

**SINTESIS KOMPOSIT SILIKA GEL DARI SEKAM
PADI -3-AMINOPROPILTRIEKOSISILAN(APTES)
DENGAN KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG
KELAPA DAN UJI ADSORPSI TERHADAP LOGAM
Cd(II)**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**




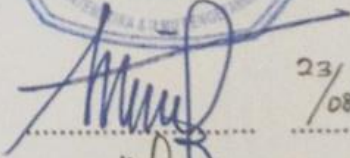
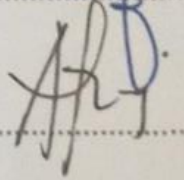
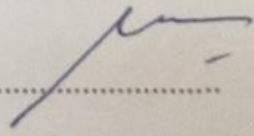
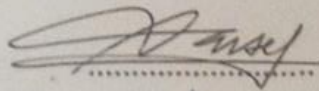
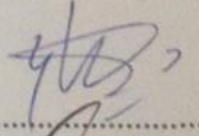
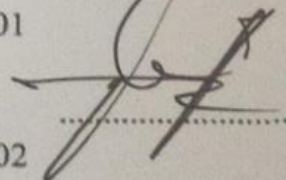
**Ratih Noviasari
3325122149**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

Sintesis Komposit Silika Gel dari Sekam Padi – 3-Aminopropiltriethoxysilan (APTES) dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd (II)

Nama Mahasiswa : Ratih Noviasari
No. Registrasi : 3325122149
Program Studi : Kimia

Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab Dekan : <u>Prof. Dr Suyono, M.Si.</u> NIP 19671218 199303 1 005		23/08 2017
Wakil Penanggung Jawab Wakil Dekan I : <u>Dr. Muktiningsih N., M.Si.</u> NIP 19640511 198903 2 001		23/08 2017
Ketua : <u>Dr. Afrizal, M. Si.</u> NIP 19730416 199903 1 002		21/08 2017
Sekretaris : <u>Drs. Zulhipri, M.Si.</u> NIP 19580703 196903 1 001		21/08 2017
Anggota Penguji : <u>Drs. Darsef, M.Si.</u> NIP 19650806 199003 1 004		21/08 2017
Pembimbing I : <u>Dr. Yusmaniar, M.Si.</u> NIP 19620626 199602 2 001		21/08 2017
Pembimbing II : <u>Arif Rahman, M.Sc.</u> NIP 19700813 199803 2 002		22/08 2017

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal 14 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Sintesis Komposit Silika Gel dari Sekam Padi -3-Aminopropil Trietoksisilan (APTES) dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Uji Adsorpsi terhadap Logam Cd(II)”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Kimia Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 21 Agustus 2017



Ratih Noviasari

Ratih Noviasari

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillaahirrahmanirrahim..

Segala puji hanya milik Allah yang memiliki kehendak yang terbaik bagi setiap hamba-Nya. Alhamdulillahirabbil 'alamin tak henti mengucap syukur atas nikmat dan karunia-Nya.

Saya persembahkan karya kecil ini untuk suami tercinta yang selama ini selalu mensupport saya dengan segala pengorbanannya sampai saya lulus. Saya juga mempersembahkan karya ini untuk kedua orang tua tersayang yang selalu mendo'akan yang terbaik untuk anaknya, yang telah mendidik saya dengan kesabaran dan kasih sayangnya. Saya juga mempersembahkan untuk Ibu dan Bapak mertua saya yang sangat baik hati mensupport dan membimbing saya dengan kasih sayang agar menantunya bahagia salah satunya dengan mencapai kelulusan. Saya juga berterima kasih kepada kakak-kakak saya dan kakak-kakak ipar saya yang telah mendo'akan adiknya agar bias segera lulus dan mencapai kesuksesan.

Saya juga sangat berterima kasih kepada teman seperjuangan Nur Hanifah dan Dian Larasati yang selalu memberi support dan saling menguatkan saat kita saling lelah dan kami pun dapat sama-sama bangkit. Untuk Elfri, Oci, Rara, Fanie yang sangat membantu dan selalu ada saat Ratih bingung terkait penelitian, terima kasih banyak ya ukhty. Untuk Vidya, Gandes, Afifah yang sering mendengarkan curhatan tentang penelitian saya dan memberi masukan agar saya tetap saar dan semangat menjalani penelitian sampai saya lulus. Terima kasih pula untuk teman-teman 2012 atas kebersamaannya selama ini dan tetap mensupport saya agar saya bisa segera lulus. Untuk adik-adik Kimia 2013, terima kasih untuk semangat juang dan kerjasamanya yang selalu mengingatkan saya dan teman-teman 2012 untuk selalu semangat dan bisa wisuda bareng mereka.

Semoga Allah selalu melindungi & memberkahi kalian semua dimanapun kalian berada, allohumma aamin..

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis Komposit Silika dari Sekam Padi Termodifikasi 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES) dengan Karbon Aktif dari Sekam Padi dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd (II)”**.

Tiada sesuatu pun yang terwujud tanpa bantuan dari pihak lain, penulis mengucapkan terima kasih kepada,

1. Ibu Dr. Yusmaniar, M.Si. dan Bapak Arif Rahman, M.Sc. selaku dosen pembimbing Skripsi atas bimbingan dan arahnya sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan,
2. Ibu Dr. Fera Kurniadewi, M.Si selaku kepala laboratorium kimia FMIPA UNJ,
3. Keluarga tercinta yang memberikan dukungan berupa doa,
4. Teman-teman yang selalu memberikan bantuan dan semangat serta doa kepada penulis,
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, namun tidak mengurangi rasa hormat dan terimakasih penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari pengetahuan dan pengalaman masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak agar proposal ini dapat lebih baik dan bermanfaat.

Jakarta, 04 Agustus 2017

Ratih Noviasari

ABSTRAK

RATIH NOVIASARI. Sintesis Komposit Silika Gel dari Sekam Padi – 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES) dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Uji Adsorpsi Terhadap Logam Cd (II). Dibawah bimbingan YUSMANIAR, ARIF RAHMAN.

Pada penelitian ini dibuat adsorben komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif. Silika gel berasal dari sekam padi dan karbon aktif berasal dari tempurung kelapa. Abu sekam padi ini diolah sedemikian rupa menjadi larutan natrium silikat hingga menghasilkan produk silika gel. Silika gel kemudian dicampurkan dengan reagen 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES) dan karbon aktif yang telah diaktifasi sebelumnya dengan larutan $ZnCl_2$ dan diproses menjadi komposit. Karakterisasi komposit hasil sintesis menggunakan spektroskopi FTIR menunjukkan serapan ikatan N-H, silanol (Si-OH), siloksana (Si-O-Si), dan ikatan C-H. Kandungan dari komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif ditunjukkan melalui hasil analisis EDX bahwa komposit hasil sintesis memiliki persentase massa masing-masing atom 32.92% karbon, 25.88% nitrogen, 26.04% oksigen, dan 15.16% silika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimum yang diperlukan untuk adsorpsi ion Cd(II) dengan komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif yaitu 5.0 dan waktu kontak optimum 30 menit. Adsorpsi ion Cd(II) oleh komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif mengikuti isotherm adsorpsi Freundlich. Oleh karena itu, adsorpsi terjadi membentuk lapisan monolayer yang bersifat heterogen.

Kata kunci : abu sekam padi, silika gel, APTES, karbon aktif, komposit, adsorpsi.

ABSTRACT

RATIH NOVIASARI. Synthesis of Silica Gel from Rice Husk - 3-aminopropyltetoxymethylene (APTES) with Activated Carbon from Coconut Shell Composites and Adsorption Test on Metal Cd (II). Under supervised by YUSMANIAR, ARIF RAHMAN.

In this research, silica gel composite modified adsorbents were made with APTES and activated carbon. Silica gel comes from rice husk and activated carbon comes from coconut shell. This rice husk ash is processed in such a way as a sodium silicate solution to produce a silica gel product. The silica gel was then mixed with 3-aminopropylsilylatedoxylic reagent (APTES) and activated carbon previously with ZnCl₂ solution and processed into composite. Characterization of composite synthesis using FTIR spectroscopy shows uptake of N-H, silanol (Si-OH), siloxane (Si-O-Si), and C-H bonds. The content of the silica gel composite modified by APTES and activated carbon is indicated through EDX analysis results that the composite of the synthesis has a mass percentage of each atom of 32.92% carbon, 25.88% nitrogen, 26.04% oxygen, and 15.16% silica. The results showed that the optimum pH required for the adsorption of Cd (II) ions with silica gel composite was modified with APTES and the activated carbon was 5.0 and the optimum contact time was 30 minutes. Adsorption of Cd (II) ions by silica gel composites was modified by APTES and activated carbon followed Freundlich adsorption isotherm. Therefore, adsorption occurs forming a heterogeneous monolayer layer.

Keywords : rice husk ash, silica gel, APTES, activated carbon, composite, adsorption.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	4
A. Kadmium	4
B. Adsorpsi	5
C. Komposit.....	7
D. Silika	9
E. Sekam Padi	11
F. Arang Aktif	12
G. Tempurung Kelapa sebagai Arang Aktif	13
H. Agen Kopling Silan	14
I. Metode Sol Gel	16
J. Metode Batch.....	16
K. Isoterm Adsorpsi.....	17
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	19
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
B. Metode Penelitian	19
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
A. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Sekam Padi.....	24
B. Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa	30
C. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif	31

D.	Uji Adsorpsi Silika Gel, Karbon Aktif, dan Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif terhadap Logam Cd(II)	41
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		46
A.	Kesimpulan	46
B.	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Proses adsorpsi	6
Gambar 2. Struktur kimia APTES	14
Gambar 3. Mekanisme silanol origomer sebagai agen pengkopling	15
Gambar 4. Grafik isoterm adsorpsi	17
Gambar 5. Foto SEM silika hasil furnace	24
Gambar 6. Grafik EDX silika hasil furnace	25
Gambar 7. Natrium silikat sebelum dan sesudah pH 7	26
Gambar 8. Spektrum FTIR silika gel hasil sintesis.....	27
Gambar 9. Foto SEM silika gel hasil sintesis	28
Gambar 10. Grafik EDX silika gel hasil sintesis	19
Gambar 11. Spektrum FTIR komposit silika gel-APTES-karbon aktif.....	31
Gambar 12. Foto SEM komposit silika gel-APTES-karbon aktif	32
Gambar 13. Grafik EDX komposit silika gel-APTES-karbon aktif	33
Gambar 14. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi silika gel hasil sintesis.....	35
Gambar 15. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi dari sampel silika gel hasil sintesis.....	36
Gambar 16. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi karbon aktif	37
Gambar 17. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi sampel karbon aktif teraktivasi.....	38
Gambar 18. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi komposit hasil sintesis	39
Gambar 19. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi sampel komposit silika gel-APTES-karbon aktif	40
Gambar 20. Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd (II) oleh adsorben hasil sintesis	42
Gambar 21. Pengaruh waktu terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd (II) oleh adsorben hasil sintesis	43
Gambar 22. Kurva isoterm Langmuir	44
Gambar 23. Kurva isoterm Freundlich	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Karakteristik silika amorf	10
Tabel 2. Komposisi Sekam Padi	11
Tabel 3. Persyaratan arang aktif.....	13
Tabel 4. Unsur yang terkandung dalam silika hasil furnace	25
Tabel 5. Kandungan unsur pada silika gel hasil sintesis.....	29
Tabel 6. Kandungan unsur pada komposit hasil sintesis	33
Tabel 7. Hasil karakterisasi SAA adsorben	34

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Bagan Kerja	51
Lampiran 2. Spektra FTIR	58
Lampiran 3. Karakterisasi SEM-EDX	59
Lampiran 4. Kurva Larutan Standar AAS	61
Lampiran 5. Uji Adsorpsi Silika Gel dari Sekam Padi terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak.....	62
Lampiran 6. Uji Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak.....	64
Lampiran 7. Uji Adsorpsi Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak	66
Lampiran 8. Perbandingan Besar Adsorpsi dan Kapasitas Adsorpsi antara Karbon Aktif, Silika Gel, Komposit terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak...68	
Lampiran 9. Model Isoterm Adsorpsi	71
Lampiran 10. Cara perhitungan massa $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dalam 1000 ppm Cd	74
Lampiran 11. Hasil Analisis SAA	75

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Pencemaran logam berat merupakan salah satu masalah lingkungan yang serius. Kontaminasi logam berat dapat menimbulkan resiko utama masalah kesehatan dan lingkungan akibat dari perkembangan ekonomi dan industri yang cukup pesat. Secara umum, logam dibagi menjadi dua bagian, yaitu logam esensial dan non-esensial. Logam esensial merupakan logam yang sangat diperlukan oleh organisme untuk membantu proses fisiologis, terutama sebagai kofaktor enzim atau untuk pembentukan organ. Sedangkan, logam non-esensial merupakan logam yang peranannya dalam tubuh belum diketahui, terdapat dalam jaringan hewan dalam jumlah yang sedikit, dan dapat merusak organ jika terdapat dalam jumlah yang tinggi. Secara kimia, logam dipelajari dari sifat – sifat logam dari sudut susunan kimianya, sifat ketahanan terhadap korosi, kemampuan terhadap proses pengelasan dan *heat treatment process* (Darmono, 2001).

Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk menyisahkan logam berat dari air limbah. Teknik konvensional yang biasanya digunakan adalah proses fisik-kimiawi, seperti presipitasi, oksidasi, reduksi, ekstraksi pelarut, ekstraksi elektrolisis, penguapan, osmosis, pertukaran ion dan adsorpsi (Jang-Soon et al, 2010). Adsorpsi merupakan salah satu teknik pengolahan limbah yang paling efektif dan banyak digunakan dalam proses pengolahan limbah karena efisiensi yang tinggi, mudah dalam pengoperasian, *biodegradability*, dan biaya yang murah (Gupta et al., 2009)

Dalam proses adsorpsi, adsorben dengan luas permukaan yang besar sangat dibutuhkan. (Yang, 2003). Silika gel memiliki luas permukaan besar. Begitupun karbon aktif yang memiliki luas permukaan besar dan dapat digunakan untuk mengefesienkan adsorpsi pada polutan (Givianrad, 2011).

Adsorben yang biasa digunakan untuk mengadsorpsi logam berat ialah karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar yang

secara efektif mampu menyerap berbagai macam logam berat. Karbon aktif dapat diperoleh secara komersial dan non-komersial. Karbon aktif komersial umumnya dibuat dalam bentuk grafit, sedangkan karbon aktif non-komersial umumnya disintesis dari hasil limbah pertanian yang sudah tidak terpakai, seperti kulit kacang, sekam padi, dedak gandum, serbuk gaji, dan tempurung kelapa (Abdel *et al.*, 2011).

Akan tetapi, karbon aktif tidak mempunyai gugus fungsi yang cukup untuk mengadsorpsi logam-logam berat secara ekonomis. Oleh sebab itu, beberapa metode untuk memodifikasi permukaan karbon aktif diperkenalkan secara kimia atau fisika, seperti salah satunya dengan membuat suatu komposit (Ahn *et al.*, 2009).

Pada penelitian Givianrad, *et al.*, (2011) komposit silika-karbon aktif dapat terbentuk dan memiliki kapasitas adsorpsi logam berat yang lebih besar dibandingkan dengan silika dan karbon aktif itu sendiri. Namun, silika dan karbon aktif yang digunakan pada penelitian Givianrad, *et al* (2011) ialah bahan yang didapat secara komersial.

Abu sekam padi ini dibuat melalui proses sol-gel hingga terbentuk silika gel. Silika gel ini kemudian ditambahkan dengan agen kopling silan, yaitu 3-Aminopropiletoksisilan (APTES) hingga terbentuk Silika Termodifikasi APTES. Penggunaan agen kopling silan ini bertujuan untuk menyerap logam secara lebih baik dan maksimal dibandingkan dengan silika tanpa APTES (Quang *et al.*, 2013).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat suatu komposit dari bahan limbah hasil pertanian, yakni dengan mensintesis silika dari abu sekam padi yang termodifikasi 3-aminopropiletoksisilan (APTES) yang digabungkan dengan karbon aktif dari tempurung kelapa. Abu sekam padi yang mengandung silika difurnace dan selanjutnya akan dimodifikasi secara kimia dengan menggunakan pereaksi APTES. Sehingga pemanfaatan limbah sekam padi dan tempurung kelapa diharapkan menjadi solusi untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat Cd pada air.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu “Bagaimana kemampuan adsorpsi komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif tempurung kelapa dapat digunakan sebagai adsorben Cd(II) dalam medium air berdasarkan waktu kontak dan pH optimum adsorpsi?”

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mensintesis komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif dari tempurung kelapa.
2. Mengetahui kapasitas adsorpsi komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif pada proses adsorpsi logam Cd(II) dalam medium air.
3. Mengetahui pH dan waktu kontak optimum adsorben komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif guna mengadsorpsi logam Cd(II).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan yaitu :

1. Memberi informasi cara membuat komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif dari tempurung kelapa.
2. Menambah wawasan di bidang ilmu kimia lingkungan dalam pengolahan limbah pertanian menjadi suatu adsorben.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kadmium

Kadmium (Cd) adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan Kadmium Oksida bila dipanaskan. Kadmium (Cd) umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd Klorida) atau belerang (Cd Sulfit). Kadmium membentuk Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Cd memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4, titik leleh $321^{\circ}C$, titik didih $767^{\circ}C$ dan memiliki masa jenis $8,65\text{ g/cm}^3$ (Widowati et al, 2008).

Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi. Kadmium (Cd) digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel, dan plastik. Kadmium (Cd) adalah logam berbentuk kristal putih keperakan. Cd didapat bersama-sama Zn, Cu, Pb dalam jumlah yang kecil. Kadmium (Cd) didapat pada industri alloy, pemurnian Zn, pestisida, dan lain-lain (Said, 2008). Logam kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Berdasarkan sifat-sifat fisiknya, kadmium (Cd) merupakan logam yang lunak, berwarna putih seperti putih perak. Logam ini akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta cepat akan mengalami kerusakan bila dikenai uap amoniak (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2). Berdasarkan pada sifat kimianya, logam kadmium (Cd) didalam persenyawaan yang dibentuknya umumnya mempunyai bilangan valensi 2+, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1+. Bila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH, ion-ion Cd^{2+} akan mengalami proses pengendapan. Endapan yang terbentuk dari ion-ion Cd^{2+} dalam larutan OH biasanya dalam bentuk senyawa terhidrasi yang berwarna putih (Palar, 2004).

Menurut Darmono (2001), keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam timbal (Pb) dan seng (Zn). Dalam

industri pertambangan, timbal (Pb) dan seng (Zn), proses pemurniannya akan selalu memperoleh hasil samping kadmium yang terbuang dalam lingkungan. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi.

Kadmium (Cd) dalam tubuh terakumulasi dalam hati dan terutama terikat sebagai metalotionein mengandung unsur sistein, kadmium terikat dalam gugus sulfhidril (-SH) dalam enzim seperti karboksil sisteinil, histidil, hidroksil, dan fosfatil dari protein purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas kadmium disebabkan oleh interaksi antara kadmium dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh (Darmono, 2001).

Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu upaya untuk menghilangkan logam Cd dari air limbah, yakni dalam penelitian ini menggunakan teknik adsorpsi. Teknik adsorpsi dipakai karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun (Setyaningtyas, 2005).

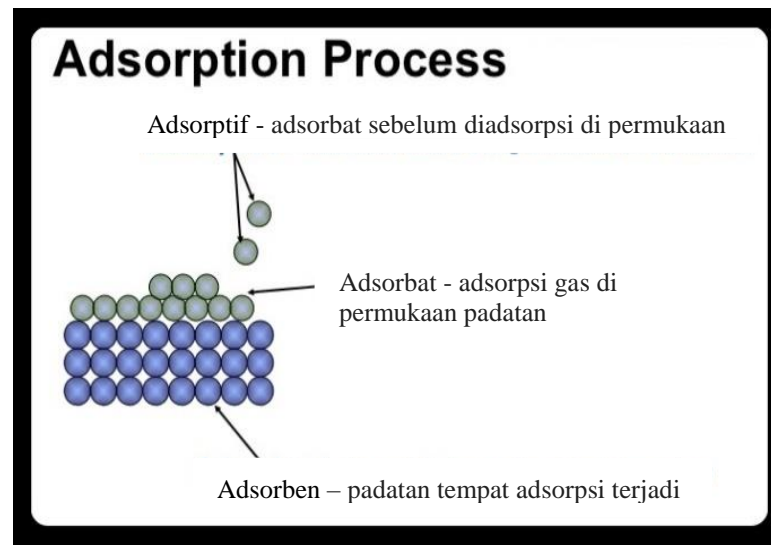
B. Adsorpsi

Adsorpsi adalah pengumpulan substansi pada permukaan adsorban berbentuk padatan, sedangkan absorpsi adalah perembesan dari pengumpulan substansi ke dalam padatan. Adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Adsorpsi fisik terutama dikarenakan oleh gaya van der Waals dan terjadi bolak-balik (Reynolds dan Paul, 1995).

Kinetika adsorpsi dapat dijelaskan sebagai tingkat perpindahan molekul dari larutan ke dalam pori-pori partikel adsorben. Terdapat tiga mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi (Weber, 1999) yaitu :

1. Molekul-molekul zat yang diserap dipindahkan dari bagian terbesar larutan ke permukaan luar dari adsorben. Fase ini disebut difusi film atau difusi eksternal.

2. Molekul-molekul zat yang diserap dipindahkan pada kedudukan adsorpsi pada permukaan adsorban ke bagian yang lebih dalam yaitu pada bagian pori. Fase ini disebut dengan difusi pori.
3. Molekul-molekul zat yang diadsorpsi menempel pada permukaan partikel.



Gambar 1. Proses adsorpsi (Jatinder, 2015)

Menurut Cooney (1998), ada banyak faktor yang mempengaruhi adsorpsi secara fisik, yaitu:

1. Suhu

Pada umumnya, naiknya suhu menyebabkan berkurangnya kemampuan adsorpsi karena molekul dari adsorban mempunyai energi getaran lebih besar dan oleh karena itu akan keluar dari permukaan. Kemampuan adsorpsi akan berkurang pada suhu yang tinggi.

