dek, atas segala dukungannya, semoga Allah memberikan kemudahan dan pertolongan di setiap jalanmu.
3. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan saran, motivasi, dukungan dan do'a kepada penulis.
4. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., selaku pembimbing akademik atas bimbingan, perhatian, nasehat, saran, ilmu, bantuan, dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I penelitian dan Kepala Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, nasehat, saran, motivasi, semangat, perhatian, serta kesabaran membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing II penelitian yang telah memberikan ilmu, perhatian, bimbingan, kritik, saran, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
7. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S., selaku penguji penelitian yang telah memberikan ilmu, motivasi, nasehat, kritik, serta saran kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
10. 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 barokah.
11. Mba Liza Apriliya S, S.Si., selaku Laboran Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penulis untuk mendapatkan zat dan bahan kimia, serta terimakasih juga kepada Ibu Rahmawaty, M.Si., atas bantuannya dalam memperoleh bahan penelitian berupa tempurung kelapa sawit.
12. Segenap staff administrasi dan laboran Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
13. Teruntuk penghuni *Adsorption Group* : khususnya *partner* penelitian yaitu Radho Alkausar, S.Si., Murnita Anggraini, S.Si., Fentri Hariyanti, S.Si., dan Melita Sari, terimakasih atas kerjasama, bantuan, do'a, dukungan, serta motivasi terhadap penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Terimakasih banyak untuk Ibu Rahmawaty, M.Si., Kak Rifki Husnul Khuluk, S.Si., Mba Siti Nur Halimah, S.Si., Mba Indah Wahyu Purnamasari, S.Si., dan Mba Indry Yani Saney, S.Si., atas arahan dan bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik. Dan juga untuk adik-adik Ferita, Fitria, Anna, Ismi, dan Asdini, terimakasih atas dukungannya,

semoga kalian bisa secepatnya menyelesaikan studi dan menjadi Sarjana Sains dengan baik.

14. Keluarga seperjuanganku Kimia 2013 (CHETIR): Anggun, Anton, Doddy, Anggi, Mba Anita, Arief, Arni, Mami Aul, Awan, Badi, Paul, Della, Citra, Dewi Rumondang, Dian, Dona, Eka M, Eka S, Erva, Esti, Ezra, Celli, Nia, Fatimah, Febri, Fentri, Fera, Dicky, Fika, Gesa, Herma, Twin Nora, Indah, Inggit, Ismi, Kartika, Nisa, Mba Nanda, Khalimah, Atun, Korina, Kurnia, Linda, Lulu, Bara, Maya, Mawar, Melia, Mak Ita, Mia, Mita, Monica, Murnita, Ana, Ridho, Radho, Ines, Mba Nita, Nopa, Dilla, Nurma, Nurul, Oci, Tyas, Renita, Eky, Amha, Riska, Kiki, Riyan, Shela, Mami Shelta, Sinta, Sitiku, Nabila, Mba Uut, Cuni, Tika, Gita, Verdi, Netty, Vyna, Mba Balek, Wiwid, Yolanda, Yudha, Yulia, Yunita, Yunitri, Yuvica, Vicka. Terimakasih persahabatan, pertemanan, dan kekeluargaannya selama ini. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dan kita semua menjadi orang yang sukses aaamiin.
15. Teruntuk penghuni grup “LULUS 2017” yaitu Ismi Ambalika, Nur Hastriana, Dian Tanti Ningsih, Aulia Pertiwi Tri Yuda, Siti Mudmainah, Tya Gita Putri Utami (yang namanya gak mau disingkat PU), Faradilla Dwi Friskancelli, Antonius Wendy Antono, terimakasih atas canda tawa, suka duka, do’a, perhatian, maupun dukungan yang kalian berikan kepadaku. Semoga tali silaturahmi kita tetap terjaga dan kelak menjadi orang yang bermanfaat dan sukses di masa depan.
16. Teruntuk Mba Faradilla Syani, M.Si., dan Dian Tanti Ningsih, S.Si., (selaku *partner online shop*), terimakasih atas bantuan dan dukungannya sehingga

penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik. Terimakasih atas jasa dan waktunya untuk setia menemani penulis dalam penelitian ini. *Neomugamsahamnida*. Semoga Allah memberikan kemudahan dan pertolongan di setiap jalanmu.

17. Teman-teman seperjuangan “Bismillah Wisuda November” yaitu Aulia Pertiwi Tri Yuda, Dona Mailani Pangestika, Siti Mudmainah, Yunitri Sianturi, Hermayana, Veronika Netty K, Dewi Rumondang, Esti Sandra Pertiwi, Widya Aryani M, Mega Mawarti, Lindawati, Renita Susanti, Fentri Hariyanti, Anita Sari, dan Riski Rahmadani, terimakasih atas dukungan, do’a, dan motivasinya sehingga kita bersama-sama dapat menyelesaikan studi dan menjadi Sarjana Sains.
18. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik: Nur Hastriana, S.Si., Fatimah, S.Si., Anggi Widiawati, S.Si., Indah Tri Yulianti, S.Si., Ismi Ambalika, S.Si., Febri Ardiyansyah, S.Si., Nova Tri Irianti, S.Si., Kartika Agus Kusuma, S.Si., Della Mita Andini, S.Si., Fentri Hariyanti, S.Si., Melita Sari, Murnita Anggraini, S.Si., Radho Alkausar, S.Si., Eka Setiososari, Awan Gunaevi, Arief Aulia Rahman, Yulia Arizawati, Mita Sasta Viana, Renita Susanti, S.Si., Widya Aryani M., S.Si., Esti Sandra Pertiwi, S.Si., Siti Nabila S., Mega Mawarti, S.Si., Lindawati, dan Dewi Rumondang C.PCS., S.Si., terimakasih atas dukungan, motivasi, dan kebersamaannya selama ini.
19. Keluarga KKN Tanjung Ratu atau dikenal “Tim Gabut KKN” yaitu Asep Fathurrahman Z, Anggun Lestari, Christian Paul Sidabalok, Darul Kutni Al Murowi, S.H., Gregorius Kevin Abellio Pratama, dan M. Nur Syuhada, S.E., terimakasih atas kebersamaannya selama KKN maupun setelah KKN,

semoga tali persaudaraan kita takkan pernah terhenti. Dan semoga Allah selalu memberikan kemudahan serta pertolongan di setiap jalanmu.

20. Sahabat-sahabatku dari SMP hingga sekarang (Sinta, Erika, Fitria, Tri, Nindya), terimakasih atas segalanya. Sayang kalian *Long City*. Semoga persahabatan kita tidak akan putus hingga tua nanti.
21. Teman-teman dunia maya khususnya Della, Detta, *Lee's Family*, penghuni grup "Tempat Curhat" (Rahma, Arista, Monica, Earlene, Jasmine, Sean, Ndaru, Alex, Adit, Nicolas, dan Rehan), serta penghuni grup "Caduceus" (Maya, Liji, Aytisa, Udang, Gagas, Cooky, Sayid, dan Ijal), terimakasih atas do'a dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
22. Almamater tercinta Universitas Lampung.
23. 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. Aamiin.

Bandar Lampung, Oktober 2017
Penulis

Megafhit Puspitarini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	6
C. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Karbon Aktif	7
1. Klasifikasi Karbon Aktif	10
2. Proses Pembuatan Karbon Aktif	12
a. Pemilihan Bahan Dasar.....	13
b. Karbonisasi	13
c. Aktivasi.....	15
d. Impregnasi	17
3. Sifat Adsorpsi Karbon Aktif	18
a. Sifat Adsorben	19
b. Ukuran Partikel.....	19
c. Sifat Adsorbat	19
d. Temperatur	20
e. pH (Derajat Keasaman)	20
f. Waktu Kontak	21
B. Tempurung Kelapa Sawit.....	21
C. Fenol.....	23
D. Adsorpsi	24
a. Adsorpsi Fisika.....	25
b. Adsorpsi Kimia	25
1. Kinetika Adsorpsi	27
2. Isoterm Adsorpsi	29
a. Model Isoterm Adsorpsi Langmuir	29

b. Model Isoterm Adsorpsi Freundlich.....	31
E. Karakterisasi.....	33
1. Spektrofotometer UV-Vis	33
2. Spektrofotometer Inframerah (<i>IR</i>)	35
3. Analisis Morfologi Permukaan	36

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	38
C. Prosedur Penelitian	39
1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif	39
2. Proses Aktivasi Karbon.....	40
a. Aktivasi Fisika	40
b. Aktivasi Fisika-Kimia	40
c. Fisika-Kimia-Impregnasi	40
3. Karakterisasi Karbon Aktif	41
4. Pembuatan Larutan Induk Fenol 1000 mg/L	41
5. Uji Adsorpsi	41
a. Penentuan Dosis Optimum Adsorben.....	41
b. Penentuan pH Optimum	42
c. Laju Adsorpsi.....	42
d. Isoterm Adsorpsi	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit.....	44
B. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	49
C. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Menggunakan Spektrofotometer Inframerah (<i>IR</i>)	51
D. Uji Adsorpsi.....	54
1. Penentuan Dosis Optimum Adsorben	54
2. Penentuan pH Optimum.....	56
3. Laju Adsorpsi	58
4. Isoterm Adsorpsi	61

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	67
B. Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persyaratan karbon aktif menurut SII No. 0258-79.....	9
2. Karakteristik tempurung kelapa sawit.....	23
3. Hasil karakterisasi gugus fungsi pada adsorben	53
4. Parameter kinetika adsorpsi fenol terhadap KAF, KAK, dan KAI.....	60
5. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich larutan fenol pada KAF, KAK, dan KAI	64
6. Penentuan kurva standar fenol untuk variasi dosis adsorben.....	78
7. Adsorpsi fenol pada adsorben dengan variasi dosis adsorben	79
8. Penentuan kurva standar fenol untuk variasi pH	79
9. Adsorpsi fenol pada adsorben dengan variasi pH.....	80
10. Penentuan kurva standar fenol untuk variasi waktu kontak.....	80
11. Adsorpsi fenol pada adsorben dengan variasi waktu kontak	81
12. Penentuan kurva standar fenol untuk variasi konsentrasi	82
13. Adsorpsi fenol pada adsorben dengan variasi konsentrasi	83
14. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada KAF terhadap fenol	83
15. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada KAK terhadap fenol	85
16. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada KAI terhadap fenol	86

17. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada KAF terhadap fenol	87
18. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada KAK terhadap fenol	88
19. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada KAI terhadap fenol	90
20. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi fenol oleh KAF.....	91
21. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi fenol oleh KAK.....	93
22. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi fenol oleh KAI	94
23. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi fenol oleh KAF.....	95
24. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi fenol oleh KAK	97
25. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi fenol oleh KAI	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur grafit dari karbon aktif	8
2. Skema umum pembuatan karbon aktif	12
3. Tempurung kelapa sawit	22
4. Struktur fenol	23
5. Proses adsorpsi pada karbon aktif	26
6. Model isoterm adsorpsi Langmuir	31
7. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	32
8. Hasil preparasi sampel (a) tempurung kelapa sawit, (b) karbon tempurung kelapa sawit kasar, dan (c) karbon tempurung kelapa sawit halus	44
9. Hasil preparasi karbon aktif (a) KAF, (b) KAK, dan (c) KAI.....	48
10. Hasil karakterisasi SEM karbon aktif dengan pembesaran 5000x pada permukaan KAS (a), KAF (b), KAK (c), dan KAI (d).....	49
11. Spektrum <i>IR</i> karbon aktif pada (a) KAS, (b) KAF, (c) KAK, dan (d) KAI	52
12. Hasil penentuan dosis optimum adsorben pada uji adsorpsi fenol	55
13. Kurva pH optimum pada proses adsorpsi fenol	57
14. Kurva waktu optimum pada proses adsorpsi fenol	58
15. Kinetika pseudo orde satu pada KAF, KAK, dan KAI terhadap fenol.....	59
16. Kinetika pseudo orde dua pada KAF, KAK, dan KAI terhadap fenol.....	60

17. Hubungan antara jumlah fenol yang teradsorpsi dengan variasi konsentrasi fenol dalam larutan yang digunakan pada proses adsorpsi	62
18. Pola isoterm Langmuir pada KAF, KAK, dan KAI terhadap fenol.....	63
19. Pola isoterm Freundlich pada KAF, KAK, dan KAI terhadap fenol	64
20. Kurva hasil pengukuran panjang gelombang maksimum fenol.....	78
21. Kurva standar fenol untuk variasi dosis adsorben	78
22. Kurva standar fenol untuk variasi pH	79
23. Kurva standar fenol untuk variasi waktu kontak	81
24. Kurva standar fenol untuk variasi konsentrasi	82
25. Pola kinetika pseudo orde satu pada KAF terhadap fenol	84
26. Pola kinetika pseudo orde satu pada KAK terhadap fenol.....	85
27. Pola kinetika pseudo orde satu pada KAI terhadap fenol	86
28. Pola kinetika pseudo orde dua pada KAF terhadap fenol.....	87
29. Pola kinetika pseudo orde dua pada KAK terhadap fenol	89
30. Pola kinetika pseudo orde dua pada KAI terhadap fenol.....	90
31. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada Fenol oleh KAF.....	92
32. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada Fenol oleh KAK.....	93
33. Pola isoterm adsorpsi menurut model Langmuir pada Fenol oleh KAI	94
34. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada Fenol oleh KAF	96
35. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada Fenol oleh KAK	97
36. Pola isoterm adsorpsi menurut model Freundlich pada Fenol oleh KAI.....	99

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Selama dua puluh tahun terakhir ini, pembangunan ekonomi di Indonesia lebih mengarah kepada era industrialisasi. Industri mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan yaitu dapat menghasilkan limbah produksi baik limbah cair (*liquid wastes*), padat (*solid wastes*), maupun gas (*gaseous wastes*) yang mencemari lingkungan (Setyaningsih, 2008). Sebagian besar limbah industri kimia mengandung beberapa racun dan senyawa kimia yang sangat berbahaya apabila terkontaminasi pada manusia, salah satunya adalah senyawa fenol. Fenol merupakan limbah cair yang biasanya berasal dari industri tekstil, perekat, obat, minyak, gas, dan sebagainya. Fenol dikenal juga sebagai monohidroksi benzena, merupakan kristal putih yang larut dalam air pada temperatur kamar (Wirawan, 2012). Fenol banyak ditemukan di dalam air buangan kilang pada lingkungan industri minyak dan gas.

Fenol berbahaya karena merupakan salah satu limbah organik yang termasuk dalam kategori B3 (Bahan Berbahaya Beracun). Keberadaan senyawa fenol umumnya dapat menyebabkan bertambahnya padatan tersuspensi, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Bila

mencemari perairan dapat membuat rasa dan bau tak sedap, serta nilai konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan kematian organisme di perairan tersebut (Badani *et al.*, 2005).

Berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep.42/MENLH/10/1996, disebutkan bahwa kandungan fenol total di dalam limbah cair bagi kegiatan eksplorasi dan produksi dibatasi hingga 2 mg/L untuk pembuangan. Konsentrasi senyawa fenol di perairan di atas 2 mg/L akan bersifat racun bagi ikan, dan bila konsentrasinya antara 10 mg/L - 100 mg/L dapat menyebabkan kematian lingkungan akuatik dalam waktu 96 jam. Konsentrasi standar maksimal yang ditetapkan oleh Departemen Kesehatan Republik Indonesia untuk fenol adalah 0,001 mg/L sebagai konsentrasi maksimal yang dianjurkan dan 0,002 mg/L untuk konsentrasi maksimal yang diperbolehkan (Alaerts dan Santika, 1984).

Limbah cair yang mengandung fenol akan mencemari lingkungan jika dibuang tanpa proses pengolahan limbah terlebih dahulu. Sehingga setiap industri perlu melakukan penanganan limbah yang efektif dan efisien agar kadarnya tidak melebihi ambang batas yang ditentukan pemerintah (Lynam *et al.*, 1995). Cara konvensional untuk penghilangan fenol dari larutan adalah oksidasi biologis. Namun cara ini tidak efektif karena lambatnya proses yang terjadi. Cara lain untuk penghilangan kadar fenol dari larutan fenol-air sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, diantaranya adalah oksidasi kimiawi menggunakan ozon atau ozon dikombinasi dengan radiasi sinar UV (Takahashi, 1990; Shanbhag *et al.*, 1995), adsorpsi (Lizhong *et al.*, 1996; Denizli *et al.*, 2001; Al-Asheh *et al.*, 2003)

dan ekstraksi dengan menggunakan *solvent* (Watson *et al.*, 1988; Dobre *et al.*, 1999).

Metode oksidasi kimiawi dengan ozon atau ozon yang dikombinasi dengan radiasi sinar UV tidak memberikan hasil yang optimum karena rendahnya kelarutan ozon dalam air. Lagipula pembangkitan ozon memerlukan biaya yang mahal (Suzuki, 1990). Metode konvensional yang lain memiliki kelemahan seperti penghilangan yang tidak sempurna, penggunaan reagen yang banyak dan menimbulkan endapan beracun atau produk limbah lain, biaya yang tinggi, upaya intensif, dan lain-lain (Chowdhury and Saha, 2010; Saha *et al.*, 2010; Chowdhury *et al.*, 2011). Oleh karena itu, salah satu cara yang lebih efektif dan efisien yang bisa dijadikan alternatif metode penurunan kadar limbah fenol dari industri yang paling potensial adalah melalui proses penyerapan atau adsorpsi (Tanasale, 2008). Metode adsorpsi ini memiliki kelebihan dari metode yang lain karena prosesnya lebih sederhana, biayanya relatif murah, ramah lingkungan, dan tidak adanya efek samping zat beracun (Suharso and Buhani, 2011; Buhani *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017). Beberapa contoh adsorben (zat penyerap) yang dapat digunakan pada proses adsorpsi adalah karbon aktif, silika dan alumina, zeolit, arang tulang, dan oksida-oksida logam (Suzuki, 1990).

Beberapa bahan di sekitar kita dapat digunakan sebagai adsorben untuk proses adsorpsi. Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang penggunaannya sangat populer hingga saat ini karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif juga memiliki energi adsorpsi yang rendah, luas permukaan spesifik tinggi, tidak berasa, tidak beracun, dapat diregenerasi kembali, lebih ramah

lingkungan dan mempunyai distribusi pori-pori yang merata (Chandra, 2007 dan Tan dan Rahardja, 2008). Bahan-bahan karbon aktif yang pernah digunakan sebagai adsorben dalam penelitian adsorpsi yaitu dengan memanfaatkan limbah industri tekstil antara lain adsorben dari tempurung kelapa (Rahayu, 2014; Hartoyo dan Pari, 1990; dan Pambayun, 2013), tandan kosong kelapa sawit (Purwanto, 2011), tempurung kenari (Hendra dan Darmawan, 2007; Hala dkk., 2010), serbuk kayu gergajian campuran (Hendra, 2006), limbah kayu sengon (Pari dkk., 2005), limbah kayu bakau (Hartoyo dan Pari, 1990), dan limbah kayu jati (Sudrajat, 1993).

Karbon aktif yang sudah banyak beredar dalam bentuk komersil adalah karbon aktif yang berbahan dasar tempurung kelapa biasa. Namun, pada penelitian ini digunakan bahan adsorben yang berasal dari cangkang kelapa sawit. Penggunaan adsorben ini dipilih karena bahannya yang mudah didapat dan juga merupakan upaya terhadap pengolahan limbah kelapa sawit (Meisrilestari *et al.*, 2013).

Tempurung kelapa sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Rasmawan, 2009). Menurut Pope (1999), bahan organik yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif serta sangat efektif untuk mengadsorpsi limbah cair. Selain itu lignin dan selulosa sebagian besar tersusun dari unsur karbon yang pada umumnya dapat dijadikan karbon. Tempurung kelapa sawit termasuk bahan berlignoselulosa, kadar karbon tinggi, dan memiliki massa jenis lebih besar daripada kayu sebesar 1,4 g/mL. Dimana semakin besar massa jenis bahan baku, maka daya serap

karbon aktif yang dihasilkan akan semakin besar sehingga baik untuk dijadikan adsorben (Hartoyo dan Pari, 1990).

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik dari bahan baku tempurung kelapa yaitu pada suhu 700 °C. Selain itu, aktivasi terbaik secara fisika-kimia yaitu dengan menggunakan aktivator H₃PO₄ dimana tempurung kelapa memiliki morfologi permukaan yang berbentuk kapsul dan rongga permukaan yang lebih besar dari karbon aktif komersil. Karbon aktif ini mampu mengadsorpsi zat warna metilen biru dalam larutan sebesar 98,34% (Khuluk, 2016).