2. Sifat pelarut

Pelarut mempunyai pengaruh penting karena akan berkompetisi dengan karbon aktif dalam reaksinya terhadap *solute*. Jadi adsorpsi dari *solute* organik akan lebih rendah dari pada adsorpsi pada zat cair lain. Bagaimanapun akan banyak pelarut dalam air, oleh karena itu tidak perlu dikhawatirkan terlalu jauh pelarut dalam air.

3. Area permukaan karbon

Jumlah substansi yang karbon dapat serap, secara langsung terjadi pada area permukaan internal. Hal ini tidak sepenuhnya benar. Pada penyerapan molekul besar, banyak dari area permukaan internal yang kemungkinannya tidak dapat terjadi.

4. Struktur pori dari karbon

Struktur pori merupakan bagian penting dikarenakan diameter pori yang mempunyai range 10 sampai 100.000 Å, kontrol ukuran molekul yang sesuai.

5. Sifat dari *solute*

Senyawa anorganik menunjukkan range luas dari adsorpsi. Di satu sisi, pemisahan kuat garam seperti natrium klorida dan kalium nitrat tidak semua diadsorpsi oleh karbon aktif. Di sisi yang lain *solute* yang tidak dipisahkan dengan kuat seperti iodin dan merkuri klorida sangat bagus diadsorpsi. Faktor kunci terlihat apakah *solute* ada pada bentuk netral atau terion.

6. Pengenceran pH

Pada umumnya tingkat adsorpsi akan meningkat apabila pH diturunkan.

C. Komposit

Bahan komposit berarti bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis menjadi suatu bahan yang berguna, karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984).

Bahan komposit secara umum terdiri dari penguat dan matriks. Penguat komposit pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet tetapi

lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu, penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik, umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah (Callister, 2007).

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan. komposit yang diproduksi oleh suatu instansi atau pabrik biasanya dapat diprediksi sifat mekanik dari bahan komposit berdasarkan bahan matrik dan bahan penguatnya (Callister, 2007).

Adapun beberapa sifat mekanik yang dapat diprediksi dari komposit yaitu kekuatan tarik dan kelayakan sebagai material komposit (validitas komposit). Dalam komposit kekuatan tarik dipengaruhi oleh kekuatan *interface*-nya. Dari pengujian kekuatan interface sangat sulit ditentukan karena prosesnya yang tidak sederhana. Sehingga hasil pengujian juga sangat sulit ditentukan karena adanya faktor teknis pembuatan spesimen. (Matthew, 1999).

Berdasarkan bentuk penguatnya, secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu: komposit partikel, komposit serat dan komposit lapis.

1. Komposit partikel (*particulate composites*)

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya.

2. Komposit serat (*fibrous composites*)

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Pemilihan serat atau penguat penyusun pada komposit juga harus mempertimbangkan beberapa hal salah satunya harga. Hal ini penting karena sebagai pertimbangan bila akan digunakan pada skala produksi besar.

3. Komposit lapis (*laminates composites*)

Jenis komposit ini terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Contoh komposit ini yaitu bimetal, pelapisan logam, kaca yang dilapisi, dan komposit lapis.

D. Silika

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (*silicon dioxida*) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang atau galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2) (Bragmann and Goncalves, 2006). Selain terbentuk secara alami, silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa

pada suhu 870°C dan bila pemanasan dilakukan pada suhu 1470°C dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit. Silika juga dapat dibentuk dengan mereaksikan silikon dengan oksigen atau udara pada suhu tinggi (Cotton and Wilkinson, 1989). Karakteristik silika amorf diperlihatkan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik silika amorf (Surdia dkk, 2000)

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus Molekul	SiO ₂
Berat Jenis (g/cm ³)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair (°C)	1610
Titik didih (°C)	2230
Kekerasan (Kg/mm ²)	650
Kekuatan tekuk (Mpa)	70
Kekuatan tarik (Mpa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	73 – 75
Resistivitas (m)	>1014
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur Kristal	Kristobalit, Tridimit, Kuarsa

Silika atau silikon dioksida (SiO₂) adalah senyawa kimia yang terbentuk dari atom silikon dan oksigen. Karena oksigen adalah unsur yang paling melimpah di kulit bumi, sementara silikon adalah unsur kedua terbanyak, maka bentuk silika merupakan bentuk yang sangat umum ditemukan di alam. Silika banyak terdapat pada tumbuhan sebagai diatom (SiO₂ unsur Si dan O). Silika yang terakumulasi di dalam makhluk hidup, baik hewan atau tumbuhan memiliki bentuk amorf, berbeda dengan silika yang tidak berasal dari makhluk hidup seperti batuan dan debu yang memiliki struktur silika kristalin. Silikat sendiri merupakan bentuk mineral dari silika atau dengan kata lain senyawa silika yang bereaksi dengan unsur lain. Biasanya bentuk ikatannya adalah tetrahedron dan yang diikat adalah natrium, potassium, kalsium, magnesium, besi, dan aluminium (Jones, 1975).

Silika nabati dapat ditemui pada sekam padi (Dahlia dkk, 2013) dan tongkol jagung (Monalisa dkk, 2013). Silika nabati yang umumnya digunakan saat ini adalah silika sekam padi (Siriluk and Yuttapong, 2005). Dalam mendapatkan silika dari sekam padi dapat dilakukan menggunakan metode ekstraksi alkalis (Kalaphaty et al, 2000) dan metode pengabuan. Silika yang diperoleh melalui metode ekstraksi alkalis adalah berupa larutan sol dimana silika pada fase larutan adalah fase amorf atau mudah reaktif. Sedangkan, pada metode pengabuan, sekam padi dibakar pada suhu diatas 200°C selama 1 jam untuk mendapatkan arang sekam padi yang berwarna hitam (Siriluk and Yuttapong, 2005).

E. Sekam Padi

Sekam padi dan jerami merupakan limbah pertanian yang dihasilkan dalam jumlah banyak. Sekam padi dihasilkan sekitar satu per lima dari 500 juta ton produksi padi tiap tahun di dunia. 20% dari biji padi merupakan sekam dan 20% sekam setelah pembakaan akan dikonversi menjadi abu. Total 20 juta ton abu dapat diperoleh dari pembakaran tersebut (Zerbino *et al.*, 2014). Komposisi kimia sekam padi dapat dilihat pada **tabel 2** berikut.

Tabel 2. Komposisi kimia sekam padi
(Ram Prasad and Monika Pandey, 2012)

Constituent	Content (wt %)
Organic material and moisture	73.87
Al ₂ O ₃	1.23
Fe ₂ O ₃	1.28
CaO	1.24
MgO	0.21
SiO ₂	22.12
MnO ₂	0.074

Di Indonesia, sekam padi biasa digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk pembakaran batu bara atau dibakar begitu saja di area penggilingan padi. Proses pembakaran tersebut menghasilkan sekam padi

berupa abu sekam padi yang sekarang ini belum banyak dimanfaatkan selain untuk keperluan abu gosok (Soeswanto dan Lintang, 2011). Abu sekam padi merupakan material berpori. Reaktivitas dan ukuran partikel abu sekam padi tergantung dengan keadaan pembakaran dan penggilingan ketika diproduksi. Secara umum, rata-rata ukuran partikel yaitu dari 5 sampai 10 μm , dan kisaran luas permukaan spesifik yaitu dari 20 hingga 50 m^2/g (Zerbino *et al.*, 2014).

F. Arang Aktif

Menurut Hendra (2006), arang aktif adalah arang yang konfigurasi atom karbonnya dibebaskan dari ikatan dengan unsur lain, serta pori dibersihkan dari senyawa lain sehingga permukaan dan pusat aktif menjadi luas akibatnya daya adsorpsi terhadap cairan atau gas akan meningkat.

Proses aktivasi karbon merupakan hal yang penting diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Proses aktivasi yaitu suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Hendra, 2006).

Proses yang melibatkan oksidasi selektif dari bahan baku dengan udara, juga digunakan baik untuk pembuatan arang aktif sebagai penyerap uap. Bahan baku dikarbonisasi pada temperatur 400-500°C untuk mengeleminasi zat-zat yang mudah menguap. Kemudian, bahan dioksidasi dengan gas pada 800-1000°C untuk mengembangkan pori dan luas permukaan (Ami Cobb, 2012).

Pembuatan karbon aktif ini merupakan proses gabungan antara kimia dan fisika dengan perendaman dengan *activator* dan pemanasan dengan injeksi nitrogen pada suhu tinggi yang bertujuan memperbanyak pori dan membuat porositas. Proses pembuatan karbon aktif meliputi karbonisasi dan aktivasi (Gilar *et al.*, 2013). Karbonisasi dan aktivasi dapat dilakukan dengan

suhu tinggi atau tanpa penambahan garam anorganik dalam aliran suatu gas seperti uap atau karbon dioksida. Sebagai kemungkinan lain, bahan yang mengandung zat arang dapat diperlakukan dengan mengaktivasi dengan bahan kimia seperti asam posfat, atau seng klorida dan campuran dikarbonisasi pada suhu yang tinggi, diikuti dengan penghilangan bahan kimia saat aktivasi oleh pencucian dengan air (Prepared by the 37th JECFA (1990), published in FNP 52 (1992)).

Pengujian mutu arang aktif dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan arang aktif agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian mutu arang aktif meliputi kadar air, penentuan kadar abu, dan daya serap terhadap larutan seperti pada **tabel 3** berikut.

Tabel 3. Persyaratan arang aktif (SII No. 02 58-79, Anonim 1988)

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 ⁰ C	Maksimum 15%
Air	Maksimum 10 %
Abu	Maksimum 2,5 %
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan	Minimum 20%

G. Tempurung Kelapa sebagai Arang Aktif

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan arang aktif diantaranya sekam padi, serbuk kayu gergaji, tulang-belulang, dan tempurung kelapa (Asano et al. 1999). Tempurung kelapa sebagai bahan baku pembuatan arang aktif yang ketersediannya melimpah dibandingkan dengan bahan lainnya. Tempurung kelapa juga merupakan bahan terbaik karena memiliki mikropori sangat banyak, kadar abu rendah, dan kelarutan dalam air sangat tinggi (Gillar, dkk, 2013).

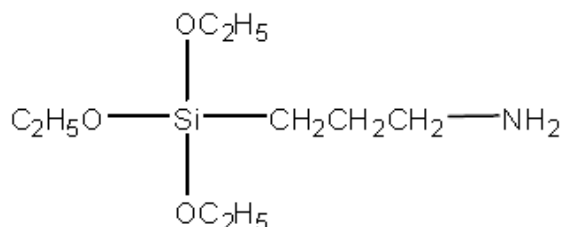
Kandungan kimia dari tempurung kelapa yaitu selulosa (34%), hemiselulosa (21%), dan lignin (27%) sedangkan komposisi unsur terdiri dari karbon (74.3%), oksigen (21.9%), silikon (0.2%), kalium (1.4%), sulfur

(0.5%), dan posfor (1.7%) (Bledzki, 2010). Perubahan komponen dan kandungan tempurung kelapa menjadi arang tempurung kelapa menghasilkan kandungan karbon yang tinggi dengan sedikit kenaikan presentase kandungan abu, menghilangkan kandungan *moisture*, dan pengurangan kandungan *volatile*. Jika dibandingkan dengan arang bahan alami lain, seperti arang batang jagung, gabah padi, dan tempurung buah coklat (12-20% karbon) (Oladeji, 2010), arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga berpotensi menjadi sumber karbon aktif (Syamsiro, 2007).

H. Agen Kopling Silan

Agen kopling silan yaitu senyawa kimia berbahan dasar silikon yang mengandung dua gugus reaktif, yaitu gugus anorganik dan gugus organik pada molekul yang sama. Struktur silan umumnya adalah Y-R-Si(OR₃). OR adalah gugus yang dapat dihidrolisis, seperti metoksi dan etoksi, Y adalah gugus fungsi organik seperti gugus amino, R merupakan gugus karbon. Agen kopling silan berperan sebagai bahan penggandeng antara substrat anorganik (keramik, logam, mineral) dan bahan organik (polimer, organik, pelapis) untuk mengikat atau menggandeng dua bahan yang berbeda secara bersamaan (Gerald, 1993).

Salah satu contoh dari senyawa silan yaitu 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES). Berikut stuktur dari APTES sebagai agen kopling silan dapat dilihat pada **gambar 2**.



Gambar 2. Struktur kimia APTES (Gerald, 1993)

Mekanisme reaksi antara silika gel dengan silan terbagi menjadi empat tahap, yaitu

1. Reaksi hidrolisis pada senyawa silan, menghasilkan gugus silanol.
2. Reaksi kondensasi pada gugus silanol dengan gugus hidroksil dari komponen mineral, menghasilkan silanol origomer.
3. Gugus silanol juga dapat berkondensasi dengan gugus silanol lainnya, menghasilkan silanol origomer.
4. Silanol origomer berikatan dengan gugus hidroksil dari substrat (silika gel), membentuk siloksan.

Berikut mekanisme reaksinya:

1. Reaksi hidrolisis pada senyawa silan



R merupakan bagian organik nonhidrolisabel yang dapat berupa alkil, aromatik, sebuah organofungsional, atau kombinasi dari salah satu kelompok-kelompok ini, sedangkan OR' adalah bagian alkoksi yang pada umumnya adalah metoksi atau etoksi yang bereaksi menghasilkan gugus hidroksil dan melepaskan alkohol.

2. Reaksi kondensasi gugus silanol dengan gugus hidroksil
3. Reaksi kondensasi gugus silanol dengan gugus silanol lainnya
4. Reaksi silanol origomer dengan gugus hidroksil

Gambar 3. Mekanisme reaksi silanol origomer sebagai agen pengkopling

(Hiroshi *et al.*, 2012)

I. Metode Sol-Gel

Metode sol-gel adalah metode dengan menggunakan proses kimia yang didasarkan pada hidrolisis dan kondensasi. Sol merupakan suatu partikel halus yang terdispersi dalam suatu fasa cair membentuk koloid sedangkan gel merupakan padatan yang tersusun dari fasa cair dan padat dimana kedua fasa ini saling terdispersi dan memiliki struktur jaringan internal. Proses sol-gel didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah. Dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinu (gel) (Brinker *et al.*,1998).

Terdapat 4 tahap proses sol-gel antara lain (Brinker *et al.*,1998):

a) Hidrolisis

Pada tahap pertama logam prekursor terhidrolisis dengan penambahan air hingga menghasilkan sol koloid. Rasio air akan meningkatkan reaksi hidrolisis yang menyebabkan reaksi berlangsung cepat sehingga waktu gelasi lebih cepat.

b) Kondensasi

Pada tahap ini proses transisi dari sol menjadi gel.

c) Pematangan (*aging*)

Setelah reaksi hidrolisis dan kondensasi dilanjutkan dengan proses pematangan gel yang terbentuk. Pada proses ini terjadi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku dan kuat.

d) Pengeringan (kalsinasi)

Pengeringan (kalsinasi) merupakan proses penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur sol-gel yang memiliki luas permukaan yang tinggi

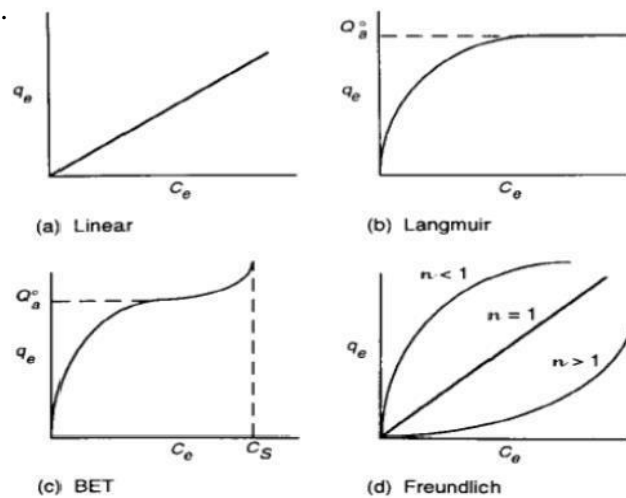
J. Metode Batch

Metode batch dilakukan pada skala laboratorium dengan mencampurkan antara media dan *solute*, juga dilakukan agitasi agar terjadi

kontak secara merata. Tujuan dari metode batch ini adalah untuk mengetahui karakteristik adsorban yang digunakan yang dinyatakan dalam koefisien-koefisien dari persamaan-persamaan yang ada. Hasil proses batch ini dapat ditampilkan dalam bentuk kurva adsorpsi isotherm. Selain bertujuan untuk membuat kurva isotherm, penelitian proses batch juga dapat digunakan untuk mengukur efisiensi removal yang terjadi setelah menghasilkan proses adsorpsi berlangsung secara batch (Raditya *et al.*,2010).

K. Isotherm Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi dapat dinyatakan dalam bentuk isotherm adsorpsi, yaitu suatu keadaan kesetimbangan yang menunjukkan tidak terjadi perubahan konsentrasi adsorbat pada permukaan adsorben. Model isotherm adsorpsi yang sering digunakan adalah isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.



Gambar 4. Grafik isotherm adsorpsi

Model isotherm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa permukaan adsorben terdiri atas situs adsorpsi di mana semua adsorbat hanya teradsorpsi pada situs aktif dan tidak terjadi interaksi antar adsorbat, sehingga yang terbentuk adalah lapisan adsorpsi monomolekuler dimana jumlah molekul yang teradsorpsi tidak akan melebihi jumlah situs aktif. Pada proses adsorpsi yang terjadi dalam sistem larutan, bentuk persamaan

isoterm Langmuir adalah :

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{Kq_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$$

Dimana,

q_{max} : Adsorpsi maksimum pada permukaan monolayer (mg/g)

C_e : Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)

q : Banyaknya adsorbat yang teradsorpsi perberat adsorben (mg/g)

K : Konstanta Langmuir

Kurva hubungan antara C_e/q dan C_e akan menunjukkan linieritas. Konstanta kesetimbangan (b) dan kapasitas adsorpsi maksimum (q_{maks}) dapat ditentukan dari intersep dan slop.

Sedangkan model isotherm Freudlinch mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen. Pada proses adsorpsi dalam sistem larutan, bentuk persamaan isotherm Freudlinch adalah :

$$\ln q = \ln K + \frac{1}{n} \ln C$$

Dimana,

q : Banyaknya adsorbat yang teradsorpsi pergram adsorben

C : Konsentrasi Adsorbat Pada Kesetimbangan (mg/L)

K : Konstanta Kapasitas Adsorpsi Freulinch (mg/g)

n : Konstanta Intensitas Adsorpsi

Untuk perhitungan K dan n , dapat diperoleh melalui persamaan logaritmanya dengan menentukan q sebagai fungsi C dan membuat kurva linieritas $\ln q$ terhadap $\ln C$, maka nilai n dan K dapat ditentukan dari slop dan intersep.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta dengan waktu penelitian dari Januari 2016– Juli 2017.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang meliputi beberapa tahapan, yaitu sintesis silika gel dari sekam padi dan karakterisasi dengan FTIR dan SEM-EDX, karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa dengan SAA (*Surface Area Analyzer*), sintesis komposit silika gel-APTES-karbon aktif dan karakterisasi dengan FTIR, SEM-EDX, dan SSA, uji adsorpsi silika gel, karbon aktif, dan komposit silika gel termodifikasi APTES – karbon aktif terhadap logam Cd(II) serta karakterisasi dengan AAS, dan penentuan model isoterm adsorpsi logam Cd(II) dengan komposit silika gel termodifikasi APTES – karbon aktif.

1. Alat dan Bahan

- Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: neraca analitis (OHAUS Explorer), spatula, tabung *sentrifuge*, lumpang dan alu, cawan pengabuan, cawan penguap, alat gelas (Pyrex), yaitu batang pengaduk; cawan arloji; gelas ukur 50 mL; gelas ukur 100 mL ; gelas kimia 100 mL, 250 mL, 500 mL, 1000 mL, dan 2000 mL; erlenmeyer 250 mL; corong kaca; pipet gondok 25 mL; 10 mL; 5 mL; 2 mL dan 1 mL; pipet ukur 1 mL; pipet tetes; labu alas bulat 500 mL; dan alat refluks lengkap (pyrex), alat buchner lengkap, oven (memmert), furnace (Thermolyne), hotplate magnetic stirrer, pH meter, ring, statif, dan klem. Alat-alat yang digunakan untuk karakterisasi antara lain spektroskopi serapan stom (AAS), *scanning electron microscopy*

(SEM), *fourier transform infrared* (FTIR), dan *surface area analyzer* (SAA).

- **Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: sekam padi, tempurung kelapa, aqua DM, larutan HCl, larutan NaOH, larutan CdSO₄, methanol, dan 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES).

2. Prosedur Penelitian

Beberapa tahap prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain sintesis silika gel dari sekam padi dan karakterisasi dengan FTIR dan SEM-EDX, sintesis komposit silika gel termodifikasi APTES – karbon aktif dan karakterisasi dengan SAA, FTIR, dan SEM-EDX, uji adsorpsi silika gel, karbon aktif, dan komposit silika gel–APTES–karbon aktif berdasarkan pH dan waktu kontak optimum serta penentuan isotherm adsorpsi komposit terhadap logam Cd(II).

1. Sintesis Silika Gel dari Sekam Padi

Pada prosedur ini terdapat dua tahapan yang digunakan untuk menghasilkan silika gel, yaitu pencucian abu sekam padi dengan larutan asam dan ekstraksi silika dari larutan alkali (Kalapathy, 2000). Kedua tahapan ini dijadikan satu dalam bagan kerja sintesis silika gel dari sekam padi.

Pada awalnya abu sekam padi diabukan dengan alat *furnace* pada suhu 500°C selama 6 jam. Kemudian 10 gram sampel abu sekam padi ditambah akuades sebanyak 60 mL dan ditetaskan HCl 1M dan 6M sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai pH larutan 1. Disperse ini kemudian direfluks selama 2 jam, disaring dengan kertas Whaman No. 41, kemudian residu abu sekam padi (ASK) dicuci dengan 100 mL aqua DM. Residu ini digunakan untuk ekstraksi silika.

Residu ASK yang sudah dicuci dengan asam kemudian ditambahkan 1M larutan NaOH 60 mL dalam labu alas bulat dan direfluks selama 1 jam untuk membuat natrium silikat. Kemudian

larutan disaring melalui kertas saring Whatman No.41 dan residu karbon dicuci dengan 100 mL air mendidih. Filtrat dan hasil cucian didinginkan dalam suhu kamar dan dititrasi 1N HCl dengan buret sambil diaduk secara konstan hingga mencapai pH 7. Ketika mencapai pH 7, larutan akan berubah menjadi silika gel. Silika gel yang terbentuk harus didiamkan dalam waktu 18 jam.

Gel yang sudah didiamkan ditambahkan aqua DM untuk dicuci agar unsur Cl dapat hilang dari gel. Pencucian dilakukan dengan mencampurkan gel dengan aqua DM dalam gelas kimia dan diaduk dengan magnetic stirrer ± 10 menit. Kemudian disaring dan diambil gelnya untuk dicuci kembali hingga bebas dari ion Cl. Uji kualitatif ion Cl filtrat dapat diuji dengan 2-3 tetes larutan perak nitrat 0,1 M. Jika dalam filtrat terdapat endapan putih maka silika gel masih mengandung ion Cl. Ulangi penambahan aqua DM jika masih terdapat ion Cl.

Kemudian gel *disentrifuge* selama 15 menit pada 2500 rpm, supernatannya dibuang untuk membantu menghilangkan air dalam gel. Gel dipindahkan ke dalam cawan penguap dan dikeringkan pada 100°C selama ± 12 jam hingga gel menjadi bubuk. Silika gel lalu diletakkan dalam wadah tertutup dan ditimbang beratnya.

Silika gel yang sudah jadi dianalisis dengan EDX dan FTIR. EDX digunakan untuk mengetahui kandungan atau komposisi silika dari molekul sampel dan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada panjang gelombang tertentu dalam silika gel.

3. Karakterisasi Karbon Aktif dengan SAA (Surface Area Analyzer)

Karbon aktif dari tempurung kelapa dikarakterisasi dengan SAA untuk mengetahui luas permukaan adsorben.

4. Sintesis Adsorben Komposit Silika Gel APTES-Karbon Aktif

Adsorben komposit silika gel-APTES-karbon aktif disintesis

dengan melarutkan silika gel dan APTES dalam metanol, campuran diaduk selama 30 menit. Kemudian, homogenisasi campuran menggunakan homogenizer pada 470 rpm dan selama homogenisasi, karbon aktif ditambahkan dalam campuran.

Padatan silika-karbon aktif dituang ke dalam gelas kimia dimana padatan tersebut disimpan agar menjadi hidrogel dalam 10 menit. Setelah gelas, gel didiamkan selama 1 hari. Hidrogel dicelupkan ke dalam metanol dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang agar memperkuat jaringan. Kemudian alkogel didiamkan selama 5 hari pada suhu ruang dan ditandai sebagai komposit silika-karbon aktif (SKA).

Setelah pemanasan, sampel disimpan di dalam oven pada suhu 200°C selama 2 jam, kemudian pelarut yang terdapat di pori gel dihilangkan dan dihasilkan komposit. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR, SEM, dan isoterm adsorpsi atau desorpsi nitrogen untuk mengetahui luas permukaan dan porositas menggunakan porosimeter, BET.

5. Uji Adsorpsi Silika Gel, Karbon Aktif dan Komposit Silika Gel - APTES–Karbon Aktif Terhadap Logam Cd (II)

Adsorpsi logam Cd(II) oleh adsorben dipelajari dengan menggunakan teknik batch. Adsorpsi dengan teknik batch dipilih karena prosesnya yang sederhana. Larutan CdSO₄ 10 mg/L ditambahkan ke dalam 0.05 gram adsorben. pH larutan yang digunakan pH 4, 5, 6, 7, 8. Waktu pencampuran bervariasi 1, 2, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 menit. Uji ini dilakukan pada suhu ruang. Uji adsorpsi dibantu dengan menggunakan *shaker* kecepatan 150 rpm selama variasi waktu yang telah ditentukan. Kemudian, supernatan dikumpulkan dan dianalisis konsentrasi kadmium dengan menggunakan alat atomic adsorption spectrofotometry (AAS).

Pengaruh dari beberapa parameter dipelajari dalam proses adsorpsi ini, seperti waktu kontak, pH, jumlah adsorben dan suhu.

Hasil yang dipelajari ini digunakan untuk mengetahui kondisi optimum terhadap pengukuran kapasitas adsorpsi. Persen hilangnya adsorbat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$(\%) = (C_0 - C_e) \times 100 / C_0$$

Dimana,

E = Banyaknya ion yang hilang

C₀ = Konsentrasi Awal

C_e = Konsentrasi Akhir

Dilakukan percobaan di atas dengan adsorben silika termodifikasi APTES dan karbon aktif.

6. **Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Logam Cd(II) dengan Komposit Silika Termodifikasi APTES-Karbon Aktif**

Penentuan isoterm adsorpsi ditentukan pada suhu ruang dengan kondisi pH dan waktu kontak optimum. Sebanyak 30 mL larutan CdSO₄ pada beberapa konsentrasi, yaitu 10, 20, 30, 40, 50 ppm ke dalam gelas kimia 250 mL. Kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan disaring dengan kertas saring dan filtratnya dianalisis menggunakan *atomic adsorption apectrofotometry* (AAS)

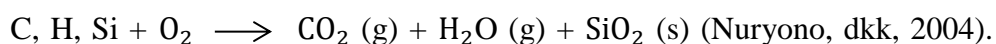
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

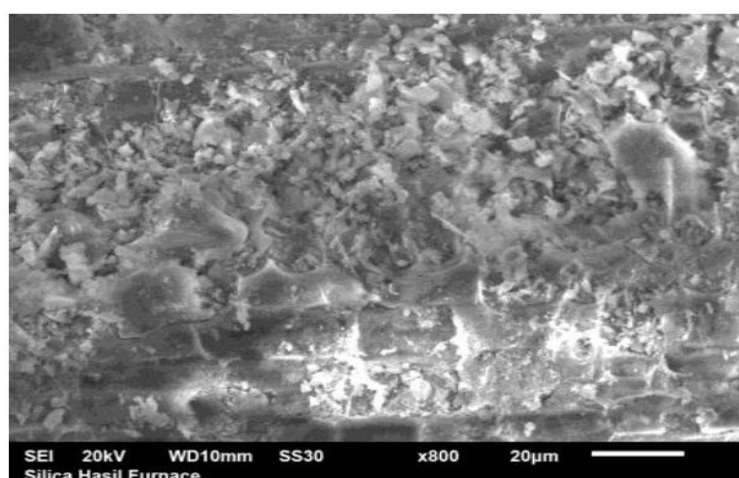
Pada bab ini, hasil dan pembahasan penelitian dibagi menjadi tiga subbab, yaitu sintesis dan karakterisasi silika gel dari sekam padi, aktivasi karbon aktif dari tempurung kelapa, sintesis dan karakterisasi komposit silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif, dan uji adsorpsi silika gel, karbon aktif, dan komposit silika gel-APTES-karbon aktif. Sampel yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan alat FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*), SAA (*Surface Area Analyzer*), dan AAS (*Atomic Adsorption Spectrofotometry*)

A. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Sekam Padi

Pada tahap ini, arang sekam padi diabukan di alat *furnace* pada suhu 500°C selama 6 jam agar melewati proses pembakaran sempurna sehingga seluruh senyawa organik seperti protein, lemak, serat, pentosa, selulosa, dan lignin terurai menjadi gas karbondioksida dan uap air. Reaksi kimia yang terjadi pada proses pengabuan arang sekam padi, yaitu :

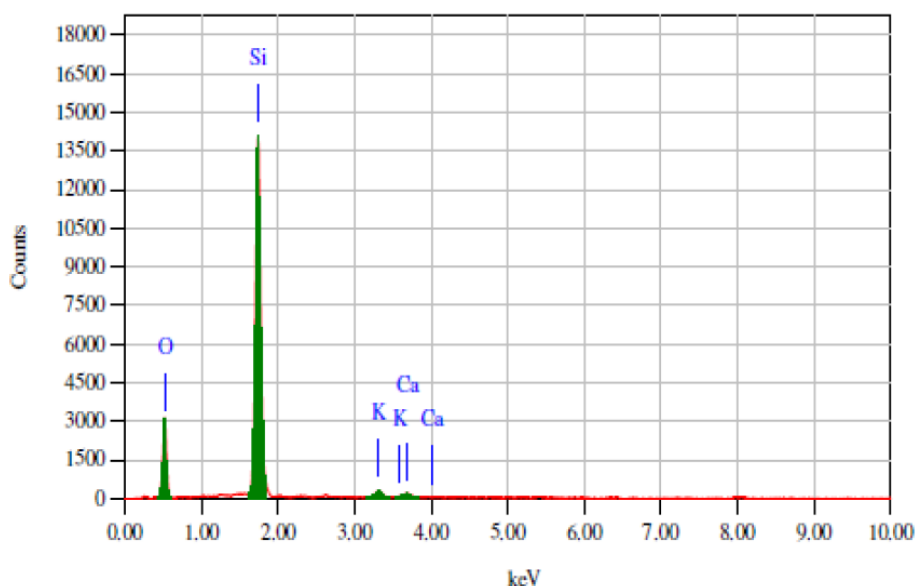


Abu sekam padi hasil *furnace* kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX. Hasil karakterisasi SEM ditunjukkan pada **gambar 5** berikut.



Gambar 5. Foto SEM silika hasil furnace

Gambar 5 menunjukkan gambar morfologi dari silika hasil *furnace* yang diperoleh dari hasil karakterisasi SEM. Berdasarkan gambar tersebut, maka dapat diketahui bahwa silika hasil *furnace* memiliki ukuran partikel berkisar 20 μ m. Hasil dari EDX menunjukkan unsur-unsur yang terkandung dalam silika hasil *furnace* dapat dilihat pada **gambar 6** dan **tabel 4**.



Gambar 6. Grafik EDX silika hasil furnace

Tabel 4. Unsur yang terkandung dalam silika hasil furnace

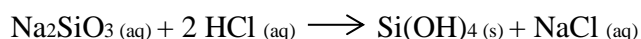
Unsur	Massa
Si	54.68 %
O	43.18 %
Ca	0.81 %
K	1.34 %

Abu sekam padi hasil *furnace* kemudian didispersikan ke dalam aqua demineralisasi (aqua DM) dan ditambahkan larutan HCl 6N hingga mencapai pH 1. Larutan HCl berfungsi untuk menghilangkan kuantitas mineral-mineral, seperti unsur K, dan Ca yang masih terkandung dalam

silika hasil furnace (Kalapathy, 2000) yang terdapat pada **tabel 4**.

Kemudian, abu sekam padi direfluks selama 2 jam untuk mempercepat reaksi pada suhu tinggi sehingga larutan HCl dapat melarutkan mineral-mineral logam pada abu sekam padi secara maksimal. Residu abu sekam padi kemudian dicuci dengan aqua DM untuk membebaskan residu dari sisa-sisa ion klorida. Kemudian, residu tersebut kemudian digunakan untuk ekstraksi silika gel. Residu ditambahkan dengan larutan NaOH 1M dan direfluks selama 1 jam untuk memperoleh larutan natrium silikat (Na_2SiO_3). Dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Scott, 1993) : $\text{SiO}_2(\text{s}) + 2\text{NaOH}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Setelah itu, filtrat kemudian ditetesi dengan HCl 1N sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* secara konstan hingga mencapai pH 7. Penambahan HCl 1N ini berfungsi untuk menurunkan pH sehingga diperoleh pH 7 (netral). Persamaan reaksi antara asam klorida dengan natrium silikat, yaitu



Sebelumnya, larutan natrium silikat dalam keadaan basa sekitar pH 12 dan pada pH 9 larutan natrium silikat mulai berbentuk gel. Silika memiliki kelarutan yang sangat rendah pada pH <10, namun pada pH >10 kelarutan silika meningkat tajam dapat dilihat pada **gambar 7** berikut.



(a)

(b)

Gambar 7. (a) larutan natrium silikat ketika pH >7

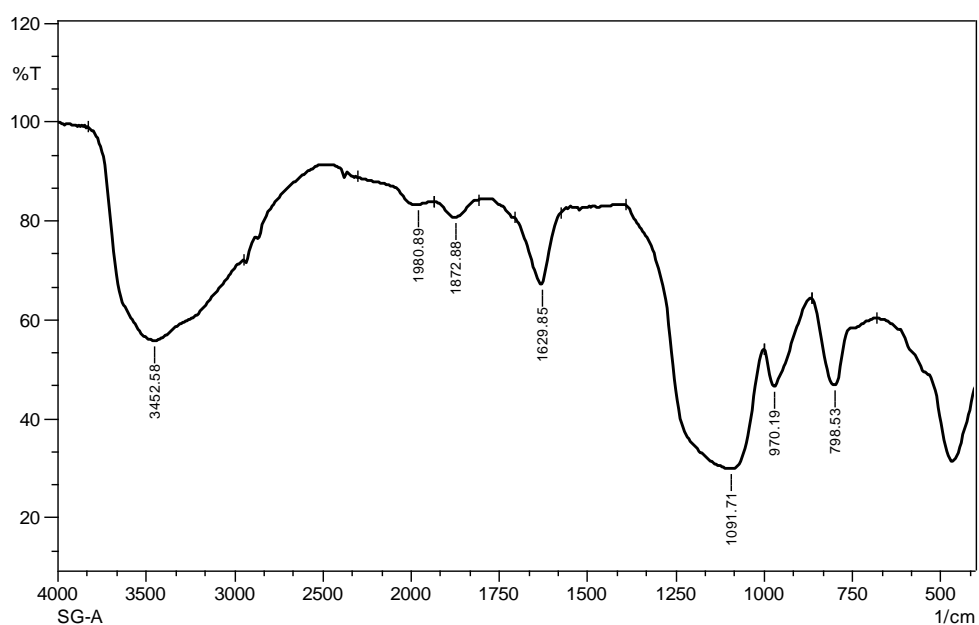
(b) larutan natrium silikat pada pH \pm 7, sampel terbentuk fase gel.

Selanjutnya, gel yang terbentuk didiamkan selama 18 jam yang kemudian dilanjutkan pencucian dengan aqua DM hingga terbebas dari ion Cl. Uji kualitatif dilakukan menggunakan larutan AgNO_3 untuk mengetahui bahwa gel sudah terbebas dari ion Cl. Filtrat pencucian yang ditetesi dengan larutan AgNO_3 akan menghasilkan endapan putih jika masih terdapat ion Cl. Endapan putih ini merupakan endapan perak klorida yang seperti dadih dan berwarna putih. Persamaan reaksi uji ion Cl sebagai berikut.



Silika gel yang dihasilkan dibagi sebagian untuk karakterisasi, sebagian lagi untuk proses pembuatan komposit. Residu silika gel untuk karakterisasi kemudian dikeringkan dengan dipanaskan pada suhu 100°C selama 12 jam. Silika gel yang telah kering kemudian dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscopy-Electron Diffraction X-Rays (SEM-EDX)*.

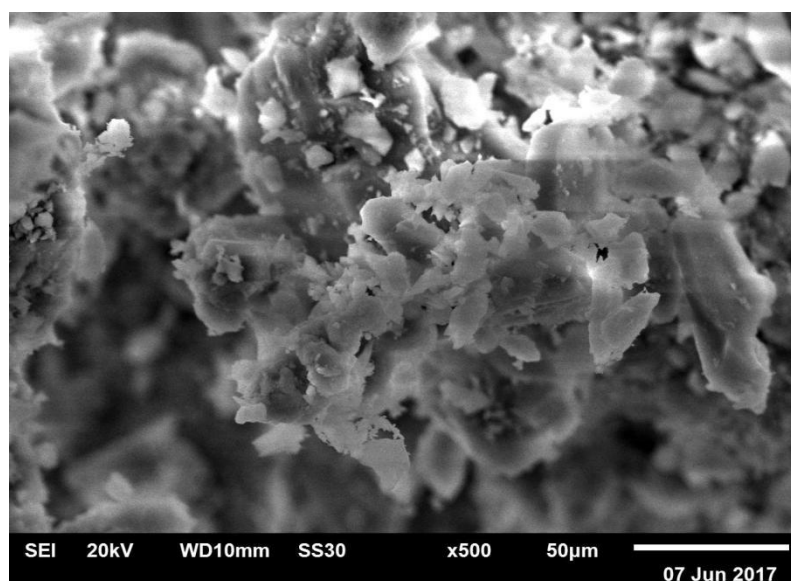
Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel hasil sintesis. Hasil spektrum FTIR silika gel dari sekam padi pada **gambar 8** sebagai berikut.



Gambar 8. Spektrum FTIR silika gel hasil sintesis

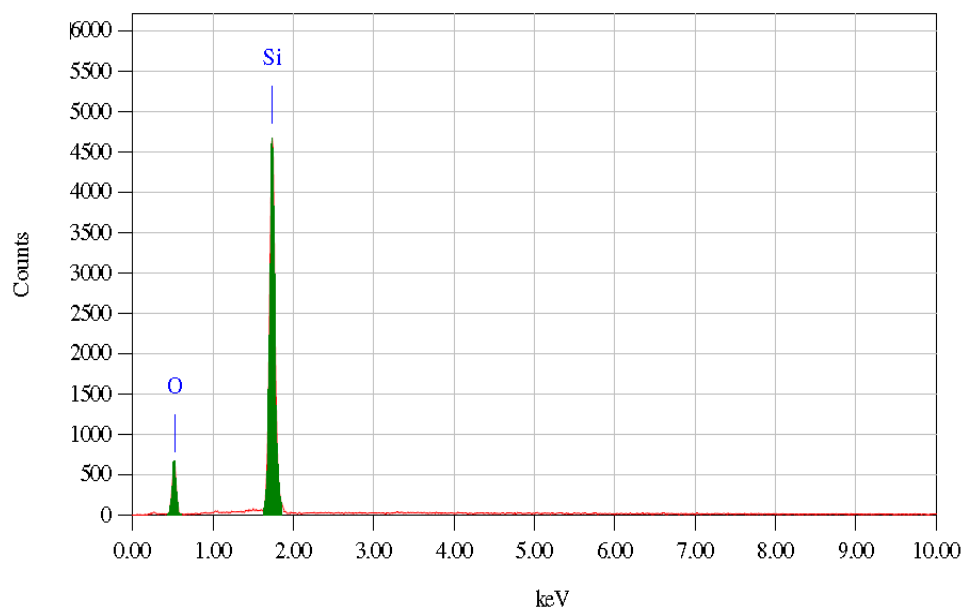
Berdasarkan **gambar 8**, adanya pita serapan lebar pada bilangan gelombang 3452.58 cm^{-1} diduga merupakan gugus -OH . Pita serapan pada 1629.85 cm^{-1} diduga merupakan vibrasi dari molekul air yang terikat. Pita serapan yang kuat pada bilangan gelombang 1091.71 cm^{-1} diduga merupakan ikatan Si-O . Kemudian, pita serapan pada 970.19 cm^{-1} diduga merupakan ikatan Si-O . Pita serapan pada panjang gelombang 798.53 cm^{-1} diduga merupakan ikatan Si-O . Sedangkan, pita serapan pada bilangan gelombang di bawah 500 cm^{-1} diduga merupakan ikatan vibrasi tekuk dari gugus siloksan (Si-O-Si) mengacu pada penelitian Silverstein, et al (1991). Kesimpulan dari hasil spektrum FTIR silika gel hasil sintesis yaitu menunjukkan adanya gugus fungsi -OH , ikatan Si-O yang diduga berasal dari Si-OH (silanol) dan Si-O-Si (siloksan) yang membantu mengidentifikasi komposisi unsur yang terdapat pada molekul silika gel hasil sintesis.

Setelah silika gel hasil sintesis sekam padi dikarakterisasi dengan FTIR, silika gel tersebut dikarakterisasi dengan alat SEM-EDX yang bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi, ukuran partikel, dan unsur penyusunnya. Hasil karakterisasi dengan SEM pada **gambar 9** berikut.



Gambar 9. Foto SEM silika gel hasil sintesis

Berdasarkan **gambar 9** diperoleh informasi ukuran partikel silika sekam padi berkisar 50 μ m. Kemudian dilakukan analisis EDX untuk mengetahui komponen kimia penyusun material. Hasil analisis EDX pada silika gel sekam padi ditampilkan pada **gambar 10** berikut.



Gambar 10. Grafik EDX silika gel hasil sintesis

Tabel 5. Kandungan unsur pada silika gel hasil sintesis

Unsur	Massa
Silikon (Si)	53.13%
Oksigen (O)	46,87%

Berdasarkan hasil analisis EDX **gambar 10** dan **tabel 5** dapat diketahui bahwa sampel silika gel mengandung unsur Silikon (Si) dan Oksigen (O). Kedua unsur tersebut merupakan unsur penyusun silika gel (SiO_2). Dengan demikian unsur penyusun silika (SiO_2) memiliki persentase masing-masing unsur yaitu unsur Si (53.13%) dan unsur O (46.87%).

B. Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

Aktivasi karbon aktif dari tempurung kelapa bertujuan untuk memperbesar pori dengan cara memutuskan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul – molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat fisika dan kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Caturla,1991). Tahap aktivasi merupakan tahap yang dilakukan saat serbuk karbon dari tempurung kelapa diberikan perlakuan tertentu, baik secara fisika ataupun kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara gassifikasi, yaitu dengan memperlakukan sampel karbon pada tekanan dan suhu termal yang tinggi, sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara merendam karbon hasil pirolisis ke dalam larutan $ZnCl_2$ (Mohanty., *et al.* 2005).