Berdasarkan uraian di atas, maka proses aktivasi karbon dari tempurung kelapa sawit baik secara fisika maupun fisika-kimia sangat penting dilakukan sehingga dapat digunakan sebagai adsorben dalam meningkatkan kemampuan adsorpsinya terhadap fenol. Pada penelitian ini dilakukan aktivasi fisika dengan suhu optimum 700 °C dan aktivasi fisika-kimia dengan aktivator H₃PO₄ untuk mengetahui kapasitas adsorpsi karbon aktif tersebut. Selanjutnya dilakukan metode impregnasi dengan menggunakan ion Cu²⁺ pada karbon aktif yang telah diaktivasi secara fisika maupun fisika-kimia. Impregnasi ini dilakukan untuk menambahkan gugus aktif pada karbon aktif sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi suatu adsorben pada senyawa fenol dalam air limbah. Kemudian data kinetika adsorpsi dan model isoterm adsorpsi pada penelitian ini juga sangat dibutuhkan untuk perancangan proses adsorpsi dalam skala industri.

B. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari cara aktivasi karbon dari limbah tempurung kelapa sawit dengan metode aktivasi fisika, fisika-kimia, dan fisika-kimia-impregnasi dengan ion Cu^{2+} .
2. Mempelajari kemampuan adsorpsi fenol pada karbon aktif dari limbah tempurung kelapa sawit yang telah diaktivasi baik secara fisika, fisika-kimia, maupun setelah impregnasi dengan ion Cu^{2+} .
3. Mempelajari model kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi fenol oleh karbon aktif yang telah diaktivasi baik secara fisika, fisika-kimia, maupun fisika-kimia-impregnasi dengan ion Cu^{2+} .

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk mengembangkan bahan baku alternatif tempurung kelapa sawit dalam pembuatan karbon aktif yang diaplikasikan sebagai adsorben yang berkualitas sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis bahan dan digunakan untuk mengurangi permasalahan pada pencemaran limbah cair khususnya fenol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karbon Aktif

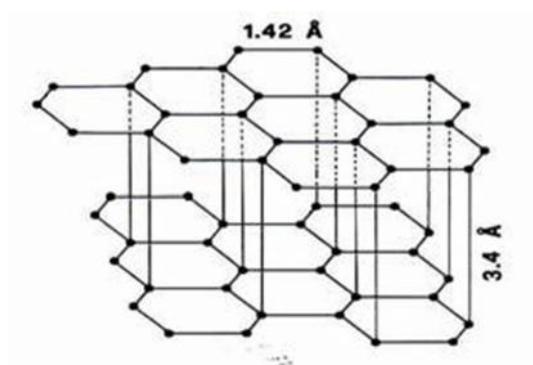
Karbon aktif adalah bahan berupa karbon bebas yang masing-masing berikatan secara kovalen. Karbon aktif telah dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi, sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian mempunyai daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fasa cair maupun dalam fasa gas. Dengan demikian, permukaan karbon aktif bersifat non polar. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, dimana semakin kecil pori-pori karbon aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar.

Luas permukaan karbon aktif berkisar 3000-3500 mg/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif dapat menyerap gas-gas dan dapat mengurangi zat-zat dari liquida. Permukaan karbon aktif yang semakin meluas ini menyebabkan daya adsorbsinya terhadap limbah cair semakin tinggi (Kirk and Othmer, 1992). Semakin luas permukaan pori-pori maka semakin tinggi daya serapnya. Daya serap karbon aktif sangat besar yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Menurut Ferry (2002), karbon aktif mengandung 2-15% air dan 2-3% abu. Sedangkan menurut Sembiring dan Sinaga (2003), arang atau karbon merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang

nantinya akan dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari bahan-bahan yang mengandung karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen, dan sulfur (Djamitko dan Widjaja, 1985).

Karbon aktif adalah karbon berbentuk amorf yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, higroskopis, serta tidak larut dalam air, basa, asam, maupun pelarut organik. Selain itu karbon aktif tidak terdekomposisi atau bereaksi setelah digunakan. Karbon aktif terdiri dari pelat-pelat datar yang tersusun oleh atom-atom karbon dan terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal mirip dengan grafit. Pelat-pelat ini terkumpul satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan susunan tidak beraturan dan jarak antar pelatnya acak (Hassler, 1974).



Gambar 1. Struktur grafit dari karbon aktif (Hartanto dan Ratnawati, 2010).

Semua karbon aktif memiliki struktur pori, biasanya dengan sejumlah hidrogen dan oksigen yang terikat secara kimia. Karbon aktif biasanya mengandung $\pm 2\%$ mineral yang biasanya ditunjukkan oleh kadar abu atau residu pembakaran.

Penyelidikan dengan sinar-X menunjukkan bahwa karbon aktif berbentuk kristal yang sangat kecil mirip dengan struktur grafit. Grafit terdiri dari sejumlah pelat yang tersusun secara paralel dan masing-masing pelat mempunyai sistem heksagonal dengan enam atom karbon. Daerah kristalin hanya ada pada ketebalan 0,7 sampai 1,1 nm, dimana memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan grafit yang teramati. Hal ini menunjukkan bahwa tiap-tiap kristalin biasanya hanya memiliki tiga atau empat lapis atom dengan 20 sampai 30 karbon heksagon pada masing-masing lapisan (Kienle, 1986).

Menurut SII (Standar Internasional Indonesia), karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan seperti yang tercantum pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Persyaratan karbon aktif menurut SII No. 0258-79.

Jenis	Persyaratan (%)
Bagian yang hilang pada pemanasan	Maksimum 15
Air	Maksimum 10
Abu	Maksimum 2,1
Daya serap terhadap Iod	Minimum 20

Di Indonesia bahan baku untuk membuat karbon aktif sebagian besar menggunakan tempurung kelapa dan kayu. Di lain pihak bahan baku yang dapat dibuat menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang, maupun barang tambang seperti batu bara. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi, bagase,

dan lain-lain. Akhir-akhir ini karbon aktif dibuat dari bahan baku polimer seperti poliakrilonitril, rayon dan resol fenol (Hoyashi and Chisato, 1984). Namun pada penelitian ini bahan baku yang digunakan untuk menjadi karbon aktif adalah tempurung kelapa sawit.

1. Klasifikasi Karbon Aktif

Berdasarkan bentuknya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu (Sukir, 2008):

a. Bentuk serbuk.

Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm yang digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Selain itu digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi, terutama untuk pemurnian monosodium glutamat, bahan tambahan makanan, penghilang warna asam furan, pengolahan pemurnian jus buah, penghalus gula, pemurnian asam sitrat dan asam tartarik, pemurnian glukosa, serta pengolahan zat pewarna kadar tinggi.

b. Bentuk granular.

Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran 0,2-0,5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.

c. Bentuk pellet.

Karbon aktif berbentuk pellet dengan diameter 0,8-5 mm. Kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Digunakan untuk pemurnian udara, kontrol emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran, dan pengontrol emisi pada gas buang.

Berdasarkan pori-porinya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (Sukir, 2008):

a. Makropori.

Merupakan bagian paling luar dari karbon aktif, dengan jari-jari lebih besar dari 50 nm dengan volume pori-pori 0,2-0,5 cm³/g dan luas permukaan 0,2-2 m²/g. Makropori dan mesopori memberikan kapasitas adsorpsi karbon aktif dan kegunaanya terbentuk selama aktivasi.

b. Mesopori.

Memiliki jari-jari 2-50 nm dengan volume pori-pori mencapai 0,02-0,01 cm³/g dengan luas permukaan 1-100 m²/g. Mesopori merupakan cabang setelah makropori dan berfungsi sebagai sarana transportasi.

c. Mikropori.

Merupakan pori-pori terkecil dengan jari-jari kurang dari 2 nm dengan volume pori 0,15-0,5 cm³/g dan luas permukaan mencapai 100-1000 m²/g.

Berdasarkan fungsinya, karbon aktif dibedakan menjadi dua, yaitu (Setyaningsih, 2008):

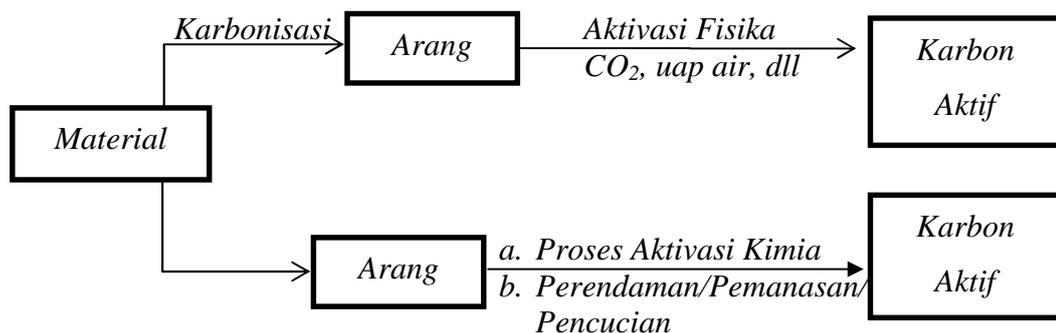
a. Karbon penyerap gas (*gas adsorbent carbon*).

Jenis karbon ini digunakan untuk menyerap kotoran berupa gas. Pori-pori yang terdapat pada karbon jenis ini adalah mikropori yang menyebabkan molekul gas akan mampu melewatinya, tetapi molekul dari cairan tidak bisa melewatinya. Karbon jenis ini dapat ditemui pada karbon tempurung kelapa.

b. Karbon fasa cair (*liquid-phase carbon*).

Karbon jenis ini digunakan untuk menyerap kotoran atau zat yang tidak diinginkan dari cairan atau larutan. Jenis pori-pori dari karbon ini adalah makropori yang memungkinkan molekul besar untuk masuk. Karbon jenis ini biasanya berasal dari batubara dan selulosa.

2. Proses Pembuatan Karbon Aktif



Gambar 2. Skema umum pembuatan karbon aktif (Marsh and Francisco, 2006).