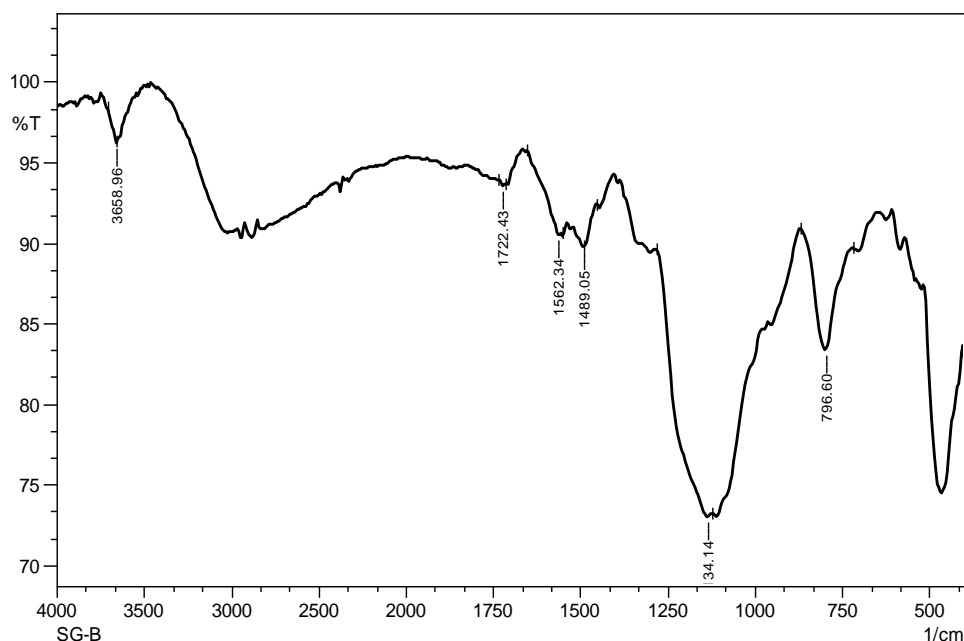
Sampel tempurung kelapa direndam dengan larutan $ZnCl_2$ selama 24 jam pada suhu ruang. Larutan $ZnCl_2$ berperan penting dalam aktivasi karbon yaitu dapat meningkatkan daya adsorpsi dengan melarutkan zat pengotor yang berupa zat organik maupun anorganik yang kemudian lepas dari permukaan pori-pori karbon sehingga menyebabkan peningkatan daya serap karbon (Jankowska, 1991). Kemudian, karbon aktif disaring dan dicuci dengan aqua DM hingga pH karbon aktif 7. Hal ini dilakukan agar sisa residu organik, mineral, kontaminan, sisa – sisa logam yang tertinggal di dalam rongga pori karbon tidak tertinggal. Selanjutnya, karbon aktif tersebut disaring dan diabukan dengan *furnace* selama 2 jam pada suhu $300^{\circ}C$. Pembuatan karbon aktif ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Siti J, 2014).

Karbon aktif tersebut kemudian dikarakterisasi dengan alat *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mengukur luas permukaan karbon aktif teraktivasi tersebut. Berdasarkan hasil karakterisasi karbon aktif dengan metode BET dengan alat SAA, dihasilkan luas permukaan BET karbon aktif sebesar $268.6895\text{ m}^2/\text{g}$.

C. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif

Tahap ini bertujuan untuk membuat suatu komposit dari silika gel termodifikasi 3-aminopropiltriethoxysilan (APTES) yang berasal dari sekam padi dengan karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa. Penelitian ini mengacu pada penelitian Givianrad,*et.al* (2011). Silika gel hasil sintesis dicampurkan dengan metanol, kemudian APTES ditambahkan. Campuran tersebut diaduk selama 30 menit. Kemudian, campuran tersebut dihomogenisasi dengan alat *homogenizer* dan karbon aktif dimasukkan.

Setelah campuran silika gel-APTES-karbon aktif terbentuk, campuran tersebut dituangkan ke dalam gelas kimia. Kemudian campuran tersebut didiamkan selama 7 hari pada suhu ruang. Setelah itu, gel yang telah terbentuk disaring menggunakan kertas whatman 41 dan dikeringkan pada suhu 200°C selama 1 jam dengan oven. Padatan komposit yang telah terbentuk kemudian dikarakterisasi kembali dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy-Electron*



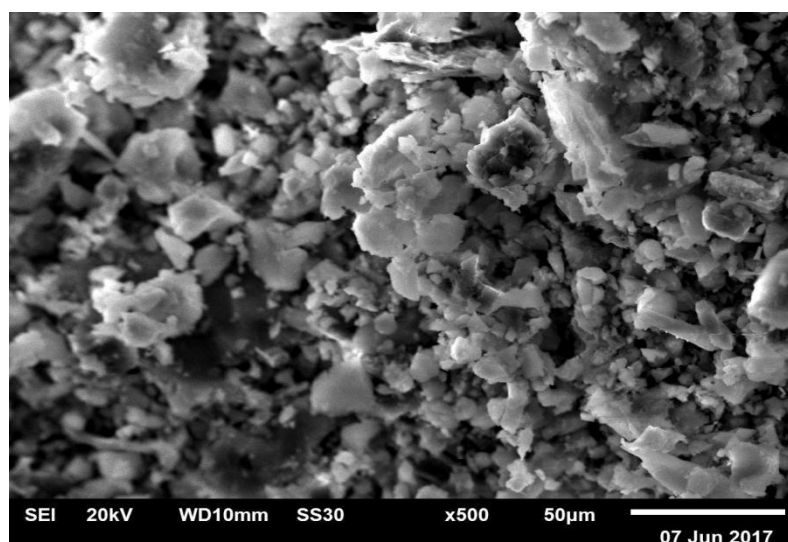
Diffraction X-Rays (SEM-EDX) dan *Surface Area, Analyzer (SAA)*.

Gambar 11. Spektrum FTIR sintesis komposit silika gel – APTES – karbon

aktif hasil sintesis

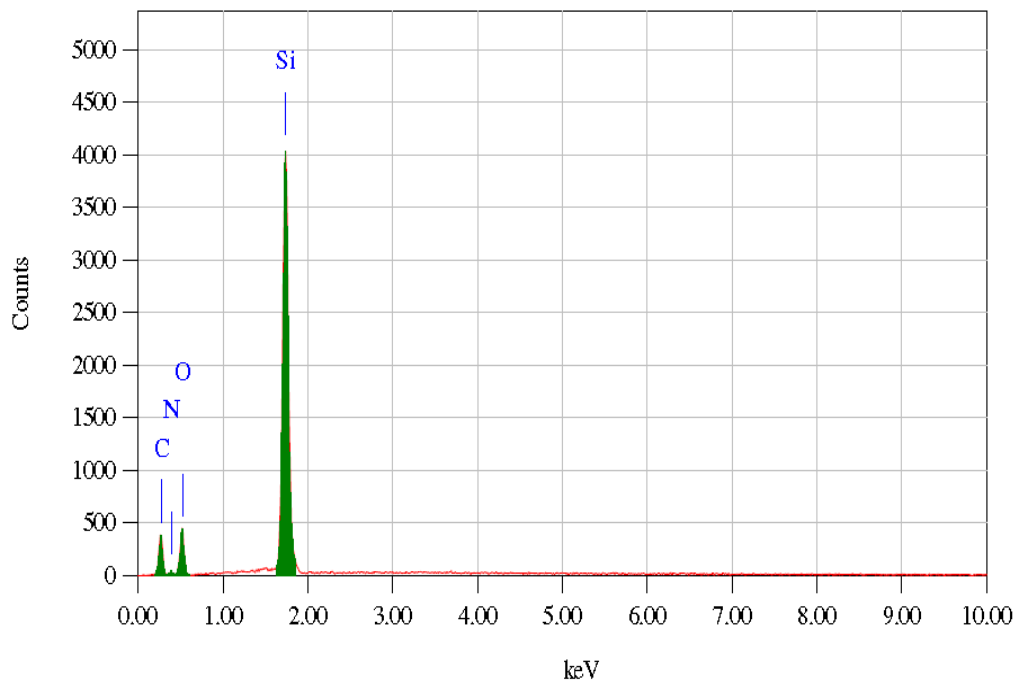
Gambar 11 menunjukkan spektrum FTIR yang dilakukan pada sampel sintesis komposit modifikasi silika gel termodifikasi APTES-karbon aktif. Pada **gambar 11** terdapat puncak kecil pita serapan pada panjang gelombang antara 2900 cm^{-1} dan 1562.34 cm^{-1} yang diduga menunjukkan adanya ikatan C-H dalam sampel, sedangkan puncak pita serapan kecil yang terlihat pada gelombang 3658.96 diduga menunjukkan adanya ikatan N-H, dan pada gelombang 1489.05 diduga menunjukkan vibrasi dari molekul air yang terikat. Selanjutnya, pita serapan yang kuat terdapat pada bilangan gelombang 1134.14 cm^{-1} diduga menunjukkan adanya ikatan Si-O, lalu pada bilangan gelombang 796.60 cm^{-1} juga diduga merupakan ikatan Si-O, dan bilangan gelombang di bawah 500 cm^{-1} diduga menunjukkan adanya vibrasi dari siloksan (Si-O-Si) mengacu pada hasil spectrum FTIR komposit silika gel-karbon aktif pada penelitian Giviandrad, *et al.* (2013). Kesimpulan dari hasil spektrum FTIR komposit hasil sintesis yaitu menunjukkan adanya gugus fungsi N-H, ikatan C-H, ikatan Si-O yang diduga berasal dari Si-OH (silanol) dan Si-O-Si (siloksan) yang membantu mengidentifikasi komposisi unsur yang terdapat pada molekul komposit hasil sintesis.

Setelah komposit hasil sintesis sekam padi dikarakterisasi dengan FTIR, silika gel tersebut dikarakterisasi dengan alat SEM-EDX. Hasil karakterisasi dengan SEM sebagai berikut.



Gambar 12. Foto SEM komposit hasil sintesis

Berdasarkan **gambar 12** tersebut diperoleh informasi ukuran partikel silika sekam padi berkisar 50 μ m. Kemudian dilakukan analisis EDX untuk mengetahui komponen kimia penyusun material. Hasil analisis EDX pada silika gel sekam padi ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 13. Foto EDX komposit hasil sintesis

Tabel 6. Kandungan unsur pada komposit hasil sintesis

Unsur	Massa (%)
Karbon (C)	32.92
Nitrogen (N)	25.88
Oksigen (O)	26.04
Silikon (Si)	15.16

Berdasarkan hasil analisis EDX **gambar 15** dan **tabel 6**, komponen unsur kimia yang terdapat pada silika gel bertambah dari yang semula hanya

dua komponen, yaitu Si dan O. Sedangkan, setelah silika gel dimodifikasi dengan APTES dan karbon aktif membentuk komposit komponennya menjadi Si, O, N, C. Unsur Silikon (Si) dan Oksigen (O) dapat diketahui berasal dari Silika Gel hasil sintesis (SiO_2). Unsur nitrogen (N) berasal dari senyawa APTES, dan unsur Carbon (C) dapat diduga berasal dari 2 senyawa, yakni dari APTES yang digunakan ataupun dari kandungan karbon aktif teraktivasi.

Kemudian, komposit dikarakterisasi dengan alat SAA menggunakan metode BET, dan didapatkan luas permukaan BET komposit 221.3482 m^2/g . Hasil luas permukaan dari masing-masing sampel adsorben hasil sintesis silika gel, karbon aktif teraktivasi, dan komposit silika gel - APTES-karbon aktif.

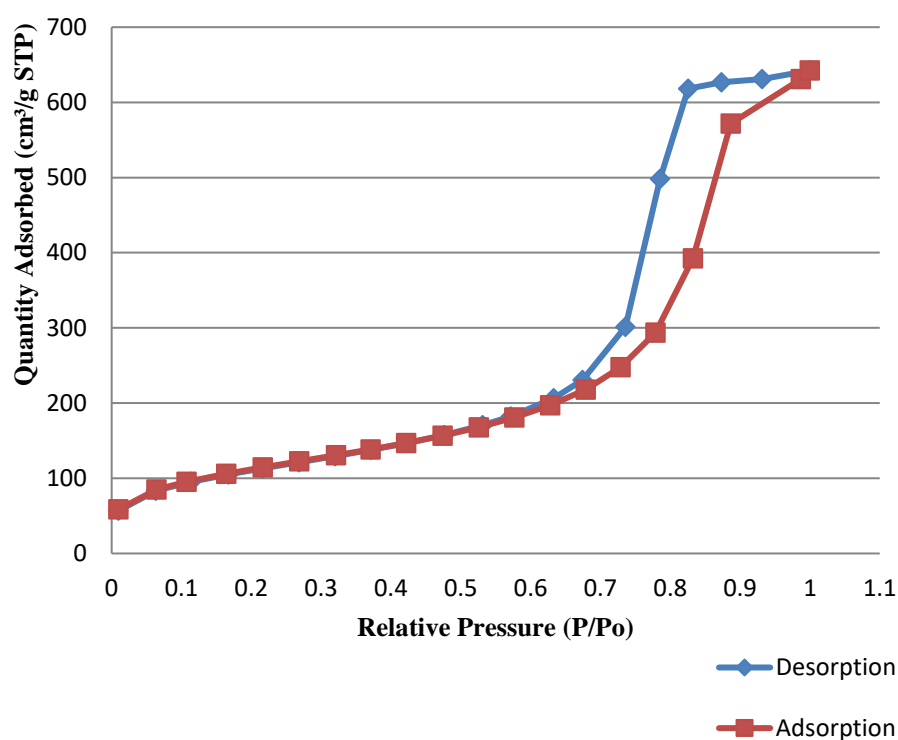
Tabel 7. Hasil karakterisasi SAA adsorben hasil sintesis

Sampel	$S_{bet}(\text{m}^2/\text{g})$	$S_{mic}(\text{m}^2/\text{g})$	$S_{eks}(\text{m}^2/\text{g})$
Silika Gel	403.2144	13.7166	389.4979
Karbon Aktif	268.6895	225.9836	42.7059
Komposit	221.3482	83.0318	138.3164

Tabel 7 menunjukkan nilai luas permukaan BET (S_{BET}), luas permukaan pori mikro (S_{mic}), dan luas permukaan eksternal (S_{eks}). Sampel silika gel dan komposit memiliki luas permukaan total masing-masing sebesar 403.2144 m^2/g dan 221,3482 m^2/g dengan luas permukaan pori mikro hanya sebesar 13.7166 m^2/g dan 83.0318 m^2/g nilainya lebih kecil jika dibandingkan dengan luas permukaan eksternalnya. Hal ini menandakan bahwa sampel silika gel dan komposit bukan merupakan material berpori mikro. Sampel karbon aktif teraktivasi memiliki luas permukaan total 268.6895 m^2/g dengan luas permukaan pori mikro sebesar 225.9836 m^2/g . Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan pori mikro

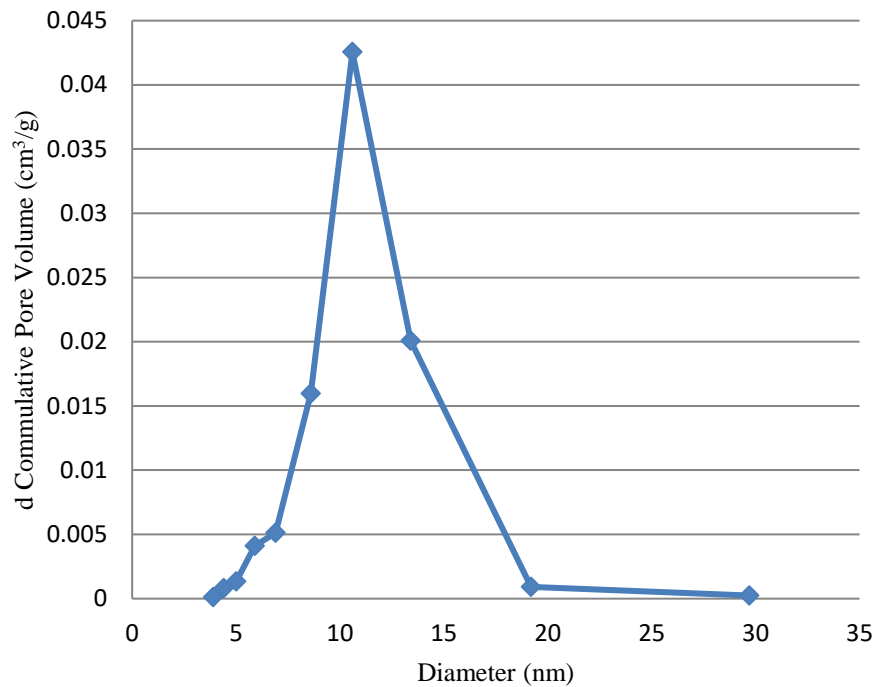
pada sampel karbon aktif teraktivasi lebih berperan pada proses adsorpsi-desorpsi gas nitrogen dibandingkan luas permukaan eksternalnya.

Isotherm Linear Plot



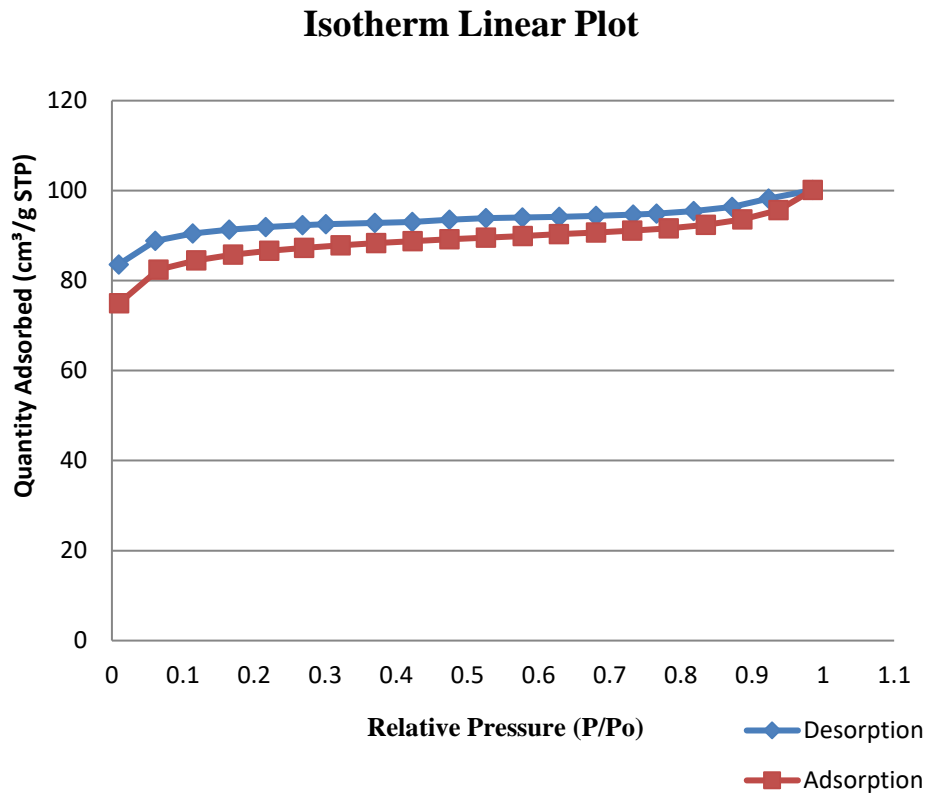
Gambar 14. Kurva Isotherm adsorpsi-desorpsi silika gel hasil sintesis

Gambar 14 menunjukkan pola adsorpsi-desorpsi dari silika gel hasil sintesis yang menunjukkan pola isotherm tipe IV. Jenis tipe IV menunjukkan nilai rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Tipe kurva ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran mesopori (2-50 nm) yang dikonfirmasi oleh grafik BJH adsorpsi-desorpsi pada **gambar 15**.



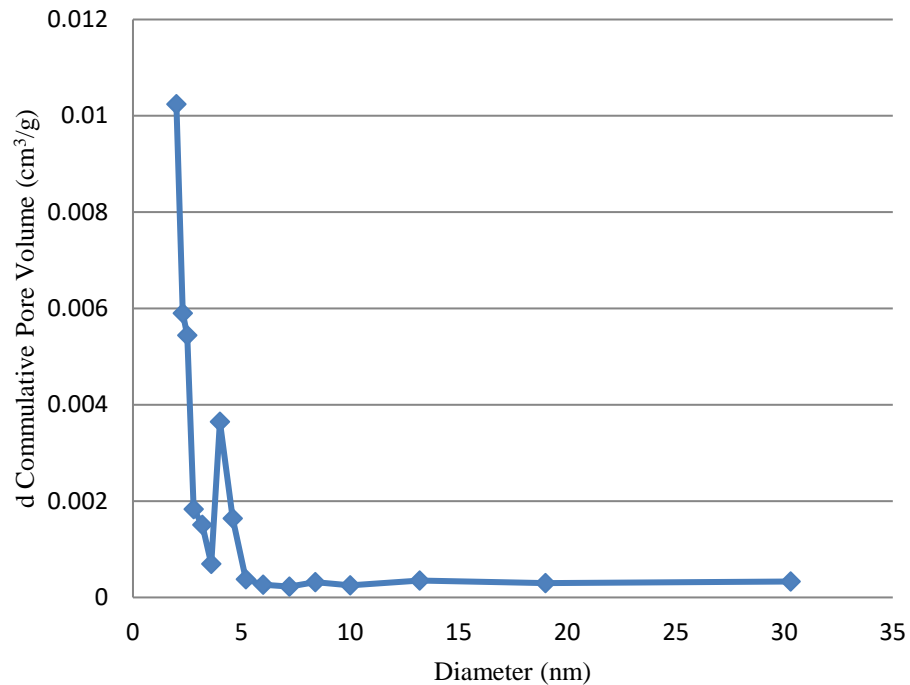
Gambar 15. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi dari sampel silika gel hasil sintesis

Gambar 15 menunjukkan grafik pola BJH adsorpsi-desorpsi distribusi pori dari sampel silika gel hasil sintesis. Pori utama sampel silika gel diduga mesopori karena puncak berada pada 10.6 nm yang menunjukkan nilai antara 2-50 nm yang masuk dalam kategori mesopori.



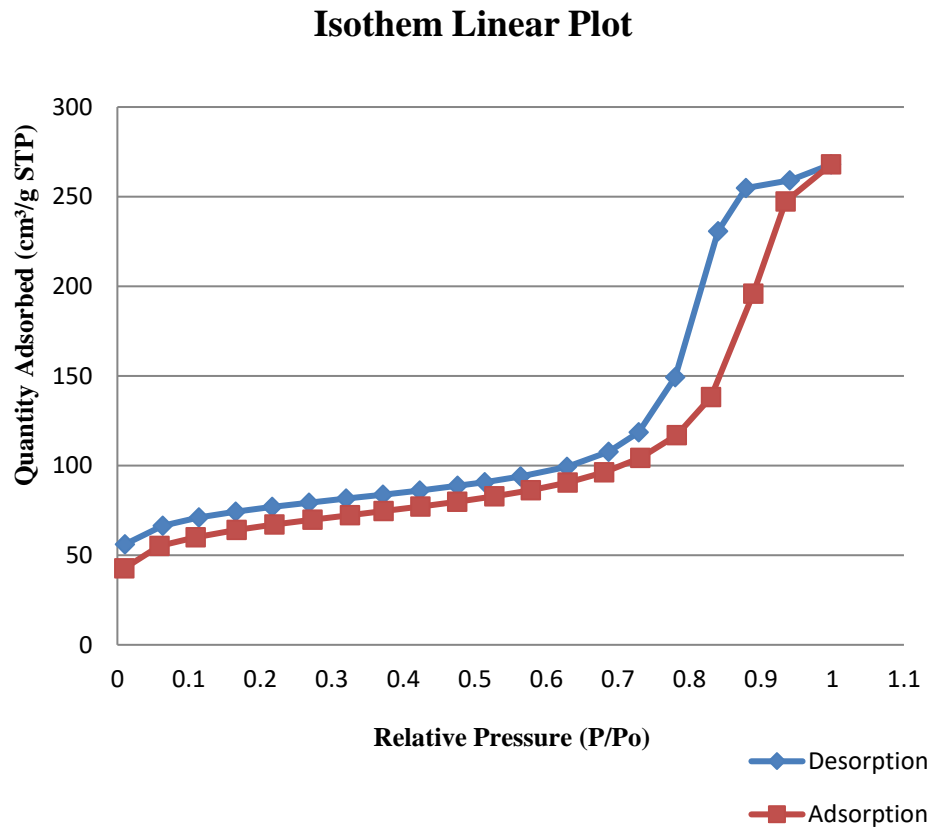
Gambar 16. Kurva Isoterm adsorpsi-desorpsi karbon aktif

Gambar 16 menunjukkan pola adsorpsi-desorpsi dari karbon aktif tempurung kelapa yang menunjukkan pola isoterm tipe IV. Jenis tipe IV menunjukkan nilai rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Tipe kurva ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran mesopori (2-50 nm) yang dikonfirmasi oleh grafik BJH adsorpsi-desorpsi pada **gambar 17**.



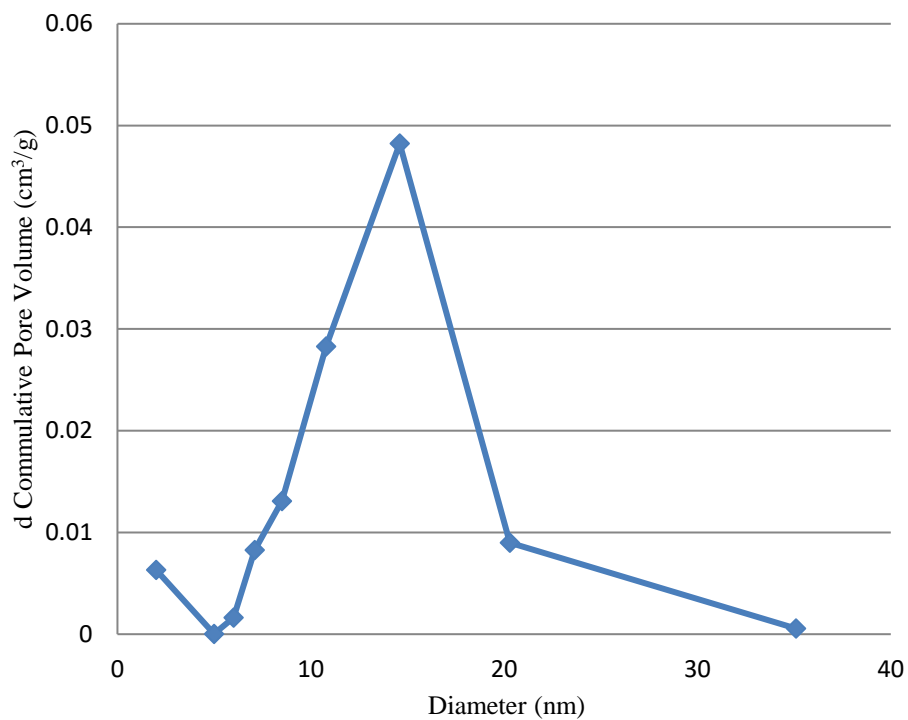
Gambar 17. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi dari sampel karbon aktif teraktivasi

Gambar 17 menunjukkan grafik pola BJH adsorpsi-desorpsi distribusi pori dari sampel karbon aktif teraktivasi diduga pori utama yaitu mesopori karena puncak berada pada 4 nm yang menunjukkan nilai antara 2-50 nm yang masuk dalam kategori mesopori.



Gambar 18. Kurva Isoterm adsorpsi-desorpsi komposit hasil sintesis

Gambar 18 menunjukkan pola adsorpsi-desorpsi dari komposit hasil sintesis yang menunjukkan pola isoterm tipe IV. Jenis tipe IV menunjukkan nilai rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Tipe kurva ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran mesopore (2-50 nm) yang dikonfirmasi oleh grafik BJH adsorpsi-desorpsi pada **gambar 19**.



Gambar 19. Grafik distribusi pori dengan metode BJH adsorpsi-desorpsi dari sampel komposit hasil sintesis

Gambar 19 menunjukkan grafik pola BJH adsorpsi-desorpsi distribusi pori dari sampel komposit pada ukuran diduga pori utama yaitu mesopori karena puncak berada pada 14.6 nm yang menunjukkan antara 2-50 nm yang masuk dalam kategori mesopori.

D. Uji Adsorpsi Silika Gel, Karbon Aktif, dan Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif terhadap Logam Cd(II)

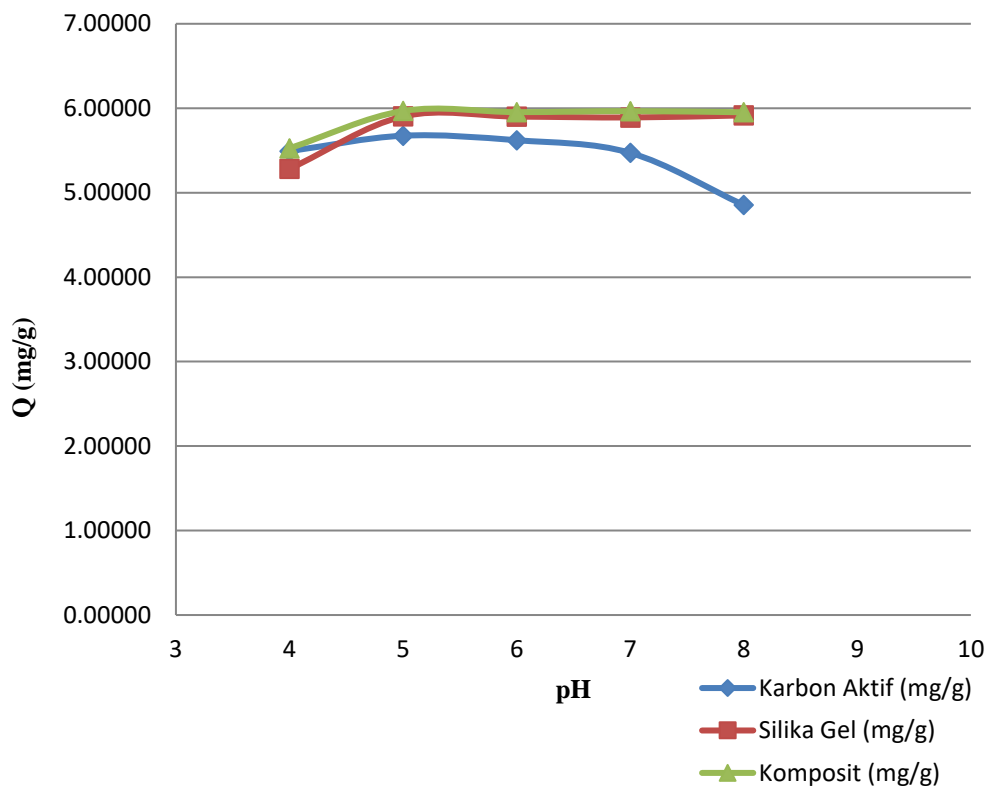
Uji adsorpsi dilakukan pada tiap adsorben hasil sintesis, yaitu uji adsorpsi pada silika gel, karbon aktif teraktivasi, dan komposit silika gel-APTES-karbon aktif. Hal ini bertujuan untuk menguji kemampuan masing-masing adsorben mengadsorpsi logam Cd(II) dalam medium air pada keadaan optimum dua variabel, yaitu pH dan waktu kontak untuk ditentukan model isoterm adsorpsi yang sesuai pada proses adsorpsi logam Cd(II). Selain itu, pada tahap ini dapat ditentukan kualitas adsorpsi yang paling baik dari masing-masing adsorben. Hasil uji adsorpsi kemudian dianalisis dengan alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) yang berfungsi untuk menganalisis konsentrasi larutan logam Cd(II) setelah diadsorpsi dengan adsorben hasil sintesis. Uji adsorpsi dilakukan dengan menggunakan logam Cd (II). Logam Cd(II) ini diperoleh dari larutan $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch*.

Beberapa tahapan analisis AAS, yaitu larutan standar Cd disiapkan, pembacaan adsorbansi larutan standar, pembacaan adsorbansi larutan sampel, dan menginterpolasi adsorbansi larutan sampel pada kurva linier larutan standar

1. Penentuan pH Optimum Logam Cd(II) dengan Adsorben Hasil Sintesis Silika Gel, Karbon Aktif Teraktivasi, dan Komposit Silika Gel Termodifikasi APTES-Karbon Aktif

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui kondisi pH optimum dari setiap adsorben hasil sintesis terhadap logam Cd(II). Tingkat keasaman atau pH larutan berperan penting terhadap proses adsorpsi dan khususnya terhadap kapasitas permukaan adsorpsi secara keseluruhan. pH dapat mempengaruhi muatan gugus-gugus fungsional dari permukaan adsorben yang berperan aktif dalam proses penyerapan logam berat (Giviandrad,

2013). Hasil uji adsorpsi ditunjukkan pada **gambar 17** berikut.

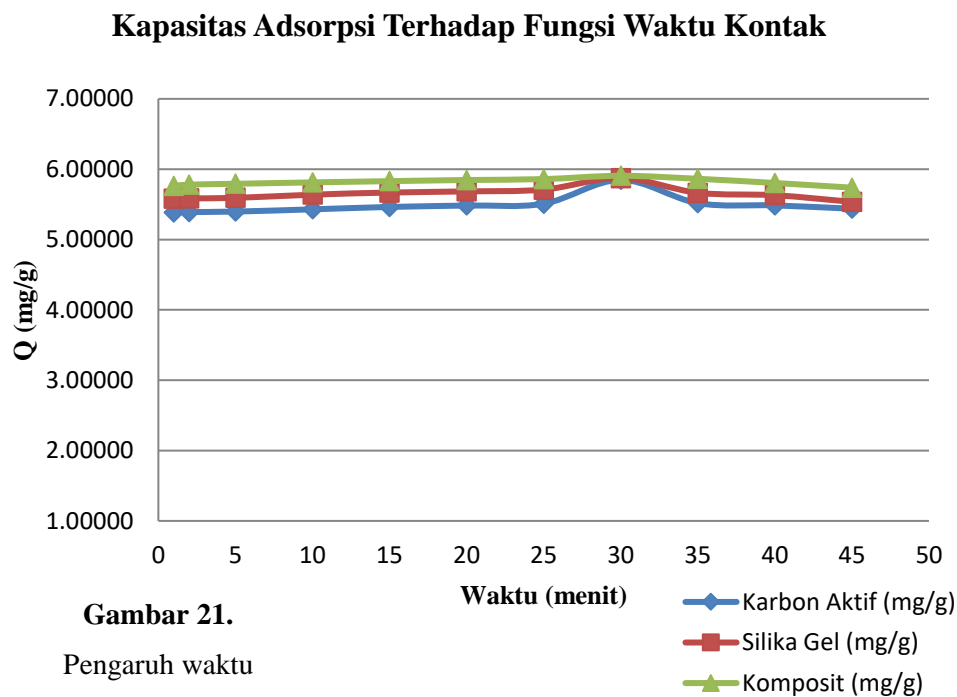


Gambar 20. Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd(II) oleh adsorben hasil sintesis

Berdasarkan **gambar 20**, kapasitas adsorpsi adsorben silika gel, karbon aktif, dan komposit pH optimumnya 5 dengan kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben, yaitu 5.90325, 5.67458, dan 5.96765.

2. Penentuan Waktu Kontak Optimum Logam Cd(II) dengan Adsorben Hasil Sintesis Silika Gel, Karbon Aktif Teraktivasi, dan Komposit Silika Gel Termodifikasi APTES-Karbon Aktif

Pada penentuan waktu kontak optimum, uji adsorpsi dilakukan menggunakan pH optimum yang telah didapatkan pada percobaan sebelumnya, yaitu pH 5. Hasil uji adsorpsi ditunjukkan pada **gambar 20** berikut.



Gambar 21.
Pengaruh waktu
terhadap kapasitas

adsorpsi logam Cd(II) oleh adsorben

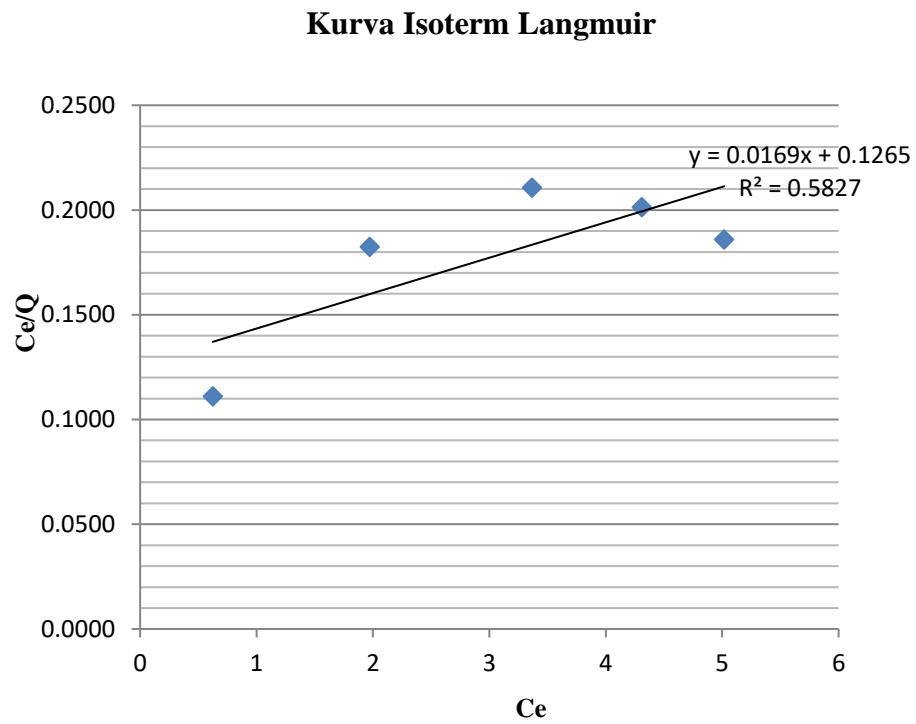
Berdasarkan **gambar 21**, kapasitas adsorpsi adsorben silika gel, karbon aktif, dan komposit waktu kontak optimumnya 30 menit dengan kapasitas adsorpsi masing-masing 5.87426, 5.84751, dan 5.90636.

3. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif terhadap Logam Cd(II)

Tahap ini bertujuan untuk untuk mengetahui persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dan Freundlich pada proses adsorpsi logam Cd(II) oleh komposit silika gel – APTES – Karbon Aktif. Kemudian, filtrat hasil uji adsorpsi dilakukan analisis konsentrasinya dengan instrumen *Atomic Adsorption Spectrofotometry* (AAS).

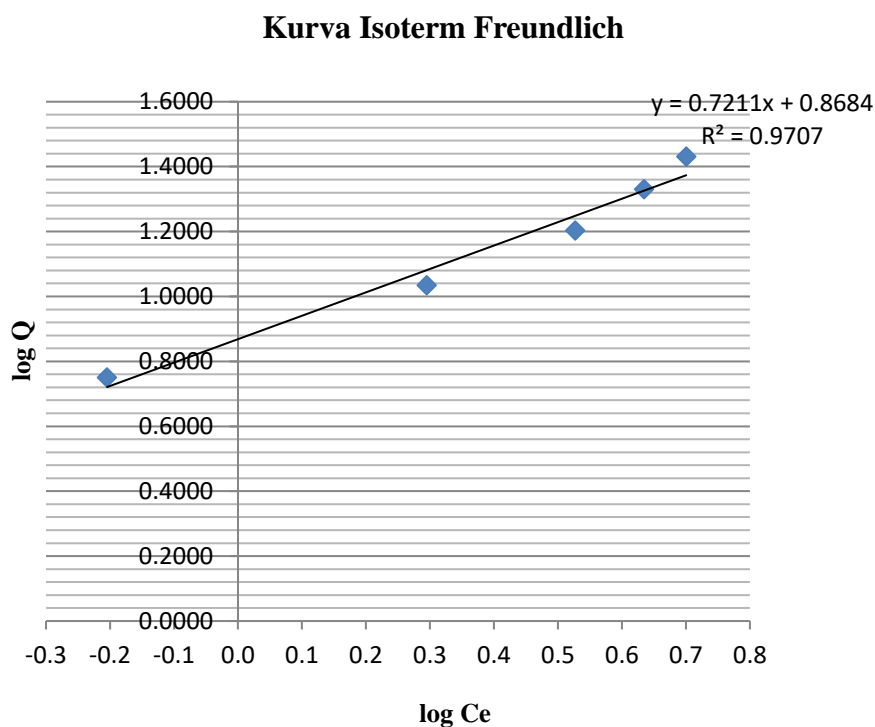
Hasil data analisis AAS digunakan untuk mengetahui besar kapasitas adsorpsi dari komposit silika gel termodifikasi APTES – karbon aktif. Hasil tersebut digunakan untuk mempelajari model hubungan isotherm Langmuir dan model isotherm Freundlich. Kurva isotherm

Langmuir merupakan kurva hubungan antara C_e dan C_e/q ditunjukkan pada **gambar 22** berikut.



Gambar 22. Kurva isoterm Langmuir

Pada **gambar 23** menunjukkan kurva isoterm Freundlich merupakan hubungan antara $\log C_e$ dan $\log q$.



Gambar 23. Kurva isoterm Freundlich

Berdasarkan **gambar 22** dan **23**, model isoterm yang lebih sesuai untuk komposit silika gel – APTES – karbon aktif ialah model isoterm Freundlich. Hal ini disebabkan karena nilai regresi (R^2) pada persamaan Freundlich lebih mendekati 1, yaitu 0.9707. Sedangkan, pada nilai R^2 persamaan Langmuir jauh dari 1, yaitu 0.5827. Oleh karena itu, permukaan komposit silika gel termodifikasi APTES – karbon aktif ini bersifat heterogen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu

1. Ketiga jenis adsorben telah berhasil disintesis, yaitu silika gel dari sekam padi, karbon aktif dari tempurung kelapa, dan komposit silika gel – APTES – karbon aktif.
2. Adsorben hasil sintesis memiliki kondisi optimum pada pH 5 dan waktu kontak optimum 30 menit pada proses penyerapan logam Cd(II).
3. Model adsorpsi dari hasil uji komposit silika gel – APTES – karbon aktif mengikuti model isotherm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi 7.3858.
4. Adsorpsi bersifat heterogen karena mengikuti model isotherm adsorpsi Freundlich.

B. Saran

Peneliti menyarankan untuk melakukan uji adsorpsi pada berbagai macam jenis logam selain logam Cd, sehingga penggunaan komposit silika gel – APTES – karbon aktif dapat diaplikasikan untuk logam berat lainnya. Peneliti juga menyarankan untuk melakukan uji dengan adsorben yang sama tetapi dengan variasi ukur yang berbeda yaitu variasi temperatur sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn C.K, Kim M.Y, Woo H.S, Park M.J. 2009. Removal of Cadmium Using Acid-Treated Activated Carbon In The Presence of Nonionic and/or Anionic Surfactants. *Journal of Hydrometallurgy*. 99 : 209-213.
- Anonim. 1988. Mutu dan Cara Uji Arang Aktif, Standar Industri Indonesia (SII) No. 0258-79. Jakarta: Departemen Perindustrian RI.
- Asano T, Baba A, Hizukuri, Iwamoto M. 1999. Fabrication of Carbon-Based Field Emitters Using Stamp Technology. *Japanese Journal of Applied Physics*. 38 (1).
- Bakri, 2008. Komponen kimia dan fisik abu sekam padi sebagai scm untuk pembuatan komposit semen. *Jurnal Perennial*. 5(1): 9-14.
- Bragmann CP, Goncalves MRF. 2006. Thermal Insulators Made With Rice Husk Ashes. Brasil: Department of Materials, School of Engineering, Federal University of rio grande do sul.
- Brinker CJ, Scherer WJ. Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. San Diego: Academic Press.
- Callister Jr. William D. 2007. Materil Science And Engineering An Introduction. United State Of America Quebeecor Versailles.
- Caturla F, Sabio MM, Reinoso FR. 1991. Preparation of Activated Carbon by Chemical Activation with ZnCl₂. *Carbon*. 29 (7) : 999-1007.
- Cobb AM, Warms EP, Maurer, Chiesa S. 2012. Low-tech Coconut Shell Activated Charcoal Production. *International Journal for Service Learning in Engineering*. 7(1): 93-104.
- Cooney DO. 1998. Adsorption Design For Wastewater Treatment. USA: Lewis Publishers.
- Dahlana D, Sembiring S, Simanjuntak W. 2013. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO-Si berbasis Silika Sekam Padi. *J. Teori dan Aplikasi Fisika*. 1(1): 49-52.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubunngannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Jakarta : UI Press.
- Gilar SP, Remigius YEY, Rachimoellah M, Endah MMP. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapadengan activator ZnCl₂ dan Na₂CO₃

sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *J. Teknik Pomits*. 2(1): 2337-3539.