Gambar 2 menjelaskan proses pembuatan karbon aktif secara umum. Ada 2 metode yang digunakan untuk mengaktivasi karbon yaitu metode aktivasi fisika

(*physical/ thermal activation*) dan aktivasi kimia (*chemical activation*). Pada dasarnya, terdapat 3 proses pembuatan karbon aktif, diantaranya:

a. Pemilihan Bahan Dasar

Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon seperti batubara, tempurung kelapa, kayu, sekam padi, tulang binatang, kulit biji kopi, dan lain-lain. Pemilihan bahan dasar untuk dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu unsur anorganik yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Marsh and Francisco, 2006).

Karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung arang, baik arang organik maupun anorganik dengan syarat bahan tersebut mempunyai struktur berpori (Mulia, 2007).

b. Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya dilakukan dalam tanur. Tujuan karbonisasi adalah untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar. Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk air, uap asam asetat, tar-tar, dan hidrokarbon. Material padat yang tertinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1993). Pada proses karbonisasi, arang yang dihasilkan mempunyai daya serap rendah karena masih

ada senyawa pengotor diantaranya hidrokarbon, air, dan oksida-oksida (Sembiring dan Sinaga, 2003). Secara umum proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa (Astuti, 2002).

Selama karbonisasi banyak elemen nonkarbon, hidrogen, dan oksigen diubah menjadi gas oleh dekomposisi pirolisis dari bahan mula-mula, dan atom-atom karbon bebas mengelompok dalam formasi kristalografis yang dikenal sebagai kristal grafit. Susunan kristal tidak beraturan, sehingga celah-celah bebas tetap ada diantaranya dan rupanya hasil dari penumpukan dan dekomposisi bahan-bahan tar ini mengotori atau paling sedikit memblokir karbon yang tidak terorganisasi (*amorph*). Bahan karbon yang demikian kemudian dapat diaktivasi secara parsial dengan mengubah produk tar dengan memanaskannya dalam aliran gas *inert*, atau dengan mengekstraksinya menggunakan *solvent* yang sesuai, atau dengan reaksi kimia (Rodriguez, 1993).

Menurut Sudrajat (1993), karbonisasi terdiri dari empat tahap, yaitu:

1. Pada suhu 100-120 °C terjadi penguapan air dan sampai suhu 270 °C mulai terjadi peruraian selulosa. Distilat mengandung asam organik dan sedikit metanol.
2. Pada suhu 270-310 °C reaksi eksotermik berlangsung dimana terjadi peruraian selulosa secara intensif menjadi larutan *piroligant*, gas kayu, dan sedikit tar. Distilat asam mengandung asam organik dengan titik didih rendah seperti asam cuka dan metanol, sedangkan gas kayu terdiri dari CO dan CO₂.

3. Pada suhu 310-500 °C terjadi peruraian lignin, dengan menghasilkan lebih banyak tar dan larutan *piroligant* yang menurun, serta gas CO₂ yang menurun, sedangkan gas CO, CH₄ dan H₂ meningkat.
4. Pada suhu 500-1000 °C merupakan tahap dari pemurnian arang atau kadar karbon.

Menurut Elly (2008), faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi, yaitu:

1. Waktu Karbonisasi

Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka reaksi pirolisis semakin sempurna sehingga hasil arang semakin turun, tetapi cairan dan gas makin meningkat. Waktu karbonisasi berbeda beda tergantung pada jenis-jenis dan jumlah bahan yang diolah.

2. Suhu Karbonisasi

Suhu karbonisasi merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap hasil arang karena semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh semakin berkurang, tetapi hasil cairan dan gas semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan.

c. Aktivasi

Dalam pembuatan karbon aktif, tidak hanya bahan bakunya saja yang perlu diperhatikan, tetapi juga proses aktivasinya. Karena proses aktivasi merupakan hal penting yang turut berpengaruh dalam pembuatan karbon aktif. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk

memperbesar pori-pori permukaan yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan. Sehingga karbon mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, dimana luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Ajayi and Olawale, 2009). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses aktivasi adalah waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator, dan jenis aktivator yang dalam hal ini akan mempengaruhi daya serap karbon aktif (Tawalbleh, 2005).

Menurut Elly (2008), ada dua metode aktivasi yang dapat digunakan dalam pembuatan karbon aktif, yaitu:

1. Aktivasi kimia merupakan pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan bahan-bahan kimia sebagai *activating agent* yang dilakukan dengan cara merendam karbon dalam larutan kimia, seperti $ZnCl_2$, KOH , HNO_3 , H_3PO_4 , dan sebagainya.
2. Aktivasi fisika merupakan pengaktifan arang atau karbon dengan menggunakan panas, uap, dan CO_2 dengan suhu tinggi dalam sistem tertutup tanpa udara sambil dialiri gas inert.

Dari kedua jenis proses aktivasi yang ada, menurut Suhendra dan Gunawan (2010), cara aktivasi kimia memiliki berbagai keunggulan tertentu dibandingkan dengan cara aktivasi fisika, diantaranya adalah:

1. Dalam proses aktivasi kimia, zat kimia pengaktif sudah terdapat dalam tahap penyiapannya sehingga proses karbonisasi dan proses aktivasi karbon

terakumulasi dalam satu langkah yang umumnya disebut *one-step activation* atau metode aktivasi satu langkah.

2. Dalam proses aktivasi kimia, suhu yang digunakan umumnya lebih rendah dibanding pada aktivasi fisika.
3. Efek dari agen dehidrasi pada aktivasi kimia dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon.
4. Produk yang dihasilkan dalam aktivasi kimia lebih banyak dibandingkan dengan aktivasi fisika.

d. Impregnasi

Karbon aktif telah banyak digunakan untuk menghilangkan berbagai jenis spesies bahan kimia dari fase gas maupun cair. Ukuran pori suatu karbon aktif terdistribusi secara luas dan dikenal sebagai adsorben *universal*. Namun, untuk meningkatkan kelemahannya diperlukan perlakuan kimia pada permukaannya. Karena karbon aktif memiliki ukuran permukaan makropori, maka dapat dimanfaatkan untuk impregnasi (Yoshida dan Kamio, 2004). Salah satu tujuannya adalah untuk membentuk komposit karbon aktif dan garam logam yang bersifat antibakteri.

Impregnasi adalah proses penjenahan total sesuatu menggunakan zat tertentu. Metode ini merupakan teknik preparasi yang paling sering digunakan. Alasan utamanya adalah karena kemudahan dalam pengerjaannya. Tujuannya adalah untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan

pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi karbon aktif menjadi sisi aktif.

Impregnasi karbon aktif dengan berbagai mineral dan senyawa organik telah dipaparkan oleh penelitian-penelitian terdahulu. Karbon aktif diimpregnasi dengan menggunakan senyawa organik dengan gugus aktif seperti -SH, -NH, dapat menghasilkan adsorpsi yang lebih efektif dan mengurangi logam berat dari limbah. Tingkat adsorpsi dan kesempurnaan penghilangan bergantung pada pH larutan, suhu, konsentrasi, ukuran molekul, maupun berat molekul, kompleksitas struktur molekul adsorben, tipe, dan bentuk fisik karbon aktif yang digunakan. Faktor penting lain yang menentukan sifat adsorpsi karbon aktif adalah distribusi ukuran pori dan gugus fungsi permukaan. Karbon aktif tidak hanya memiliki karbon, tetapi juga sejumlah kecil ikatan kimia atom O dan H dalam bentuk berbagai gugus fungsi yang biasanya memberikan sifat asam pada padatan karbon, ditambah kandungan mineral yang biasanya ditandai dengan abu atau residu setelah pengarangan (Khalkhali dan Omidvari, 2004).

3. Sifat Adsorpsi Karbon Aktif

Adsorpsi adalah suatu proses yang berhubungan dengan permukaan dimana terjadi interaksi antara molekul-molekul suatu fluida (cairan maupun gas) dengan permukaan molekul padatan. Interaksi tersebut disebabkan oleh adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan membentuk suatu lapisan tipis yang menutupi permukaan padatan (Anderson, 1991).

Sifat adsorpsi dari karbon aktif yang paling utama adalah daya serap. Menurut Kardivelu *et al.* (2003), ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi karbon aktif yaitu:

a. Sifat Adsorben

Semakin banyak pembentukan luas permukaan internal yang berukuran mikro atau meso menyebabkan pori-pori karbon aktif semakin bertambah, akibatnya jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat. Dengan demikian, besarnya luas permukaan adsorben akan meningkatkan penyerapan yang terjadi.

b. Ukuran Partikel

Ukuran partikel dapat mempengaruhi proses adsorpsi, semakin kecil ukuran partikel akan semakin cepat proses adsorpsi. Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi digunakan karbon aktif yang telah dihaluskan dengan ukuran mikro atau meso.

c. Sifat Adsorbat

Adsorpsi akan semakin besar jika molekul adsorbat lebih kecil dari pori adsorben. Karbon aktif mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben. Proses adsorpsi oleh karbon aktif terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam rongga karbon aktif.

d. Temperatur

Dalam penggunaan karbon aktif dianjurkan untuk menyelidiki temperatur pada saat berlangsungnya proses adsorpsi karena tidak ada ketentuan umum mengenai temperatur yang digunakan dalam adsorpsi. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

e. pH (Derajat Keasaman)

Adsorpsi senyawa organik akan meningkat apabila pH diturunkan. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan asam-asam mineral karena memiliki kemampuan untuk mengurangi ionisasi asam organik. Sebaliknya apabila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, maka adsorpsi akan berkurang karena akan terbentuk garam. Pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar; dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pH tinggi, jumlah ion OH^- berlimpah, sehingga menyebabkan proses difusi bahan-bahan organik menjadi terhalang.

f. Waktu Kontak

Bila karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah karbon aktif yang digunakan. Selain ditentukan oleh dosis karbon aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu kontak. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan senyawa serapan. Untuk larutan yang memiliki viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama (Sembiring dan Sinaga, 2003). Waktu kontak yang lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih baik.

B. Tempurung Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Dalam industri pengolahan minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) akan diperoleh limbah industri. Limbah ini digolongkan menjadi limbah padat, cair, dan gas. Salah satu jenis limbah padatnya yaitu tempurung kelapa sawit. Tempurung kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti. Limbah tempurung kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan, dan memiliki kekerasan cukup tinggi (Purwanto, 2011). Tempurung kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif.