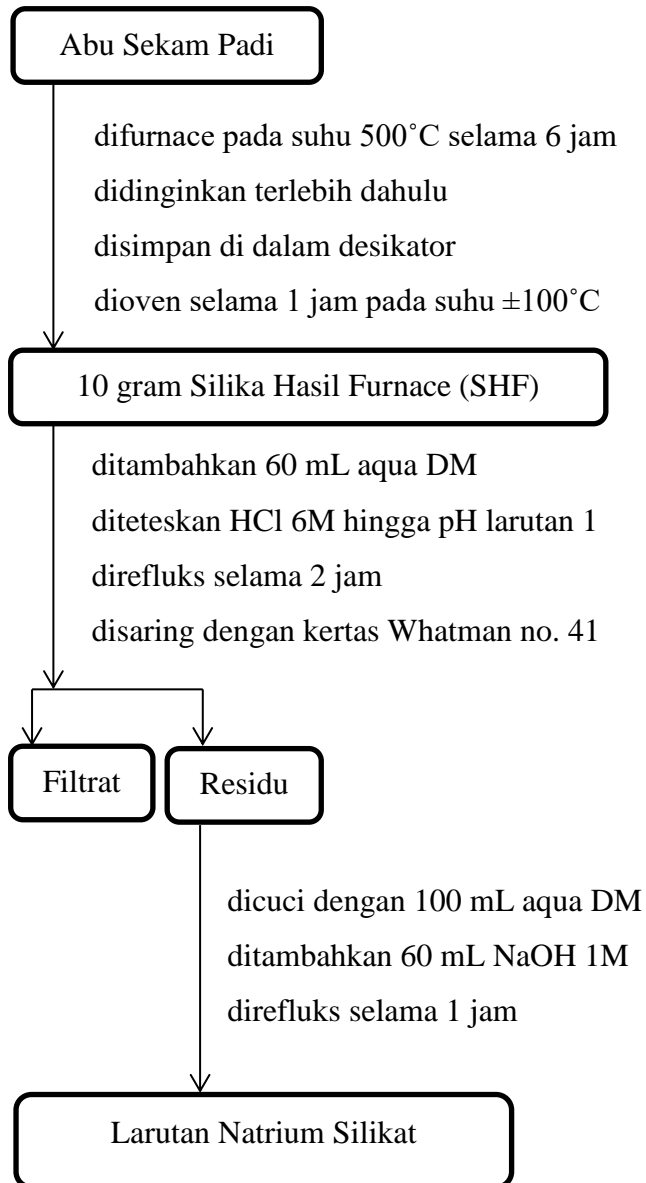
- Givianrad MH, Rabani M, Tehrani MS, Azar PA, Sabzevari MH. 2013. Preparation and characterization of nanocomposite silica aerogel activated carbon and its adsorption properties for Cd (II) ions from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*. 17: 329-335.
- Gupta VK, Suhas. 2009. Application of low-cost adsorbents for dye removal. *J. Environ Manage*. 90(8) : 2313-2342.
- Hendra D. 2006. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran. Bogor: Pusat Litbang Hasil Hutan.
- Hiroshi H, Joji K, Toshiyuki Y, Yasuyuki A. 2012. Treatment of Inorganic Filler Surface by Silane Coupling Agent: Investigation of Treatment Condition and Analysis of Bonding State of Reacted Agent. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*. Vol.6.
- Jang-Soon K, Yun ST, Lee JH, Kim SO, Jo HY. 2010. Removal of divalent heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and arsenic(III) from aqueous solutions using scoria: Kinetics and equilibria of sorption. *Journal of Hazardous Materials*. 174 : 307-313.
- Jankowska H, Swiatkowski A, Choma J. 1991. Active carbon. *Aiche journal*.
- Jatinder KK, Saraswatia, Kaurb I. 2015. Adsorptive removal of Cd (II) using NTA modified *Dendrocalamus strictus* charcoal powder. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(7):1094-1101.
- JECFA. 2003. Activated Carbon. 37(52): 1-3.
- Kalapathy U, Proctor A, Shultz J. 2000. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Journal of Bioresource Technology*. 73: 257-262.
- Matthews FL, Rawlings RD. 1993. Composite Material Engineering and Science. London: Imperial College of Science Technology and Medicine.
- Mohanty K, Mousam J, Meikap BC, Biswas MN. 2005. Removal of chromium (VI) from dilute aqueous solutions by activated carbon developed from *Terminalia arjuna* nuts activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Science Journal*. 60(11) : 3049-3059.
- Monalisa L. 2013. Pengaruh Suhu Variasi Annealing Terhadap Struktur dan Ukuran Butir Silika dari Abu Tongkol Jagung Menggunakan X-Ray Diffractometer. *Skripsi*. Padang: Universitas Negeri Padang.

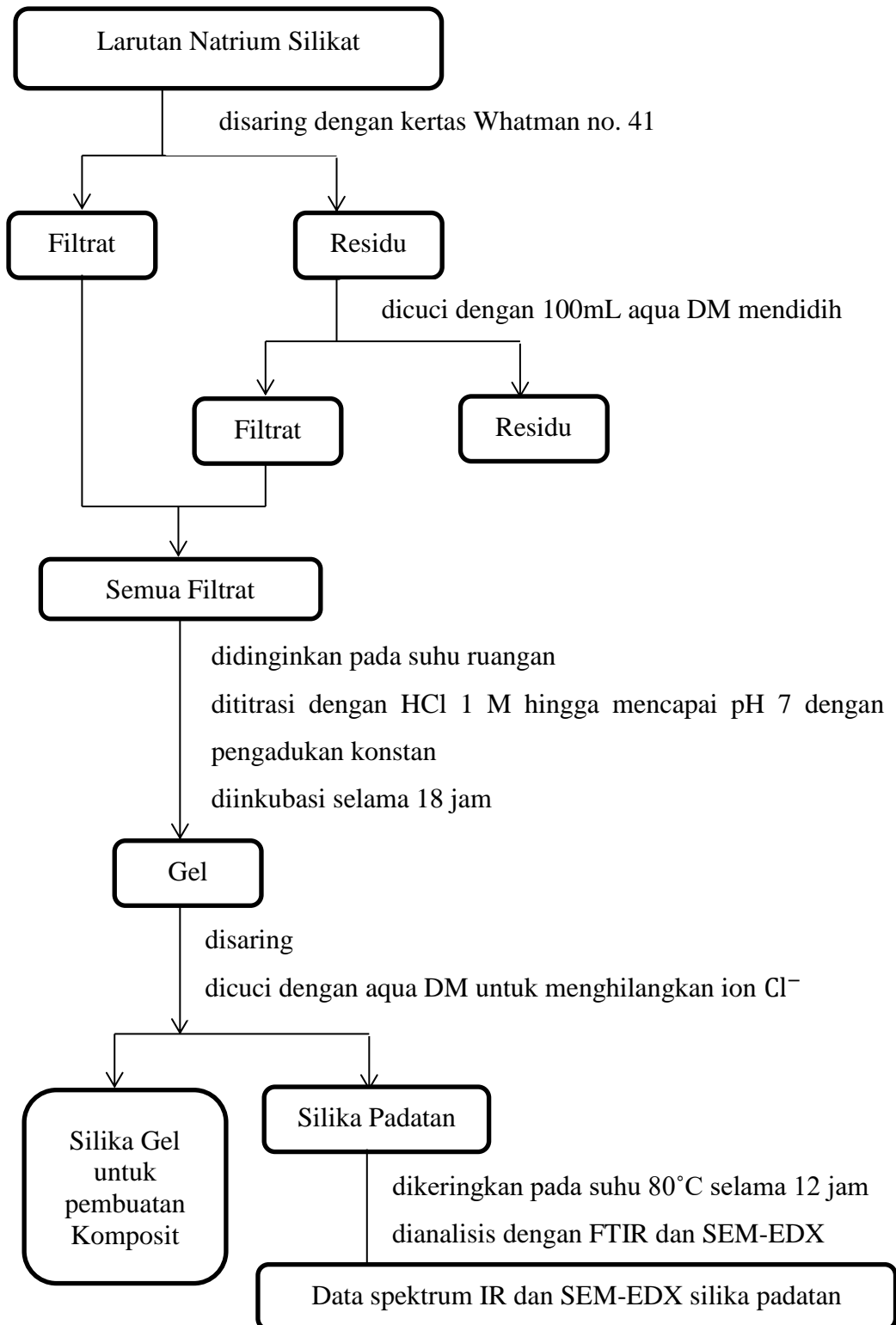
- Nuryono, Sriyanti, Taslimah, Narsito. 2004. Sintesis Bahan Hibrida Amino-Silika dari Abu Sekam Padi melalui Proses Sol Gel. *Proceeding Seminar Nasional Hasil Penelitian MIPA 2004*. Semarang: FMIPA Undip.
- Omar E. Abdel Salam; Neama A. Reiad; Maha M. Elshafei. 2011. A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*. 2 : 297-303.
- Palar H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Quang, D.V., Kim J.K., Sarawade P.B., Tuan D.W., Kim H.T. 2012. Preparation of Amino-Functionalized Silica for Copper Removal from An Aqueous Solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 18 : 83-87.
- Ram P, Pandey M. 2012. Rice Husk Ash as a Renewable Source for the Production of Value Added Silica Gel and its Application: An Overview. India: Banaras Hindu University.
- Raditya DJ, Razif M, Mursid M. 2009. Uji efesiensi removal adsorpsi arang batok kelapa untuk mereduksi warna dan permanganate value dari limbah cair industry batik. Surabaya: ITS.
- Reynolds TD, Paul AR. 1995. Unit Operations And Processes In Environmental Engineering. Boston: PWS Publishing Company.
- Said M. 2008. Pengolahan Limbah Cair Hasil Pencelupan Benang Songket dengan Metoda Filtrasi dan Adsorpsi. *J. Pen. Sains*. 11(2): 474-480.
- Scott RPW. 1993. Silica Gel and Bonded Phases. Chichester: Willey & Sons Ltd.
- Schwartz. 1984. Composite Materials Handbook. New York: McGraw Hill Inc.
- Setyaningtyas, Tien, Zufahair, Suyata. 2005. Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Kadmium (II) dalam Pelarut Air. *Majalah Kimia Universitas Jenderal Soedirman*. 31(1): 33-41.
- Silverstein RM, Bassler GC, Morrill TC. 1991. Spectrometric identification of organic compounds. New York: Wiley.
- Siriluk, Yuttapong, 2005. Structure of Mesoporous MCM-41 Prepared from Rice Husk Ash. *Asian Symposium on Visualization*. Thailand: Chaingmai.

- Soeswanto B, Ninik L. 2011. Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Menjadi Larutan Natrium Silikat. *J. Fluida*. Bandung: Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung.
- Syamsiro M, Saptoadi H. 2007. Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao. Seminar Nasional Teknologi.
- Weber J, Albert R, David ADV. 1999. Theoretical investigation of the adsorption of methanol on the (110) surface of γ -alumina. *Journal of Molecular Structure*. 469 (1): 7-14.
- Yang, R.T., 2003. Adsorbents, *Fundamentals and Applications*. Wiley Interscience, USA.
- Zerbino RG, Giaccio S, Marfil. 2014. Evaluation of alkali-silica reaction in concretes with natural rice husk ash using optical microscopy. *Constr. Build. Mater*. 71 : 132-140.