Klasifikasi kelapa sawit adalah sebagai berikut:

- Divisi : Spermatophyta
Sub divisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledonae
Keluarga : Palmaceae
Sub keluarga : Cocoideae
Genus : *Elaeis*
Spesies : *Elaeis guineensis Jacq.*



Gambar 3. Tempurung kelapa sawit (Rasmawan, 2009).

Tempurung kelapa sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang baik untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif (Rasmawan, 2009). Menurut Pope (1999), bahan organik yang mengandung lignin, hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena serta efektif untuk mengadsorpsi limbah cair. Selain itu lignin dan selulosa sebagian besar tersusun dari unsur karbon yang pada umumnya dapat dijadikan karbon. Tempurung kelapa sawit termasuk bahan berlignoselulosa kadar karbon tinggi dan memiliki massa jenis lebih besar daripada kayu sebesar 1,4 g/mL. Dimana semakin besar massa jenis bahan

baku, maka daya serap karbon aktif yang dihasilkan akan semakin besar sehingga baik untuk dijadikan adsorben (Hartoyo dan Pari, 1990).

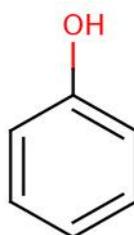
Tabel 2. Karakteristik tempurung kelapa sawit.

No	Parameter	Hasil (%)
1	Kadar air	7,8
2	Kadar abu	2,2
3	Kadar yang menguap	69,5
4	Karbon aktif murni	20,5

(Kim, 1988).

C. Fenol

Fenol (C_6H_6OH) merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus hidroksil yang terikat pada cincin benzena. Senyawa fenol memiliki beberapa nama lain seperti asam karbolik, fenat monohidroksibenzena, asam fenat, asam fenilat, fenil hidroksida, oksibenzena, benzenol, monofenol, fenil hidrat, fenilat alkohol, dan fenol alkohol (Neir, 2008). Fenol memiliki rumus struktur sebagai berikut:



Gambar 4. Struktur fenol (Fessenden dan Fessenden, 1992).

Fenol adalah zat kristal yang tidak berwarna dan memiliki bau yang khas. Senyawa fenol dapat mengalami oksidasi sehingga dapat berperan sebagai reduktor (Hoffman *et al.*, 1997). Fenol bersifat lebih asam bila dibandingkan

dengan alkohol, tetapi lebih basa daripada asam karbonat karena fenol dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Lepasnya ion H^+ menjadikan anion fenoksida $C_6H_5O^-$ dapat melarut dalam air. Fenol mempunyai titik leleh $41\text{ }^\circ\text{C}$ dan titik didih $181\text{ }^\circ\text{C}$. Fenol memiliki kelarutan yang terbatas dalam air yaitu $8,3\text{ g}/100\text{ mL}$ (Fessenden dan Fessenden, 1992).

Fenol merupakan senyawa yang bersifat toksik dan korosif terhadap kulit (iritasi) dan pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia hingga kematian pada organisme. Tingkat toksisitas fenol beragam tergantung dari jumlah atom atau molekul yang melekat pada rantai benzenanya (Qadeer and Rehan, 1998). Fenol dapat digunakan sebagai antiseptik saat mempraktikkan pembedahan antiseptik. Pengolahan yang dapat direkomendasikan untuk menyisihkan konsentrasi fenol salah satunya adalah dengan menggunakan karbon aktif (Patterson, 1975).

D. Adsorpsi

Menurut Alberty and Daniel (1987), adsorpsi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi secara umum didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul, ion atau atom yang terjadi pada batas antara dua fasa. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat.

Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang memiliki pori karena adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam adsorben. Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (Treybal, 1980):

a. Adsorpsi Fisika

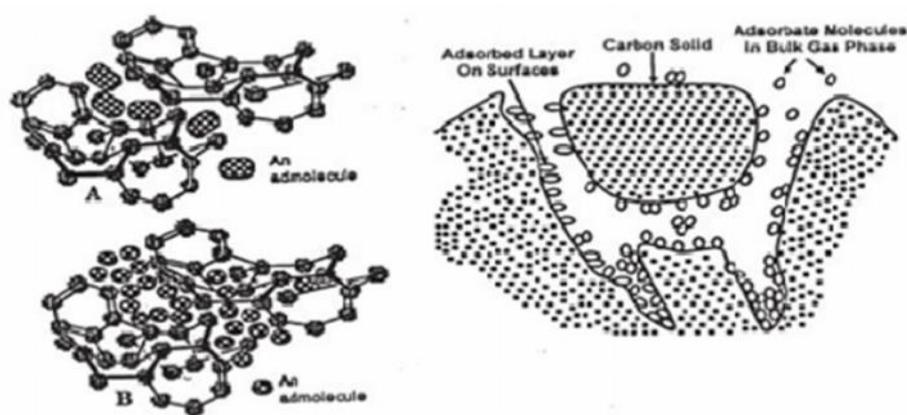
Merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals merupakan gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa yang reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150-200 °C selama 2-3 jam.

b. Adsorpsi Kimia

Adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan *monolayer*. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer* sehingga pendekatan yang digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Hal tersebut dapat diketahui bahwa hanya adsorpsi kimia saja yang terjadi dan hanya membentuk *monolayer*. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi di atas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih

tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Menurut Shaw (1980), proses adsorpsi larutan secara teoritis berlangsung lebih rumit dibandingkan proses adsorpsi pada gas, uap atau cairan murni. Hal ini disebabkan pada adsorpsi larutan melibatkan persaingan antara komponen larutan dengan situs adsorpsi. Proses adsorpsi larutan dapat diperkirakan secara kualitatif dari polaritas adsorben dan komponen penyusun larutan. Adsorben polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat polar dibandingkan adsorbat non-polar, begitu pula sebaliknya. Kelarutan adsorbat dalam pelarut merupakan faktor yang menentukan dalam proses adsorpsi, umumnya substansi hidrofilik sukar teradsorpsi dalam larutan encer.

Proses adsorpsi terutama terjadi pada mikropori (pori-pori kecil), sedangkan tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke permukaan mikropori ialah makropori. Ilustrasi proses adsorpsi pada adsorben karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Proses adsorpsi pada karbon aktif: transfer molekul adsorbat ke adsorben (Manocha, 2003).

1. Kinetika Adsorpsi

Seperti halnya kinetika kimia, kinetika adsorpsi juga berhubungan dengan laju reaksi. Kinetika kimia mencakup suatu pembahasan tentang kecepatan (laju) reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Laju reaksi merupakan laju yang diperoleh dari perubahan konsentrasi reaktan dalam suatu satuan waktu pada persamaan reaksi kimia yang mengalami kesetimbangan. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, temperatur, dan pengaruh katalis (Oxtoby, 2004).

Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk mengetahui mekanisme adsorpsi, digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017). Model kinetika (pseudo orde pertama dan persamaan orde dua) dapat digunakan dengan asumsi bahwa konsentrasi diukur sama dengan konsentrasi permukaan adsorben. Tingkat persamaan orde pertama Lagergren adalah salah satu yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi zat terlarut dari larutan cair (Liu *et al.*, 2004; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017).

Persamaan pseudo orde satu adalah persamaan yang biasa digunakan untuk menggambarkan adsorpsi dan ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Dimana q_e adalah jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g), q_t adalah jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g), t adalah waktu (menit) dan k_1 adalah konstanta laju pseudo orde pertama (menit⁻¹). Persamaan dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi-kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$, persamaan menjadi:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Model persamaan pseudo orde dua dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Dengan q_e adalah jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g), q_t adalah jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g), k_2 adalah konstanta laju pseudo orde kedua (dalam g/mmol menit). Setelah integrasi dan penggunaan kondisi-kondisi batas $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$, persamaan linier dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Laju penyerapan awal, h (mg menit/g) sedangkan $t=0$ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$h = k_2 q_e^2 \quad (5)$$

Laju adsorpsi awal (h), kapasitas adsorpsi kesetimbangan (q_e) dan konstanta laju pseudo orde dua (k_2) dapat ditentukan secara eksperimen dari slop dan intersep

plot dari t/q_t versus t (Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017).

2. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan keseimbangan antara konsentrasi dalam fase *liquid* dan konsentrasi dalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Ada tiga macam persamaan isoterm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu isoterm Langmuir, Freundlich, dan isoterm Brunaur-Emmet-Teller (BET). Jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase cair-padat pada umumnya mengikuti jenis isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017).

a. Model Isoterm Adsorpsi Langmuir

Menurut Buhani *et al.* (2013), teori Langmuir ini didasarkan pada asumsi bahwa 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 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.

Model isoterm adsorpsi Langmuir dapat dinyatakan dalam persamaan:

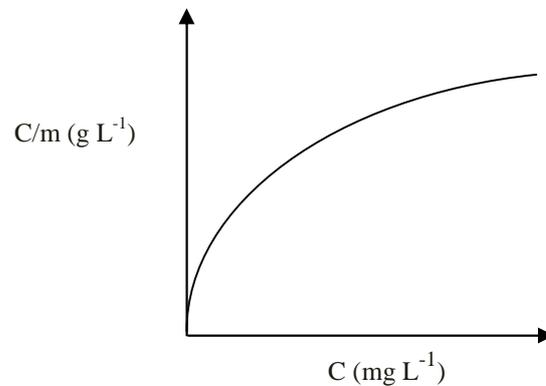
$$\frac{C}{m} = \frac{1}{n_m K_L} + \frac{C}{n_m} \quad (6)$$

dimana C adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L), m adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi C (mg/g), n_m adalah jumlah zat yang teradsorpsi saat keadaan jenuh (kapasitas adsorpsi) (mg/g) dan k_L adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg). Dari kurva linier hubungan antara C/m versus C maka dapat ditentukan nilai n_m dari kemiringan (slop) dan k dari intersep kurva (Buhani *et al.*, 2009; Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2013; Suharso and Buhani, 2011). Energi adsorpsi (E_{ads}) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi Gibbs standar (G°) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{ads} = G^\circ_{ads} = -RT \ln k \quad (7)$$

Dengan R adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K), T adalah temperatur (K) dan k adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir, sehingga energi total adsorpsi E harganya sama dengan negatif energi bebas Gibbs (Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2015; Buhani and Suharso, 2009; Suharso and Buhani, 2011).

Adapun grafik isoterm adsorpsi Langmuir diperlihatkan pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 6. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin and Rosnelly, 2007).

b. Model Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm Freundlich menerangkan bahwa proses adsorpsi pada 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 (*multilayer*) (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2015).