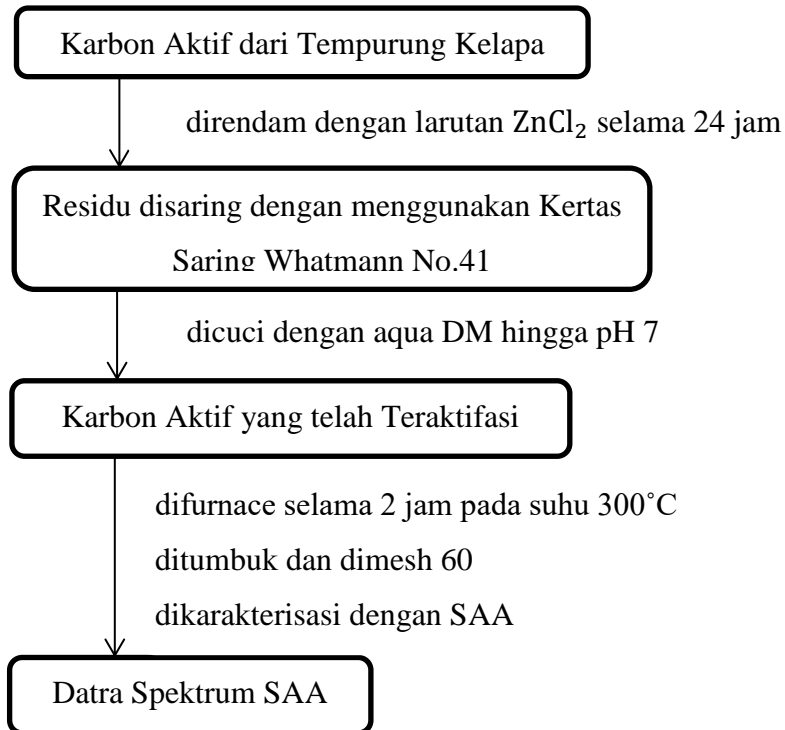
LAMPIRAN**Lampiran 1. Bagan Kerja**

1. Sintesis Silika Gel dari Sekam Padi

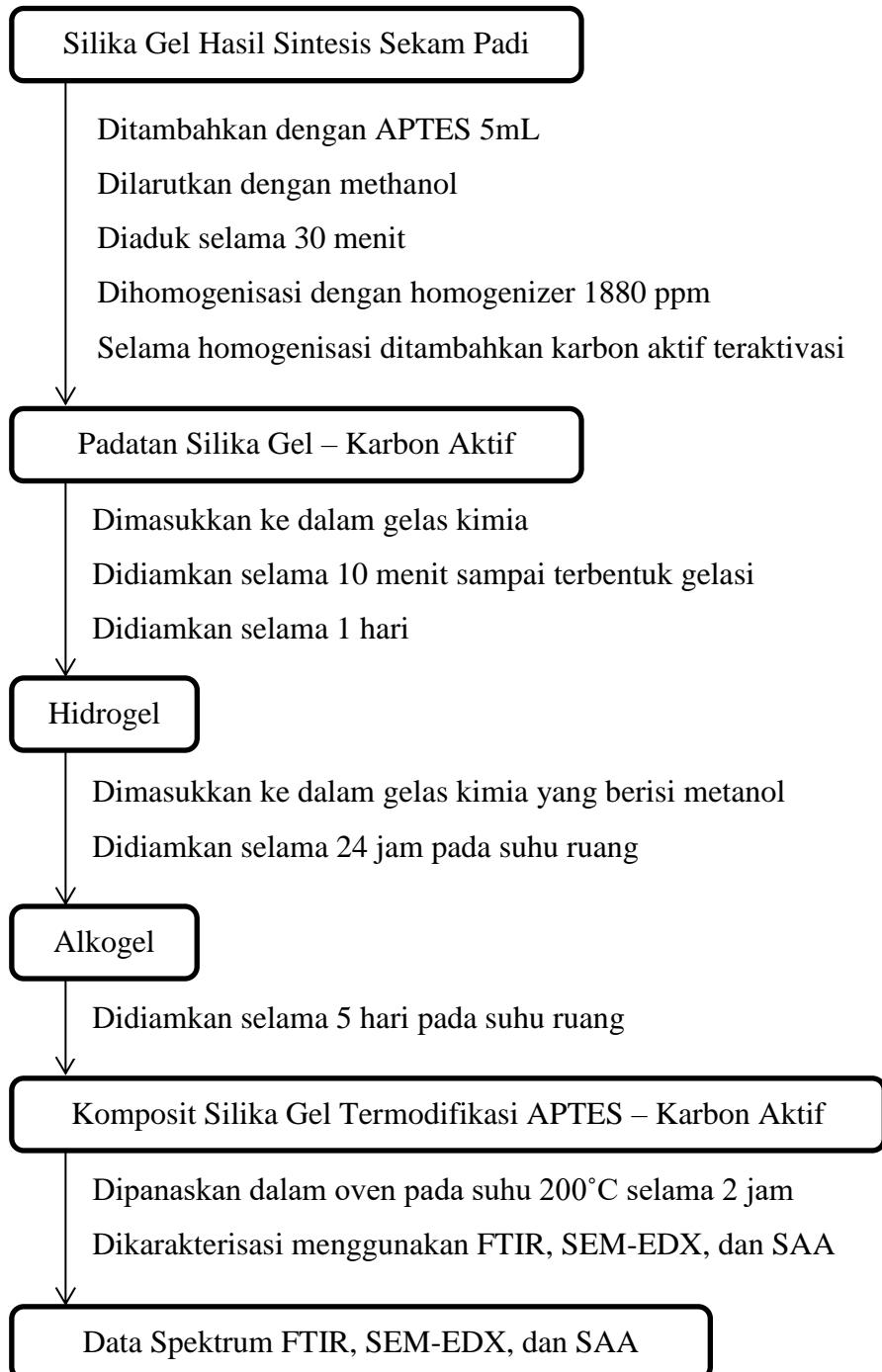




2. Preparasi Karbon Aktif dan Tempurung Kelapa

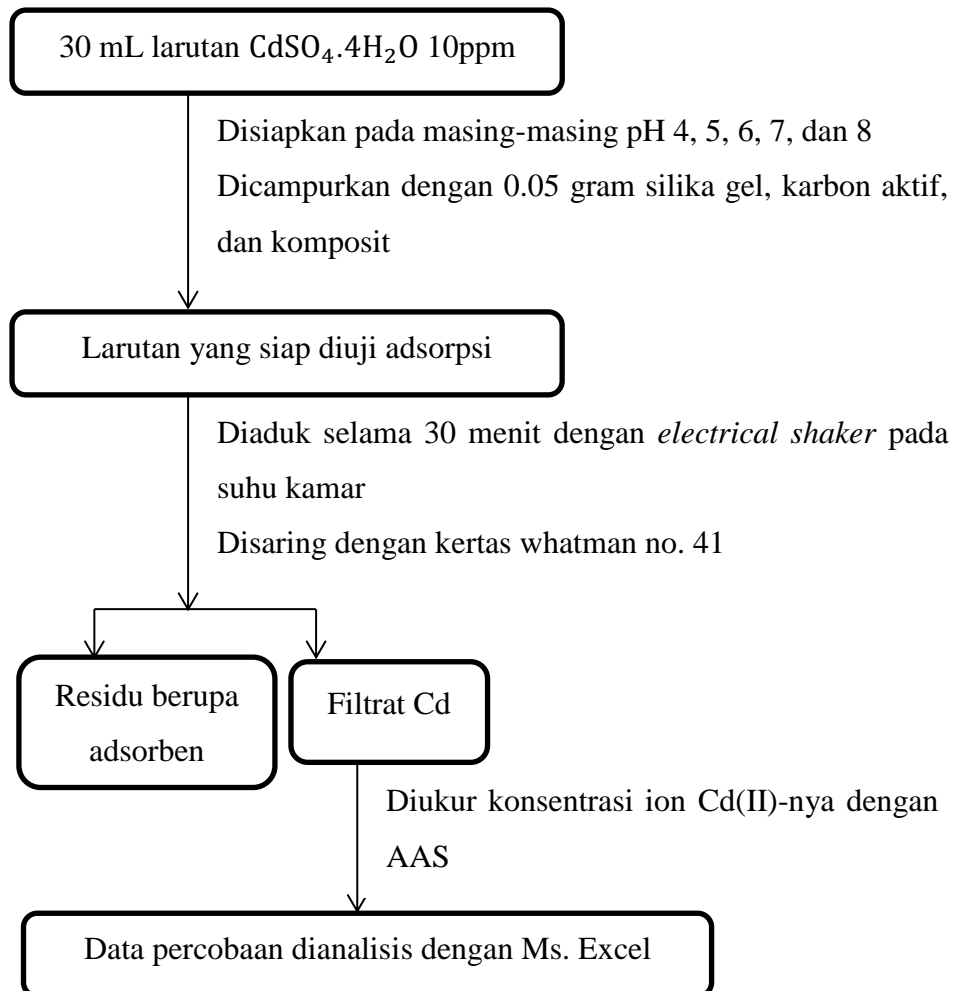


3. Sintesis Adsorben Komposit Silika Gel Termodifikasi APTES dan Karbon Aktif

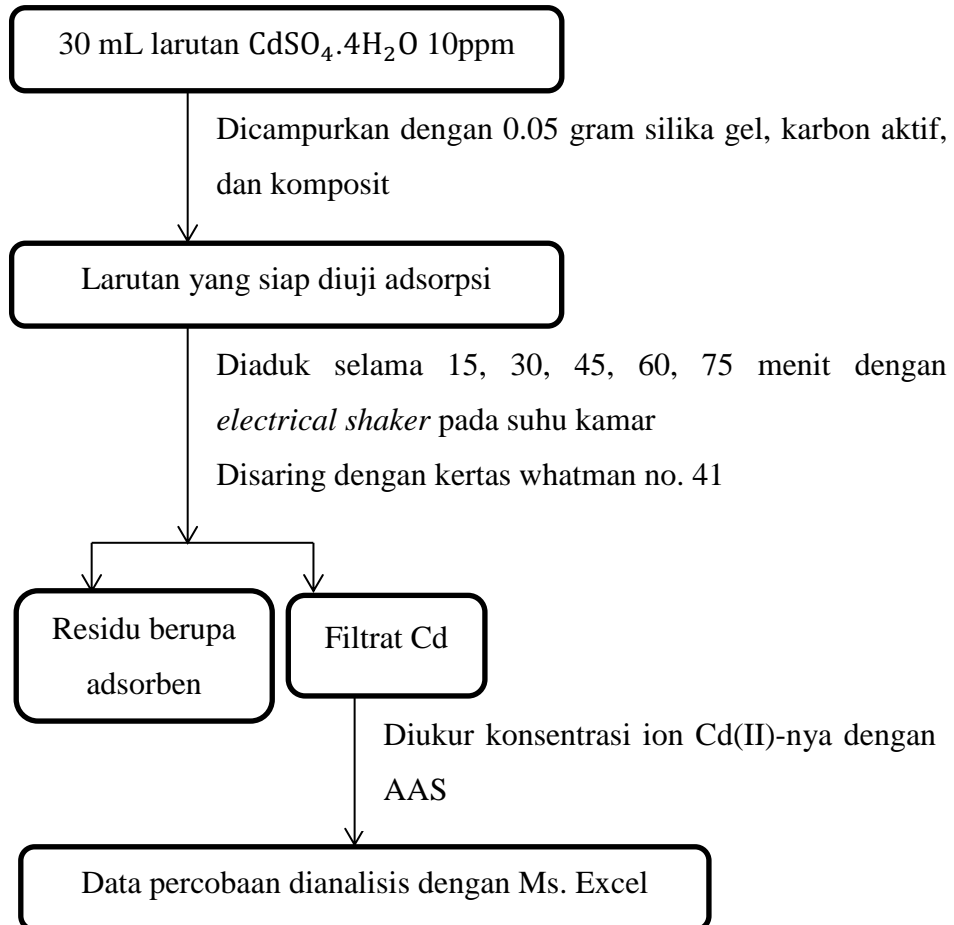


4. Uji Adsorpsi Silika Gel, Karbon Aktif, dan Komposit – APTES – Karbon Aktif terhadap logam Cd(II)

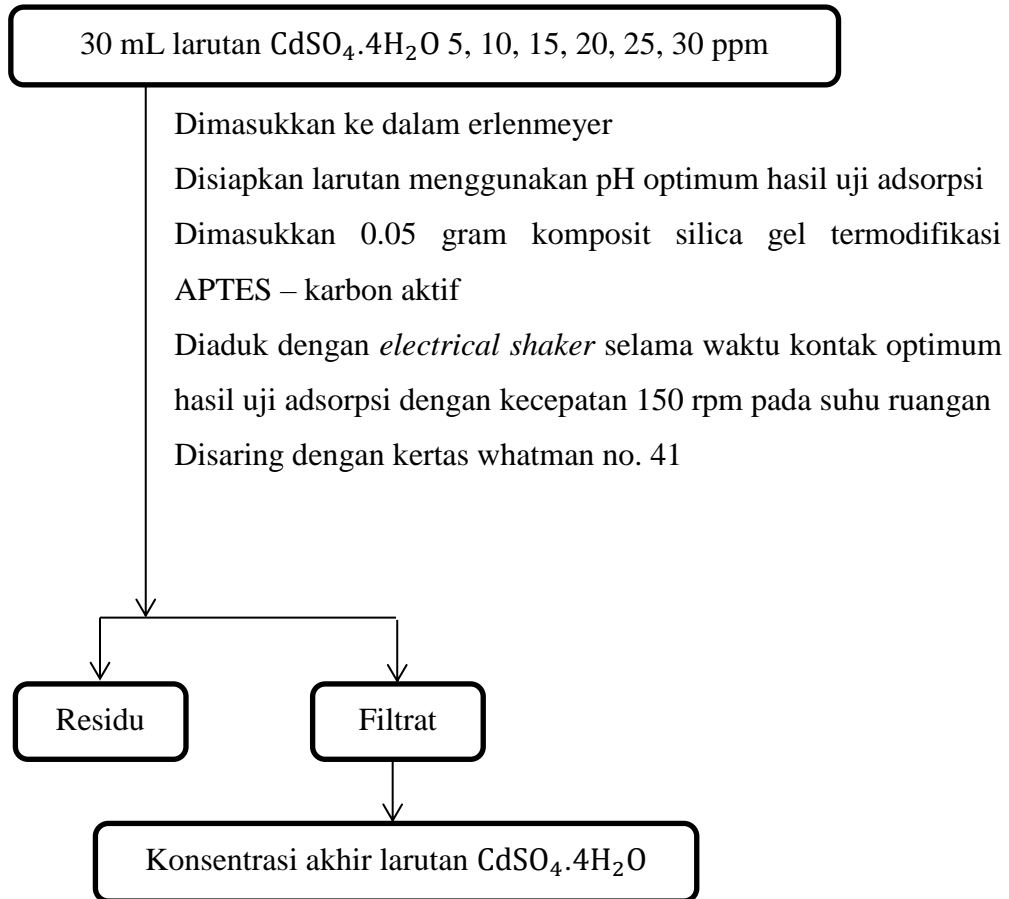
a) Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Larutan Cd(II)



b) Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Larutan Cd(II)

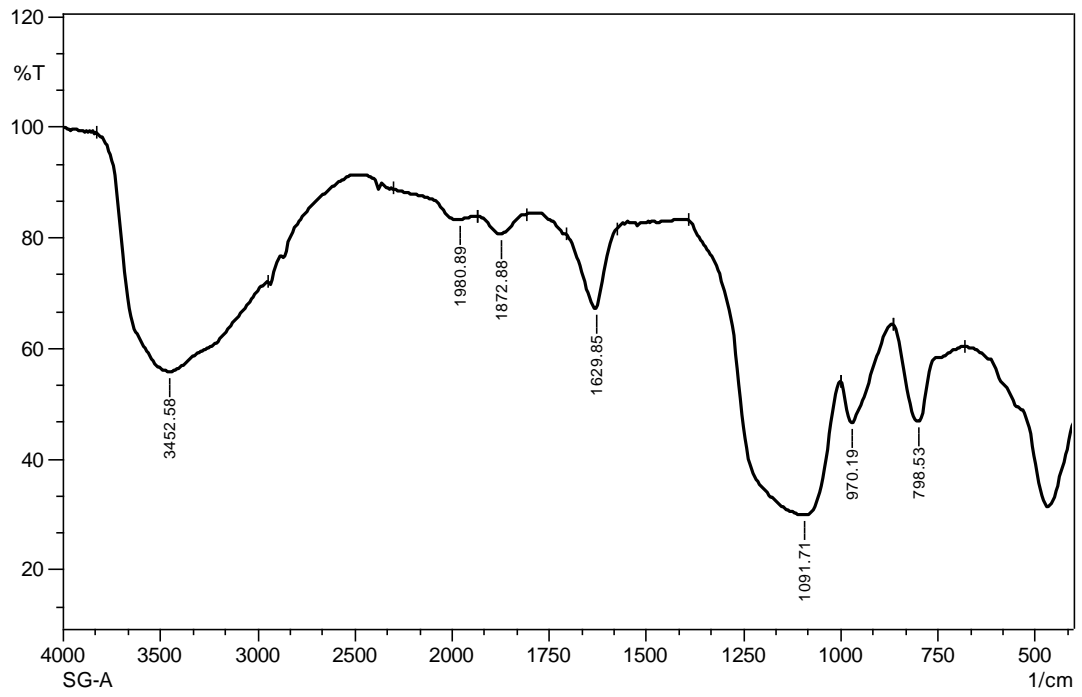


5. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Komposit Silika Gel Termodifikasi APTES-Karbon Aktif Terhadap Cd(II)

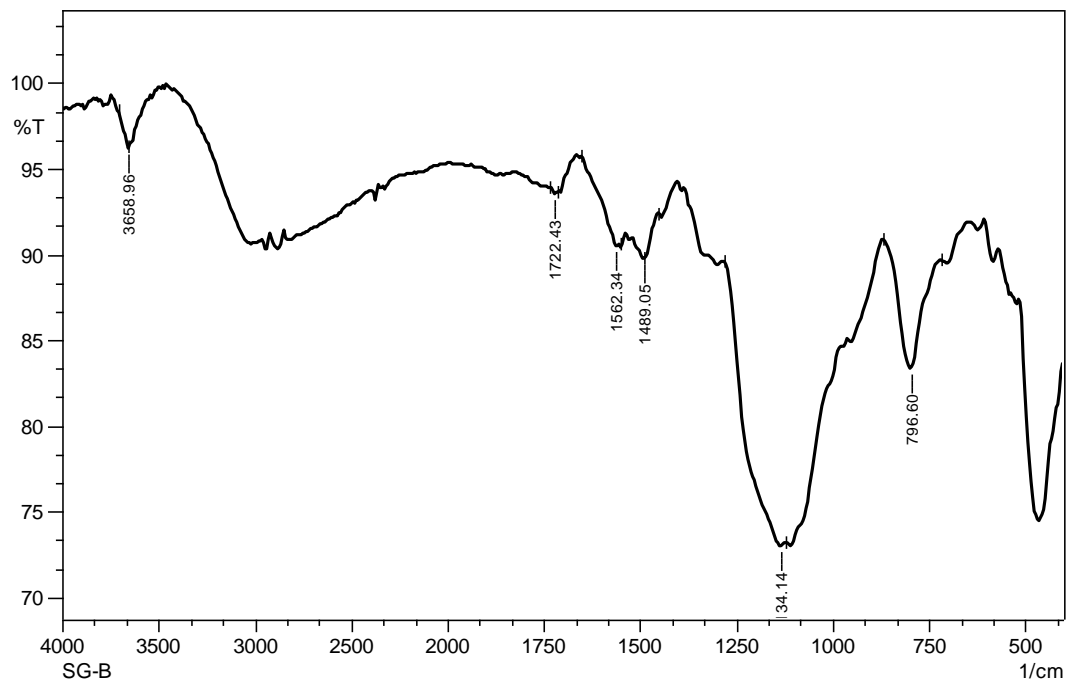


Lampiran 2. Spektra FTIR

1. Spektra FTIR Silika Gel

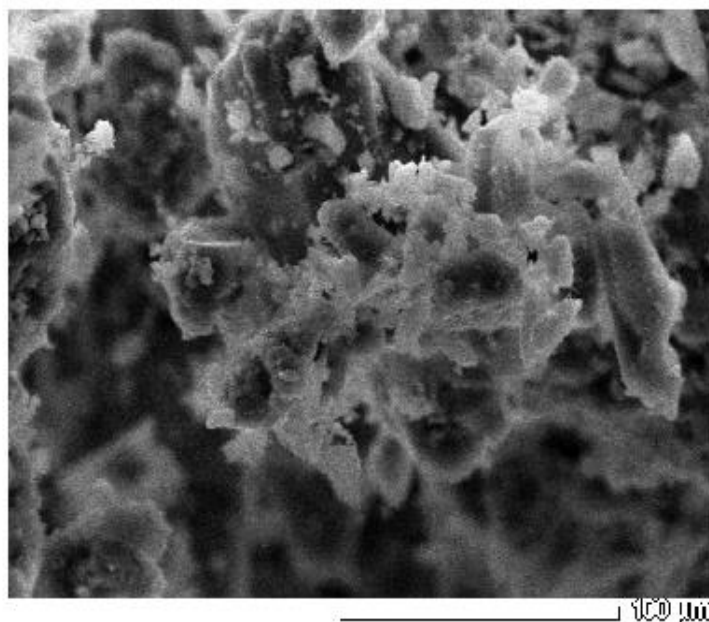


2. Spektra FTIR Komposit

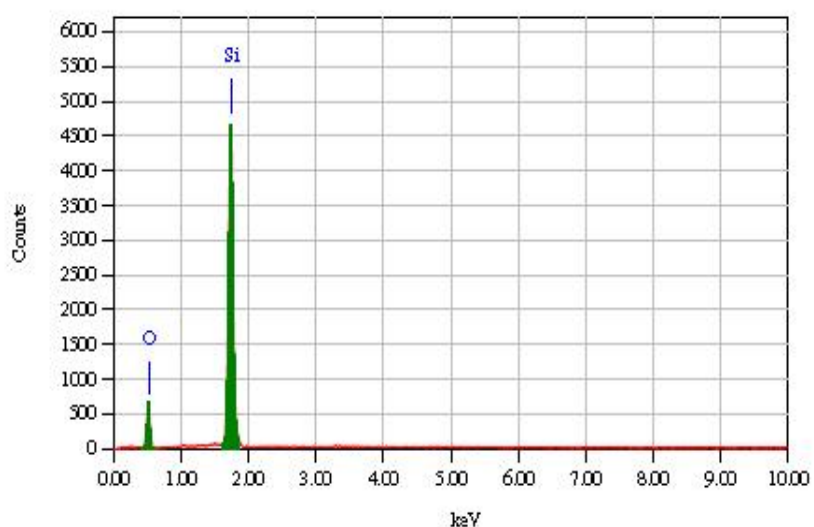


Lampiran 3. Karakterisasi SEM-EDX

1. SEM-EDX Silika Gel



Title	: IM52
Instrument	:
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 500
Date	: 2017/06/07
Pixel	: 640 x 480

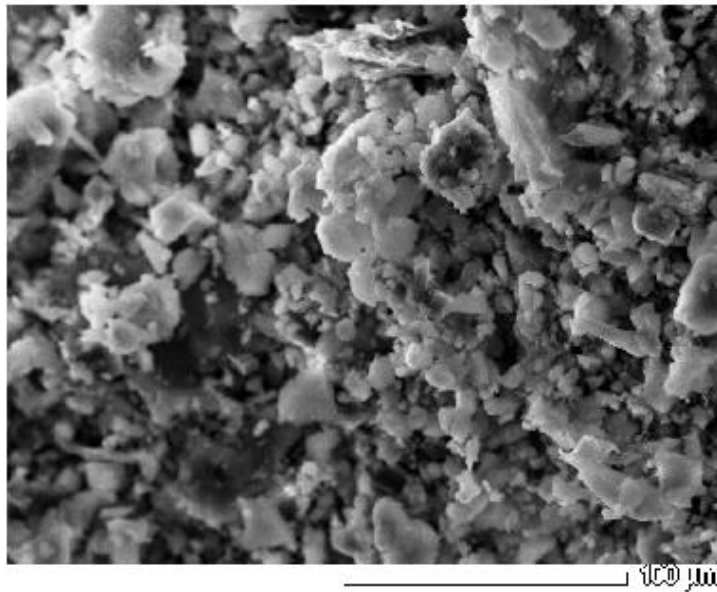


Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PRR mode	: TB
Real Time	: 19.21 sec
Live Time	: 15.00 sec
Dead Time	: 21 %
Counting Rate	: 3101 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

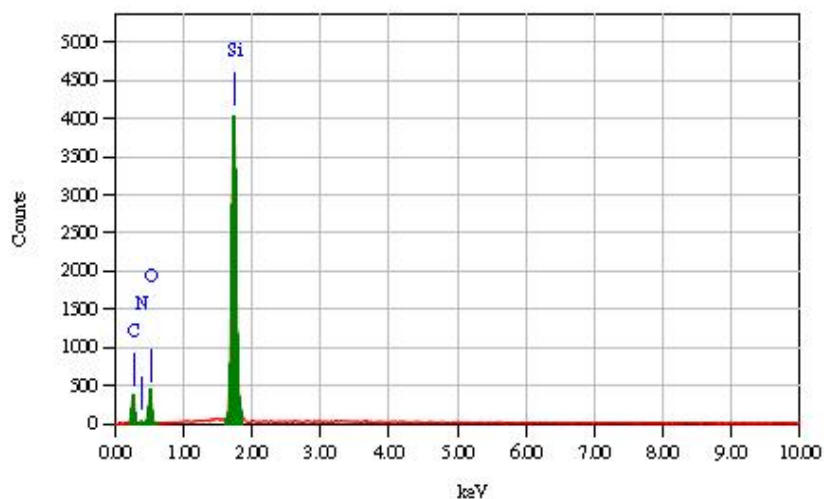
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.3513

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	46.87	1.00	60.77				48.9962
Si K	1.739	53.13	0.31	39.23				51.0038
Total		100.00		100.00				

2. SEM-EDX Komposit Silika Gel Termodifikasi APTES – Karbon Aktif



Title	: IM51
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 500
Date	: 2017/06/07
Pixel	: 512 x 384



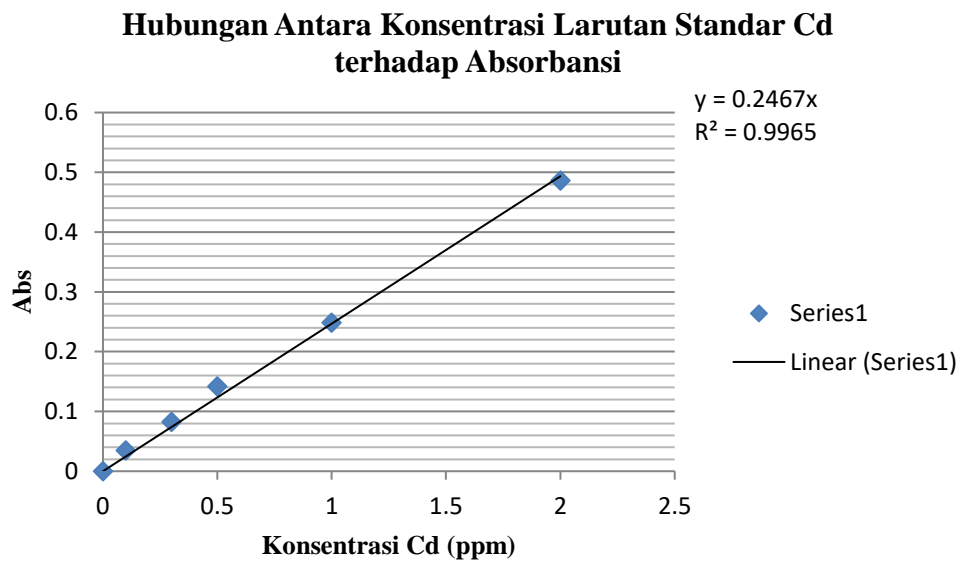
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PAK mode	: T3
Real Time	: 19.18 sec
Live Time	: 15.00 sec
Dead Time	: 21 %
Counting Rate	: 3047 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.4061

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	X
C K	0.277	32.92	0.48	40.57				16.8365
N K	0.392	25.88	1.96	27.35				34.9996
O K	0.525	26.04	0.79	24.09				20.2243
Si K	1.739	15.16	0.09	7.99				27.9396
Total		100.00		100.00				

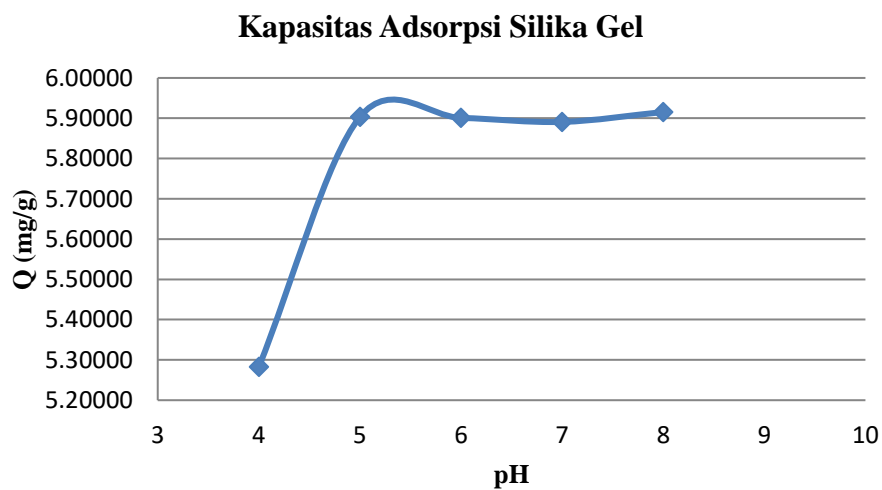
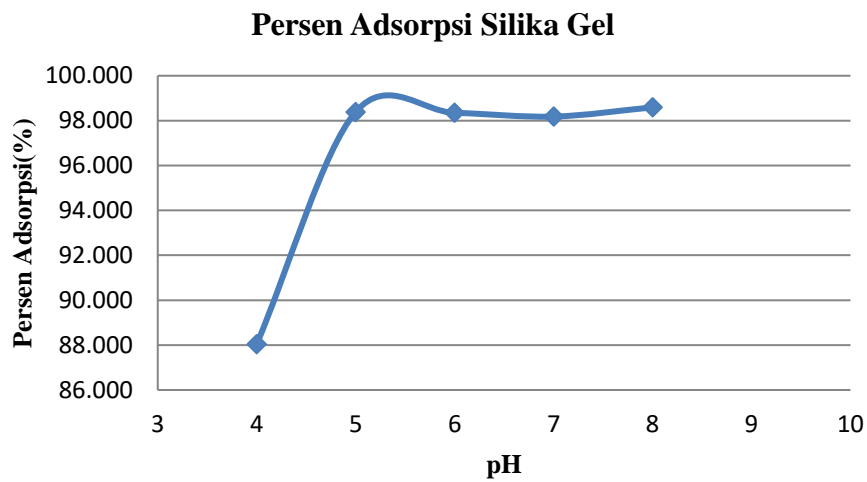
Lampiran 4. Kurva Larutan Standar AAS

Konsentrasi Cd (ppm)	Absorbansi
0	0
0.1	0.03476
0.3	0.08228
0.5	0.14168
1	0.2486
2	0.4862



Lampiran 5. Uji Adsorpsi Silika Gel dari Sekam Padi Terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak

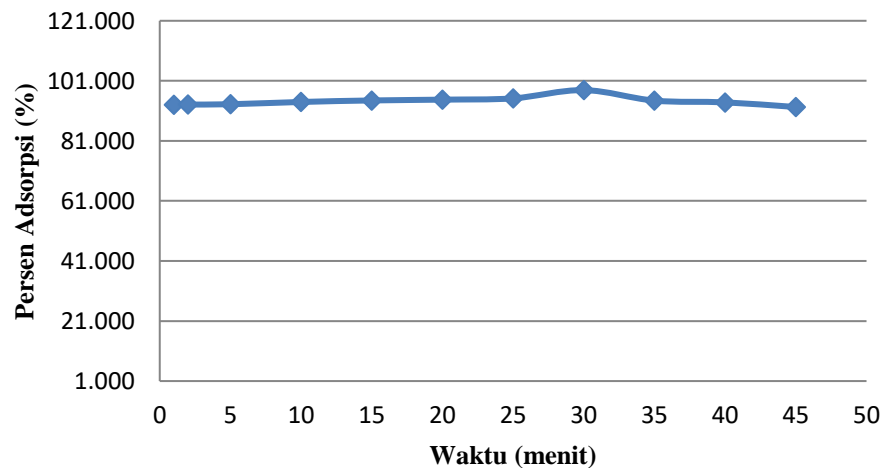
pH	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi (%)	Q (mg/g)
4	10	0.2950	1.1957	88.043	5.28258
5	10	0.0398	0.1612	98.388	5.90325
6	10	0.0408	0.1653	98.347	5.90082
7	10	0.0449	0.1819	98.181	5.89085
8	10	0.0348	0.1410	98.590	5.91541