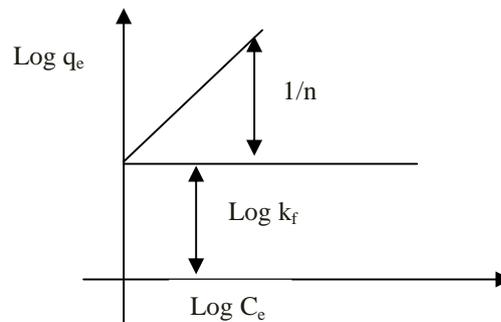
Asumsi yang digunakan:

- a. Tidak ada asosiasi dan disosiasi molekul-molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.
- b. Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisis tanpa adanya adsorpsi kimia.
- c. Permukaan padatan bersifat heterogen (Noll *et al.*, 1992).

Bentuk persamaan Freundlich adalah sebagai berikut:

$$\log q_e = \log k_f + 1/n \log C_e \quad (8)$$

Dengan q_e adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g), C_e adalah konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L), k_f adalah faktor kapasitas Freundlich (mg/g), dan n adalah faktor intensitas Freundlich (mol/g). Dari rumus pada Persamaan 8 dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Rousseau, 1987).

Bentuk linear dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara memplotkan C/Q terhadap C_e . Konstanta Freundlich k_f dapat diperoleh dari kemiringan garis lurusnya dan $1/n$ merupakan harga slop. Bila n diketahui k_f dapat dicari, semakin besar harga k_f maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga k_f yang diperoleh maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015).

Selain itu, untuk menentukan jumlah zat warna teradsorpsi, rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi metilen biru terhadap adsorben karbon aktif dapat digunakan persamaan berikut:

$$Q = (C_o - C_e)V/W \quad (9)$$

Dimana Q menyatakan jumlah metilen biru teradsorpsi (mg/g), C_o dan C_e menyatakan konsentrasi awal sebelum teradsorpsi dan konsentrasi metilen biru setelah teradsorpsi (mg/L), W adalah massa adsorben (g), V adalah volume larutan metilen biru (L) (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015).

E. Karakterisasi

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu metode pengukuran secara analisis analit yang didasarkan pada fenomena hasil interaksi antara materi dengan sinar (radiasi elektromagnetik = REM) dengan menggunakan instrumen spektrofotometer. Daerah pengukuran spektrofotometer UV-Vis adalah pada panjang gelombang 180-380 nm untuk daerah ultra violet (UV) dan 380-780 nm untuk visibel (tampak). Hampir semua molekul organik dan anorganik dapat dianalisis (Mulja dan Suharman, 1995).

Spektrofotometer terdiri atas spektrometer dan fotometer. Spektro menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat

pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi.

Spektrofotometer tersusun atas sumber spektrum yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau blanko dan suatu alat untuk mengukur perbedaan absorpsi antara sampel dan blanko ataupun pembanding.

Komponen-komponen pokok dari spektrofotometer UV-Vis meliputi:

1. Sumber tenaga radiasi yang stabil, sumber yang biasa digunakan adalah lampu wolfram.
2. Monokromator untuk memperoleh sumber sinar yang monokromatis.
3. Sel absorpsi, pada pengukuran di daerah sinar tampak menggunakan kuvet kaca, tetapi untuk pengukuran pada UV menggunakan sel kuarsa karena gelas tidak tembus cahaya pada daerah ini.
4. Detektor radiasi yang dihubungkan dengan sistem meter atau pencatat.
Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang.

Prinsip kerja dari alat ini adalah cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis diteruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer.

Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diadsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian diterima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan

mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif (Khopkar, 1984).

Spektrum yang dihasilkan dari energi yang diserap oleh molekul di daerah UV-Vis berupa pita (bukan garis), hal ini disebabkan oleh struktur elektron pada gugus kromofor yang kompleks sehingga menghasilkan transisi elektronik yang lebih dari satu macam. Panjang gelombang yang menghasilkan transisi elektronik yang memberikan absorbansi maksimum disebut panjang gelombang maksimum (maks). Sebagian zat mempunyai struktur elektron tertentu, sehingga dapat memberikan panjang gelombang maksimum yang tertentu pula. Prinsip dasar analisis kuantitatif metode spektrofotometri UV-Vis yaitu besarnya sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi analit yang dinyatakan dengan persamaan Lambert-Beer berikut ini (Mulja, 1995):

$$A = b C \quad (10)$$

Dimana: A = absorbansi

= koefisien ekstingsi molar (cm/M)

b = tebal kuvet (cm)

C = konsentrasi larutan (M)

2. Spektrofotometer Inframerah (IR)

Menurut Yacob (2008), gugus fungsi dari karbon aktif dapat diperoleh setelah dilakukan karakterisasi karbon aktif baik secara fisika maupun kimia dan

impregnasi. Gugus fungsi yang paling banyak muncul pada karbon aktif dengan menggunakan *IR* adalah gugus fungsi C-O. Oleh karena itu penentuan gugus fungsi atau unsure kimia pada permukaan karbon aktif dapat dilakukan analisis dengan menggunakan metode spektrofotometri inframerah (*IR*).

Spektrofotometri *IR* adalah spektrofotometer yang memanfaatkan sinar *IR* dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 - 25 μm atau jangkauan frekuensi 400 - 4000 cm^{-1} . Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi (Khopkar, 1984). Panjang gelombang eksak dari absorpsi oleh suatu tipe ikatan, bergantung pada macam getaran dari ikatan tersebut. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berlainan. Dengan demikian spektrometri inframerah dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).

3. Analisis Morfologi Permukaan

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah alat yang digunakan untuk mempelajari morfologi permukaan objek pada skala yang amat kecil. Prinsip kerja SEM, dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar

yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga terbentuk lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2017 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung (Unila). Analisis morfologi permukaan karbon aktif menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Unila. Kemudian analisis gugus fungsi pada permukaan karbon aktif menggunakan Spektrofotometer *IR* dilakukan di Laboratorium MIPA Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, dan analisis kadar larutan fenol dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung (Unila).

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, mortar dan alu, spatula, neraca analitik, ayakan ukuran 250 μm , tanur, oven, cawan porselin, gegep, alumunium foil, desikator, kertas saring, pH indikator universal, pH meter, pengaduk magnet, sentrifugasi, tabung sentrifugasi, Spektrofotometer UV-Vis tipe Agilent Cary 100, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang dari limbah tempurung kelapa sawit, fenol, larutan H_3PO_4 10%, larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10%, akuades, larutan buffer HCl-KCl, buffer sitrat, buffer fosfat, dan buffer universal.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif

Bahan yang akan dibuat karbon aktif adalah tempurung kelapa sawit dari limbah industri *Crude Palm Oil* (CPO) yang sudah dipilah dari pengotor, dicuci, dijemur dan dibakar di dalam lubang atau drum yang terbuat dari plat besi sehingga diperoleh arang tempurung kelapa sawit. Selanjutnya arang tempurung kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan karbon aktif tersebut dihaluskan menggunakan alat penggiling, jika diperlukan gunakan mortar dan alu kemudian diayak dengan ukuran $250 \mu\text{m}$ (Rahmawaty, 2016). Arang tempurung kelapa sawit yang telah diayak kemudian diaktivasi dengan 2 cara, yaitu aktivasi fisika dan fisika-kimia serta dilanjutkan impregnasi menggunakan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Singh and Chandrajit., 2016).

2. Proses Aktivasi Karbon

a. Aktivasi Fisika

Sebanyak 200 g arang tempurung kelapa sawit dibakar dalam tanur pada suhu 700 °C selama 1 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator hingga suhu ruang (Khuluk, 2016).

b. Aktivasi Fisika-Kimia

Aktivasi fisika-kimia dilakukan dengan merendam 45 g karbon aktif hasil aktivasi fisika ke dalam 70 mL larutan H₃PO₄ 10% selama 24 jam. Lalu dilakukan penyaringan dan pencucian menggunakan akuades hingga pH 6. Kemudian dilakukan pengeringan dalam *oven* pada suhu 100 °C selama 1 jam. Setelah itu didinginkan dalam desikator hingga suhu ruang (Khuluk, 2016).

c. Fisika-Kimia-Impregnasi

Setelah dilakukan aktivasi fisika-kimia, diambil 25 g karbon aktif dan dimasukkan ke dalam 50 mL larutan Cu(NO₃)₂ 10% yang telah disiapkan sebelumnya. Selanjutnya, campuran didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Lalu campuran tersebut dipisahkan dari filtratnya dengan cara penyaringan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C hingga arang aktif kering dan bersih dari pengotornya. Setelah itu didinginkan dalam desikator hingga suhu ruang (Singh and Chandrajit, 2016).

3. Karakterisasi Karbon Aktif

Adsorben yang diperoleh dari aktivasi fisika, fisika-kimia dan telah diimpregnasi, masing-masing dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi permukaannya dan *IR* untuk mengetahui adanya gugus fungsi pada permukaan adsorben (Rahmawaty, 2016). Untuk mengetahui kadar fenol yang teradsorpsi oleh adsorben, dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 270 nm sesuai dengan penentuan panjang gelombang maksimum fenol seperti yang tersaji pada Gambar 20 (Lampiran 1).

4. Pembuatan Larutan Induk Fenol 1000 mg/L

Sebanyak 0,5 g fenol dimasukkan dalam labu takar 500 mL, kemudian ditambah akuades hingga tanda *terra* dan dihomogenkan.

5. Uji Adsorpsi

a. Penentuan Dosis Optimum Adsorben

Sebanyak 25 mL larutan fenol 100 mg/L dimasukkan ke dalam 6 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian masing-masing ditambahkan karbon aktif dengan variasi dosis 50; 100; 200; 300; 400, dan 500 mg. Campuran tersebut diaduk selama 1 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 100 rpm. Setelah itu dilakukan pemisahan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100 pada panjang gelombang 270 nm (Khuluk, 2016).

b. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 20 mL fenol 100 mg/L dimasukkan ke dalam 6 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian masing-masing larutan diatur pH menggunakan pH meter dengan variasi pH 2, 4, 6, 8, 10, dan 12. Penurunan pH dilakukan dengan penambahan HCl sedangkan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH. Setelah itu ditambahkan masing-masing larutan buffer KCl-HCl untuk mempertahankan pH 2, buffer sitrat untuk pH 4 dan 6, buffer fosfat untuk pH 8, dan buffer universal untuk pH 10 dan 12. Setelah itu ditambahkan adsorben dengan dosis optimum pada masing-masing larutan. Campuran tersebut diaduk selama 1 jam menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya pemisahan dilakukan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100 pada panjang gelombang 270 nm (Widhianti, 2010).

c. Laju Adsorpsi

Sebanyak 20 mL fenol 100 mg/L dimasukkan ke dalam 5 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian dilakukan pengaturan pH pada pH optimum dan ditambahkan adsorben dengan dosis optimum. Setelah itu campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 100 rpm dan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Selanjutnya pemisahan dilakukan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100 pada panjang gelombang 270 nm (Khuluk, 2016).

d. Isoterm Adsorpsi

Sebanyak 20 mL larutan yang mengandung fenol dengan variasi konsentrasi 0, 25, 50, 100, 150, 200, dan 250 mg/L ditambahkan adsorben dengan dosis optimum pada pH yang optimum. Kemudian masing-masing campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 100 rpm dan lama pengadukan sesuai dengan waktu kontak optimum. Selanjutnya pemisahan campuran dilakukan dengan teknik sentrifugasi dan filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100 pada panjang gelombang 270 nm (Khuluk, 2016).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Aktivasi karbon dari tempurung kelapa sawit yang dilakukan secara fisika (KAF) dengan suhu aktivasi 700 °C, fisika-kimia (KAK) dengan penambahan senyawa H₃PO₄, dan fisika-kimia-impregnasi (KAI) dengan penambahan ion Cu²⁺ menghasilkan bentuk permukaan karbon pada KAF lebih amorf dan pori-pori lebih banyak daripada KAK maupun KAI serta kemampuan adsorpsi lebih besar yaitu 93,95%.
2. Kemampuan adsorpsi larutan fenol pada karbon aktif dipengaruhi oleh kondisi pH optimum KAF yaitu pada pH 6 serta KAK dan KAI pada pH 8 dengan dosis optimum 50 mg dan waktu kontak optimum 120 menit.
3. Laju adsorpsi larutan fenol oleh KAF, KAK, dan KAI cenderung mengikuti persamaan kinetika pseudo orde dua dengan nilai konstanta laju masing-masing $0,023 \times 10^5$; $0,024 \times 10^5$; dan $0,012 \times 10^5$ g/mmol menit.
4. Isoterm adsorpsi fenol oleh karbon aktif yang diaktivasi secara fisika, fisika-kimia, dan fisika-kimia-impregnasi ini cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi mendekati 1.

B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji adsorpsi pada karbon aktif terhadap senyawa organik atau zat warna lain.
2. Menggunakan metode lain dalam aktivasi karbon agar diperoleh adsorben yang lebih baik untuk digunakan dalam proses adsorpsi.
3. Melakukan karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit secara kuantitatif dengan menggunakan instrumen lain seperti BET.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi O.A., and Olawale A.S. 2009. A Comparative Study of Thermal and Chemical Activation of *Canarium Schweinfurthii* Nutshell. *Journal of Appl. sci. Res. New York*. 5(12): 2148-2152.
- Al-Asheh, S., Banat, F., and Abu-Aitah, L. 2003. *Adsorption of Phenol Using Different Types of Activated Bentonites*. Sep. Pur. Technol. New York.
- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1984, *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- Alberty, R.A. and F. Daniel. 1987. *Physical Chemistry*. 5th edition. SI Version. John Willey and Sons Inc. New York.
- Anderson, R. 1991. *Sample Pretreatment and Separation, Analytical Chemistry by Open Learning*. John Wiley and Sons. New York.
- Astuti, A. 2002. *Aktivitas Proses Dekomposisi Berbagai Bahan Organik Dengan Aktivator Alami dan Buatan*. Makalah Seminar Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika (diterjemahkan oleh: Kartahadiprojo Irma I) Edisi ke-2*. Erlangga. Jakarta.
- Azam, T. Mohd Din, B.H. Hameed, and Abdul L.A. 2009. Batch Adsorption of Phenol onto Physiochemical Activated Coconut Shell. *Journal of Hazardous Materials*. University Science Malaysia. Malaysia.
- Badani Z., H. Ait-Amar., A. Si-Salah, M. Brik, and W. Fuchs. 2005. Treatment of Textile Wastewater by Membrane Bioreactor and Reuse. *Desalination. Japan*. 185(1): 411-417.
- Blais, J.F., Dufresne, B and Mercier, G. 2000. *Rev. Sci. Eau* 12. Australia.
- Buhani, Narsito, Nuryono, E. Sri Kunarti, and Suharso. 2015. Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. 55(5): 1240-1252.

- Buhani, D. Herasari, Suharso, and S. Dwi Yuwono. 2017. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on the Amino-Silica Hybrid Adsorbent with Adsorption Rate and Capacity of Cd^{2+} Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1): 418-429.
- Buhani and Suharso. 2009. Immobilization of *Nannochloropsis* sp. Biomass by Sol-Gel Technique as Adsorbent of Metal Ion Cu(II) from Aqueous Solutions. *Asian Journal of Chemistry*. 21(5): 3799-3808.
- Buhani, Suharso, and A.Y. Fitriyani. 2013. Comparative Study of Adsorption Ability of Ni(II) and Zn(II) Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*. 25(5): 2875-2880.
- Buhani, Suharso, H. Satria. 2011. Hybridization of *Nannochloropsis* sp Biomass-Silica through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*. 51(4):467-476.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2012. Production of Ionic Imprinted Polymer from *Nannochloropsis* sp Biomass and Its Adsorption Characteristics Toward Cu(II) Ion in Solutions. *Asian Journal of Chemistry*. 24(1): 133-140.
- Buhani, Suharso, and Z. Sembiring. 2010. Biosorption of Metal Ions Pb(II), Cu(II), and Cd(II) on *Sargassum duplicatum* Immobilized Silica Gel Matrix. *Indonesian Journal of Chemistry*. 6(3): 245-250.
- Chandra, Dr. Budiman. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Penerbit Buku Kedokteran. Jakarta. 124, 144-147.
- Cheremisinoff, P. W. and Ellerbusch, F. 1993. *Carbon Adsorption Applications, Carbon Adsorption Handbook*. Ann Arbor Science Publishers. Inc. Michigan. 7-8.
- Chowdhurry, S and P. Saha. 2010. Sea Shell Powder as a New Adsorbent to Remove Basic Green (Malachite Green) from Aqueous Solutions: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Chemical Engineering Journal*. 164: 168-177.
- Chowdhurry, S., R. Mishra, P. Saha, and P. Kushwaha. 2011. Adsorption Thermodynamics, Kinetics and Isothermic Heat of Adsorption of Malachite Green onto Chemically Modified Rice Husk. *Desalination*. 265: 159-168.
- Darmawan S, Pari G, dan Sofyan K. 2009. Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Phosfat Dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. Bogor. 2(2): 51-56.
- Denizli, A., Ozkan, G., and Ucar, M. 2001. *Removal of Chlorophenols from Aquatic Systems with Dye-affinity Microbeads*. Sep. Pur. Technol. New York. 24, 255-262.

- Djarmiko, B dan A.P. Widjaja. 1985. *Teknologi Minyak dan Lemak*. Departemen THP IPB. Bogor.
- Dobre, T., Guzun Stoica, A., and Floarca, O. 1999. *Reactive Extraction of Phenols Using Sulfonic Acids Salts of Trioctylamine*. Chem Eng. Sci. New York. 54: 1559-1563.
- Elly, Kurniati. 2008. *Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif*. Teknik Kimia FTI, UPN. Jawa Timur.
- Ferry, J. 2002. *Pembuatan Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Adsorben Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas*. FMIPA IPB. Bogor.
- Fessenden, J. dan J.S. Fessenden. 1992. *Kimia Organik*. Erlangga. Jakarta.
- Gultom, Erika Mulyana. 2014. Aplikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Aktivator H_3PO_4 untuk Penyerapan Logam Cd dan Pb. (Skripsi). Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Hala, Y., P. Taba., dan A. B. Susilawati. 2010. Adsorpsi Rhodamin B dalam Air oleh Karbon Aktif Tempurung Kenari. *Jurnal Alam dan Lingkungan*. ISSN: 2086-4604. 1(1): 41-50.
- Halimah, Siti Nur. 2016. Pembuatan dan Karakterisasi serta Uji Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana) terhadap Metilen Biru. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Hamad, Bakhtiar K., Ahmad Md. Noor, and Afidah A. Rahim. 2011. Removal of 4-Chloro-2-Methoxyphenol from Aqueous Solution by Adsorption to Oil Palm Shell Activated Carbon Activated with K_2CO_3 . *Journal of Physical Science*. 22(1): 39-55.
- Han, R., W. Zou, W. Yu, S. Cheng, Y. Wang, J. Shi. 2007. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by fallen Phoenix tree's leaves. *Journal of Hazardous Materials*. pp. 156-162.
- Hartanto, S. dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1): 12-16.
- Hartoyo dan Pari, G., T. Nurhayati. 1990. *Peningkatan Kualitas Arang dan Arang Aktif dari Kayu Mangium yang Diteras*. Prosiding Seminar Nasional III MAPEKI. Fahutan UNWIM. 22-23 Agustus 2000. Jatinangor. 229-230.
- Hassler, J.W. 1974. *Active Carbon*. Chemical Publishing Company Incorporated. Brooklyn. 105: 59-61.

- Hendra, Djeni. 2006. *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Gergajian Campuran*. Jurnal: Tidak Diterbitkan.
- Hendra, D. dan Pari. 1983. Pembuatan Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*. Jakarta.
- Hendra, D dan S. Darmawan. 2007. *Sifat Arang Aktif dari Tempurung Kemiri*. Forrest Product Research. Jakarta. 86: 1-18.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahneman, D.W. 1997. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *Journal of Chem. Rev.* 69-96.
- Hoyashi, K. and M. Chisato. 1984. *Principle Properties of Reticulated Active Carbon from Polyphenolic Resin*. Tokyo.
- Husin, H. dan C.M. Rosnelly. 2007. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri (HPI)*. ISSN: 0215-4609. pp. 1-10.
- Idris, M.N., Z. A. Ahmad., and M. A. Ahmad. 2011. Adsorption Equilibrium of Malachite Green Dye onto Rubber Seed Coat Based Activated Carbon. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. pp. 305-311.
- Jagtøyen, Marit, Brian Mc.Enaney, John Stencel, Michael Thwaites, and Frank Derbyshire. 2006. Activated Carbons from Bituminous Coals by Reaction with H₃PO₄ Influence of Coal Cleaning. *University of Kentucky Center for Applied Energy Resource 3572 Iron Works Pike, Lexington*. KY 40511-8433.
- Kardivelu, K., M. Kavipriya, C. Karthika, M. Radhika, N. Vennilamani, and S. Pattabhi. 2003. Utilization of Various Agricultural Wastes for Activated Carbon Preparation on Application for The Removal of Dyes and Metal Ions from Aqueous Solutions. *Bioresource Technology*. pp. 1-2.
- Khalkhali, R. A. dan Omidvari, R. 2004. Adsorption of Mercuric Ion from Aqueous Solution Using Activated Carbon. *Polish Journal of Enviromental Studies*. 14(2): 185-188.
- Khopkar, S.M. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press. Jakarta.
- Khuluk, Rifki Husnul. 2016. Pembuatan dan Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.) sebagai Adsorben Zat Wara Metilen Biru. (*Skripsi*) Universitas Lampung. Lampung.
- Kienle, H.V. 1986. Carbon. on Campbell, P.T., Prefferkorn R., dan Roundsaville, J.F. *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Completely Revised Edition*. Vol. A5. Weinheim.

- Kim, Kinoshita. 1988. *Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties*. John Wiley and Sons. New York.
- Kirk, R.E. and D.F. Othmer. 1992. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd Edition. Interscience Publishing Incorporated. New York. Vol 12.
- Latinwo, G.K. and Sam E. Agarry. 2015. Removal of Phenol from Paint Wastewater by Adsorption onto Phosphoric Acid Activated Carbon Produced from Coconut Shell: Isothermal and Kinetic Modelling Studies. *Chemistry and Materials Research*. 7(5): 123-137.
- Liang, Xiaoyu, Yi Lu, Zhijuan Li, Chao Yang, Chungue Niu, and Xintai Su. 2016. *Bentotite/ Carbon Composite as High Recyclable Adsorbents for Alkaline Wastewater Treatment and Organic Dye Removal*. Ministry Key Laboratory of Oil and Gas Fine Chemicals Xinjiang University. China.
- Liu, Y., X. Chang, S. Wang, Y. Guo, B. Din, and S. Meng. 2004. Solid-Phase Extraction and Preconcentration of Cadmium(II) in Aqueous Solution with Cd(II)-Imprinted resin (poly-Cd(II)-DAAB-VP) Packed Columns. *Analytica Chimica Acta*. 519: 173-179.
- Lizhong, Z., Jianying, Z., Yimin, L., Xueyou, S., and Wenbin, Q. 1996, Organobentonites as Assorbents for Some Organic Pollutants and Its Application in Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Science*. 8: 378-383.
- Lynam, M.M., Kilduff, J.E., and Weber, W.J. Jr. 1995. Adsorption of p-Nitrophenol from Dilute Aquadeous Solution. *Journal of Chemistry Edu.*, 72: 80 – 84.
- Manocha, S. 2003. *Porous Carbon*. Department of Materials Science, Sardar Patel University, Vallabh Vidyanagar 388 120. India.
- Marsh, H. and R., R., Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books. Ukraina.
- Meisrilestari, Y., R. Khomaini, dan H. Wijayanti. 2013. Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivasi secara Fisika, Kimia, dan Fisika-Kimia. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik. Universitas Lambung Mangkurat. *Konversi*. 2(1):46-51.
- Mulia, A. 2007. *Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Briket Arang*. Tesis. Magister Kimia. Universitas Sumatera Utara.
- Mulja, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Universitas Airlangga, Surabaya.

- Neir, I. C. 2008. Biodegradation of Phenol African Journal of Biotechnology. Vol 7(25): 4951-4958.
- Noll, K.E., V. Gournaris, and W.S. Hou. 1992. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. *Lewis Publisher Incorporated Michigan*. pp. 1-8.
- Oxtoby, D., W. 2004. *Prinsip-Prinsip Kimia Modern Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Pambayun. 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator $ZnCl_2$ Dan Na_2CO_3 sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits*. Jakarta. 2(1): 116-120.
- Pari, G., D. Hendra. 1999. *Pembuatan Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Buletin Penelitian Hasil Hutan. Bogor. 17(2): 113-122.
- Pari, G., K. Sofyan, Syafii, dan Buchari. 2005. Pengaruh Lama Aktivasi terhadap Struktur Kimia dan Mutu Arang Aktif Serbuk Gergaji Sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 23(3): 207-218.
- Patterson, J.W. 1975. *Waste Water Treatment Technology*. Ann Arbor Science. Michigan.
- Pope, J.P. 1999. *Activated Carbon and some Application for Remediation of soil and Ground Water Pollution*. Civil Engineering Dept. Virginia Tech. USA.
- Purwanto, Djoko. 2011. Arang Dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Bogor. 29(1): 57-66.
- Qadeer and Rehan. 1998. *Proses Pengolahan Minyak Bumi*. Bandung.
- Rahayu, Lucia Hermawati. 2014. Potensi Sabut dan Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Untuk Meregenerasi Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Industri*. Jakarta. 10(1): 52.
- Rahmawaty. 2016. Pemanfaatan Arang Aktif dari Limbah Pabrik CPO (Crude Palm Oil) sebagai Adsorben Metilen Biru. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Lampung.
- Rasmawan. 2009. Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit untuk Pakan Ternak Sapi. Bengkulu.
- Rodriguez, Reinoso F. 1993. European Patent EP 0329 251 B1.
- Rousseau, R.W. 1987. *Handbook Of Separation Process Technology*. John Wiley and Sons Inc. United States. pp. 67.

- Saha, P., S. Chowdurry, S. Gupta, and I. Kumar. 2010. Insight into Adsorption Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Malachite Green onto Clayey Soil of Indian Origin. *Chemical Engineering Journal*. 165: 874-882.
- Sandi, Anggun Paradilla dan Astuti. 2014. Pengaruh Waktu Aktivasi menggunakan H_3PO_4 terhadap Struktur dan Ukuran Pori Kabon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Fisika Unand*. Padang. Vol 3 No.2.
- Sembiring, M.T. dan T.S. Sinaga. 2003. Arang Aktif Pengenalan dan Proses Pembuatannya. *Jurnal Kimia Digitized by USU digital library*. Medan. pp. 2-9.
- Setyaningsih, Henny. 2008. *Pengolahan Limbah Batik dengan Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Shanbhag, P.V., Guha, A.K., and Sirkar, K.K. 1995. Ozonation of Several Organic Compounds Having Low Molecular Weight under Ultraviolet Irradiation. *Journal of Hazard. Mat.* 41: 95-104.
- Shaw, D. J. 1980. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*. Butter Whorths. London.
- Singh, Neetu, and Chandrajit Balomajumder. 2016. Simultaneous Removal of Phenol and Cyanide from Aqueous Solution by Adsorption onto Surface Modified Activated Carbon Prepared from Coconut Shell. *Journal of Water Process Engineering*. 9: 233-245.
- Sudrajat, R. 1993. *Karakteristik Kayu Sebagai Bahan Energi*. Diskusi Industri Perakayan, Proceeding, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.
- Suharso and Buhani. 2011. Biosorption of Pb(II) Cu(II) and Cd(II) from Aqueous Solution Using Cassava Peel Waste Biomass. *Asian Journal of Chemistry*. 23(3): 1112-1116.
- Suhendra, D. dan E.R. Gunawan. 2010. Pembuatan Arang Aktif dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat dan Penggunaannya pada Penjerapan Ion Tembaga (II). *Makara Sains*. 14(1): 22-26.
- Sukir. 2008. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Sekam Padi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Padjajaran. Bandung.
- Suzuki, M. 1990. *Adsorption Engineering*. Elsevier. Tokyo.

- Takahashi, N. 1990. *Single-phase Membrane Ozonation of Hazardous Organic Compounds in Aqueous Stream*. *Ozone Sci. Eng.* 12: 1-18.
- Tan, H.T. dan Rahardja, K. 2008. *Obat-Obat Penting Kasiat, Penggunaan Dan Efek- Efek Sampingnya*. Edisi ; 6. Kompas-Gramedia. Jakarta. Hal: 6-12.
- Tan, I.A. W., J.C. Chan, B.H. Hameed, and L.L.P. Lim. 2016. *Adsorption Behavior of Cadmium Ions onto Phosporic Acid Impregnated Microwave Induced Mesoporous Activated Carbon*. Departement of Chemical Engineering and Energy Sustainability University Malaya. Malaysia.
- Tanasale, M.F.J.D.P. 2008. Kinetika Adsorpsi Zat Warna Tartrazina pada Kitin dan Kitosan. *Prosiding Seminar Nasional Kimia XVII*. Jurusan Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Tawalbleh. 2005. *Journal of Applied Science*. CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Treybal. 1980. *Mass Transfer Operations*. 3rd McGraw-Hill Book Company. New York. 566-569.
- Vinod, V.P., and T.S. Anirudhan. 2002. Effect of Experimental Variables of Phenol on Adsorption Activated Carbon Prepared from Coconut Husk by Single Pyrolysis: Mass Transfer Process and Equilibrium Studies. *Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol. 61. pp. 128-138.
- Wagiyo dan A. Handayani. 1997. *Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS*. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.
- Watson, E.K., Rickelton, W.A., Robertson, A.J., and Brown, T.J. 1988. *A Liquid Phosphine Oxide: Solvent Extraction of Phenol, Acetic Acid and Ethanol*. *Solv. Extr. Ion Exch.* 6: 207-220.
- Widhianti, Wahyu Dwi. 2010. *Pembuatan Arang Aktif dari Biji Kapuk (Ceiba pentandra L.) sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Wirawan, Teguh. 2012. *Adsorpsi Fenol Oleh Arang Aktif Dari Tempurung Biji Jarak Pagar (Jatropha curcas L.)*. Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Yacob, A. 2008. Comparison of Various Sources of High Surface Area Carbon Prepared by Different Types of Activation. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. Malaysia.
- Yoshida, H., Suzuki, T., dan Kamio, E. 2004. Development of Impregnated Activated Carbon for Deodorization and Separation Process. *Journal of Chem. Eng. Japan*. 1056.