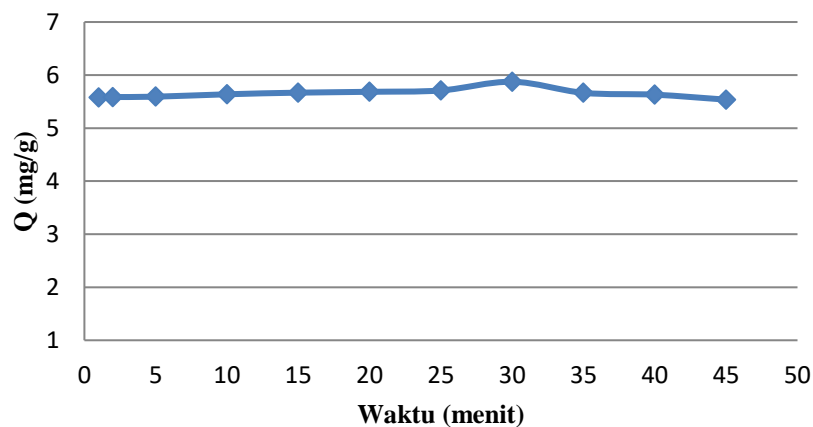
Waktu Kontak

Waktu (menit)	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi (%)	Q (mg/g)
1	10	0.1729	0.7009	92.991	5.57949
2	10	0.1702	0.6899	93.101	5.58606
5	10	0.1676	0.6794	93.206	5.59238
10	10	0.1489	0.6036	93.964	5.63786
15	10	0.1364	0.5529	94.471	5.66826
20	10	0.1298	0.5261	94.739	5.68431
25	10	0.1193	0.4836	95.164	5.70985
30	10	0.0517	0.2096	97.904	5.87426
35	10	0.1378	0.5586	94.414	5.66486
40	10	0.1522	0.6169	93.831	5.62983
45	10	0.1906	0.7726	92.274	5.53644

Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Silika Gel



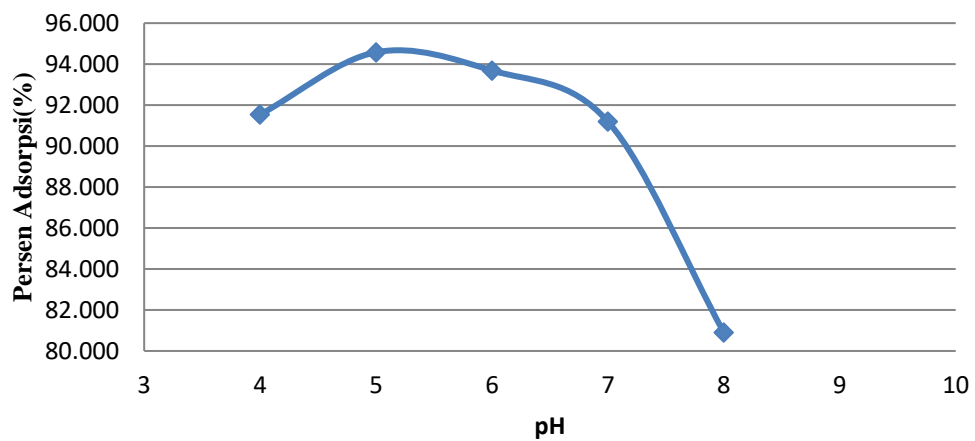
Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Silika Gel



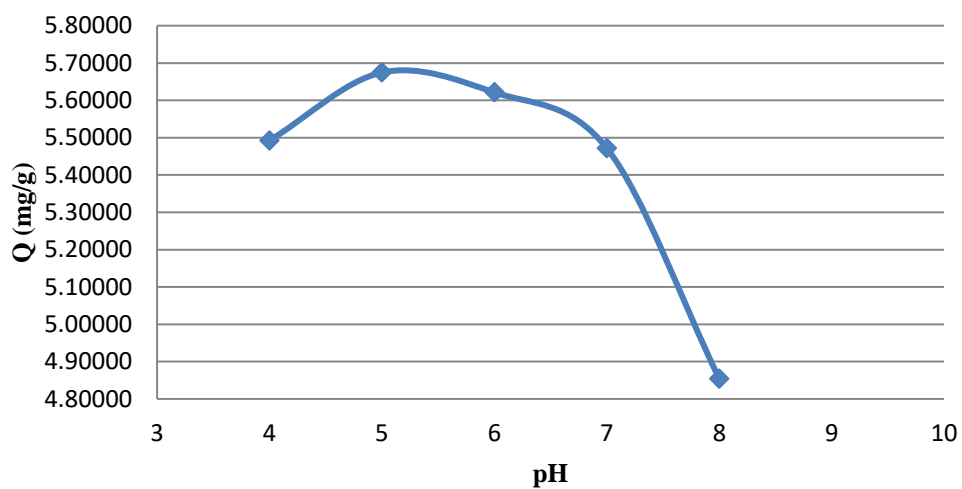
Lampiran 6. Uji Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak

pH	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi(%)	Q (mg/g)
4	10	0.2087	0.8460	91.540	5.49242
5	10	0.1338	0.5424	94.576	5.67458
6	10	0.1557	0.6311	93.689	5.62132
7	10	0.2172	0.8804	91.196	5.47175
8	10	0.4711	1.9096	80.904	4.85424

Persen Adsorpsi Karbon Aktif



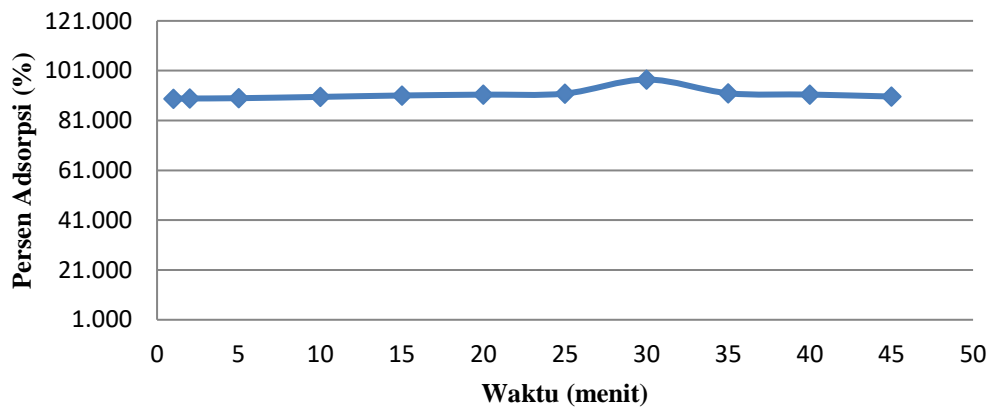
Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif



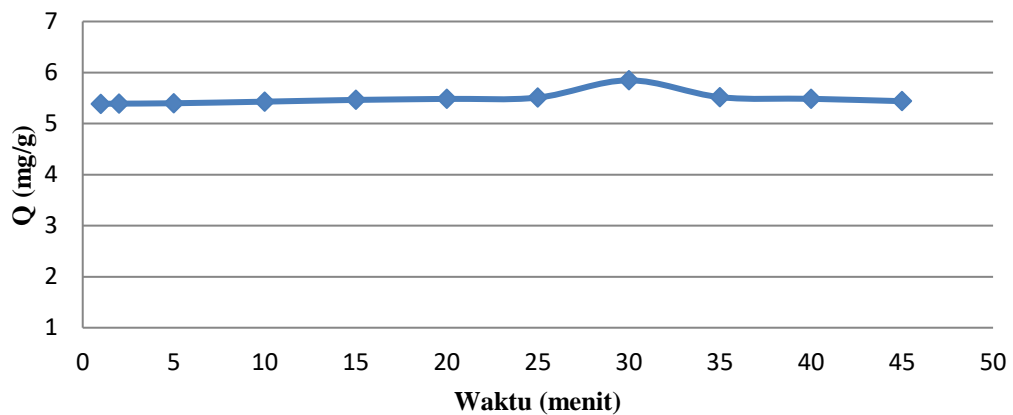
Waktu Kontak

Waktu (menit)	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi (%)	Q (mg/g)
1	10	0.2523	1.0227	89.773	5.38638
2	10	0.2505	1.0154	89.846	5.39076
5	10	0.2476	1.0036	89.964	5.39781
10	10	0.2347	0.9514	90.486	5.42919
15	10	0.2206	0.8942	91.058	5.46348
20	10	0.2124	0.8610	91.390	5.48342
25	10	0.2018	0.8180	91.820	5.5092
30	10	0.0627	0.2542	97.458	5.84751
35	10	0.1984	0.8042	91.958	5.51747
40	10	0.2116	0.8577	91.423	5.48537
45	10	0.2309	0.9360	90.640	5.43843

Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif



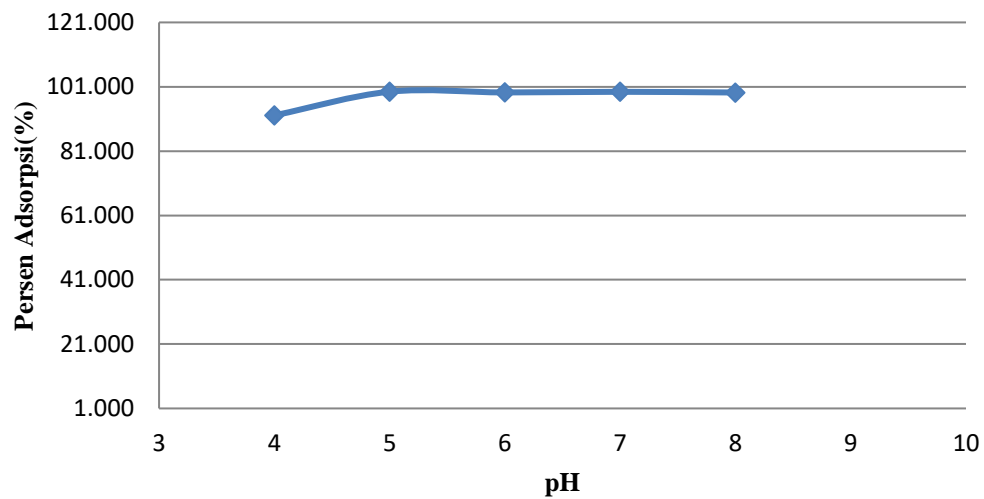
Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Aktif



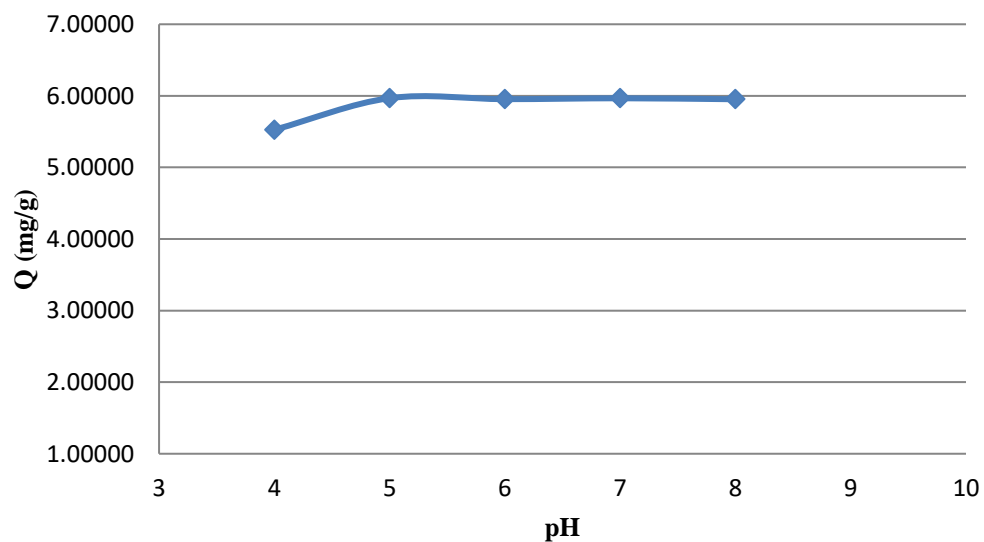
Lampiran 7. Uji Adsorpsi Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif Terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak

pH	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi(%)	Q (mg/g)
4	10	0.1947	0.7892	92.108	5.52647
5	10	0.0133	0.0539	99.461	5.96765
6	10	0.0190	0.0770	99.230	5.95379
7	10	0.0140	0.0567	99.433	5.96595
8	10	0.0196	0.0794	99.206	5.95233

Persen Adsorpsi Komposit



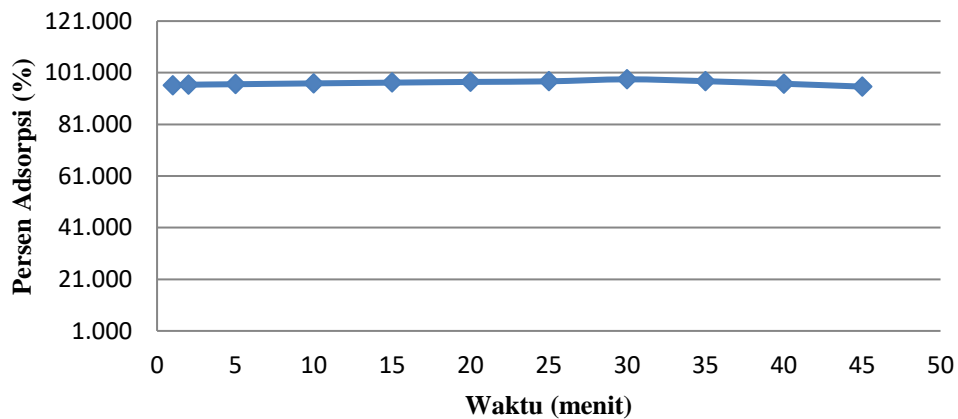
Kapasitas Adsorpsi Komposit



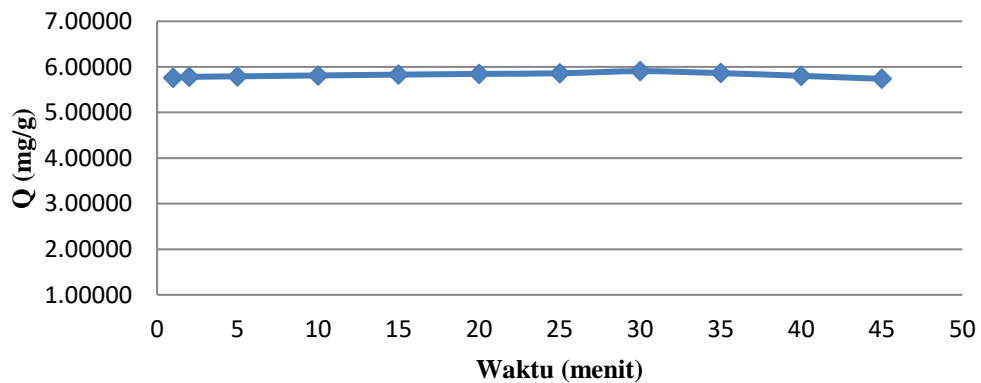
Waktu Kontak

Waktu (menit)	Co (ppm)	Abs (ppm)	Ce (ppm)	Persen Adsorpsi (%)	Q (mg/g)
1	10	0.0979	0.3968	96.032	5.76190
2	10	0.0902	0.3656	96.344	5.78062
5	10	0.0853	0.3458	96.542	5.79254
10	10	0.0772	0.3129	96.871	5.81224
15	10	0.0699	0.2833	97.167	5.83000
20	10	0.0631	0.2558	97.442	5.84653
25	10	0.0578	0.2343	97.657	5.85942
30	10	0.0385	0.1561	98.439	5.90636
35	10	0.0562	0.2278	97.722	5.86332
40	10	0.0807	0.3271	96.729	5.80373
45	10	0.1079	0.4374	95.626	5.73758

Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Komposit

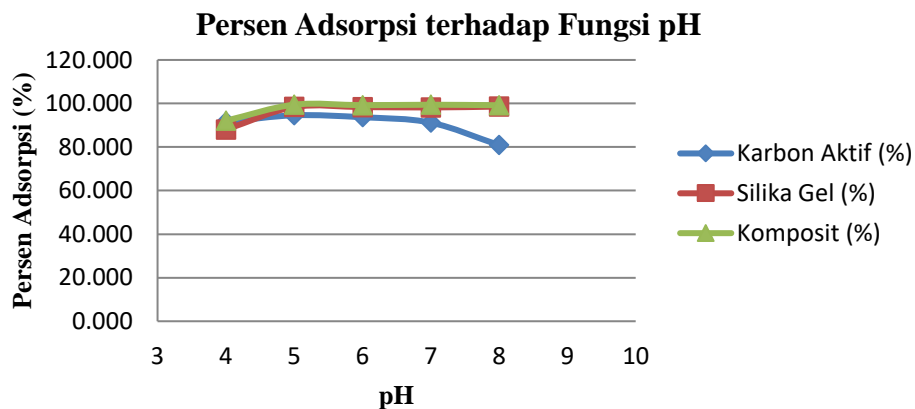


Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Komposit

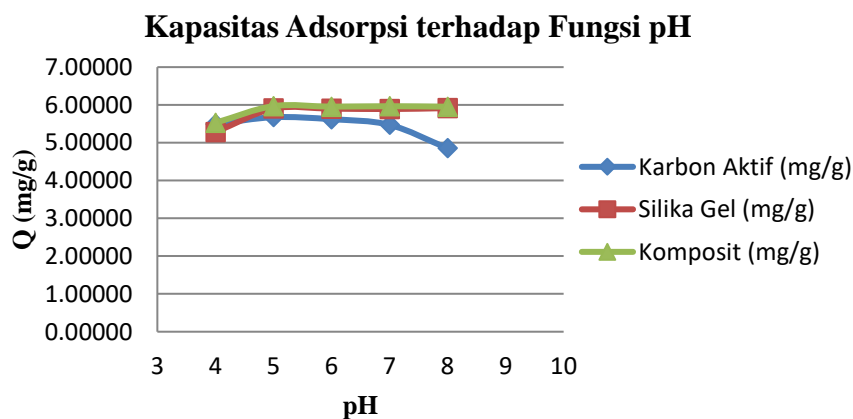


Lampiran 8. Perbandingan Besar Adsorpsi dan Kapasitas Adsorpsi antara Karbon Aktif, Silika Gel, dan Komposit Silika Gel-APTES-Karbon Aktif Terhadap Fungsi pH dan Waktu Kontak

pH	Co (ppm)	Karbon Aktif (%)	Silika Gel (%)	Komposit (%)
4	10	91.540	88.043	92.108
5	10	94.576	98.388	99.461
6	10	93.689	98.347	99.230
7	10	91.196	98.181	99.433
8	10	80.904	98.590	99.206

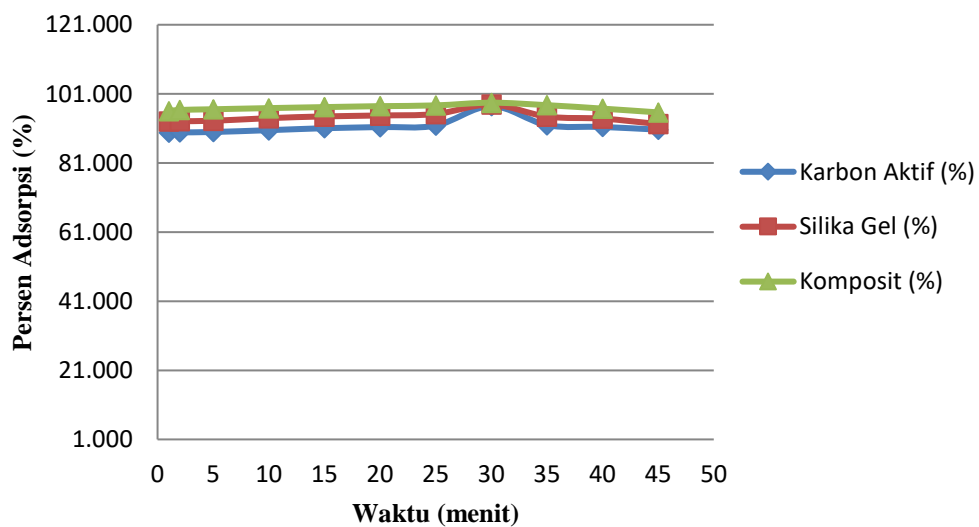


pH	Co (ppm)	Karbon Aktif (mg/g)	Silika Gel (mg/g)	Komposit (mg/g)
4	10	5.49242	5.28258	5.52647
5	10	5.67458	5.90325	5.96765
6	10	5.62132	5.90082	5.95379
7	10	5.47175	5.89085	5.96595
8	10	4.85424	5.91541	5.95233



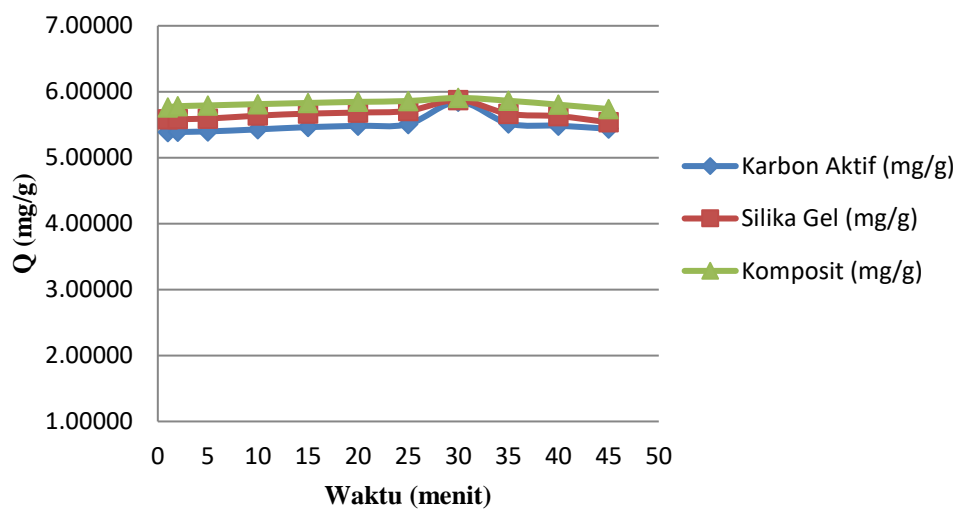
Waktu (menit)	Co (ppm)	Karbon Aktif (%)	Silika Gel (%)	Komposit (%)
1	10	89.773	92.991	96.032
2	10	89.846	93.101	96.344
5	10	89.964	93.206	96.542
10	10	90.486	93.964	96.871
15	10	91.058	94.471	97.167
20	10	91.390	94.739	97.442
25	10	91.820	95.164	97.657
30	10	97.458	97.904	98.439
35	10	91.958	94.414	97.722
40	10	91.423	93.831	96.729
45	10	90.640	92.274	95.626

Persen Adsorpsi Terhadap Fungsi Waktu Kontak



Waktu (menit)	Co (ppm)	Karbon Aktif (mg/g)	Silika Gel (mg/g)	Komposit (mg/g)
1	10	5.38638	5.57949	5.76190
2	10	5.39076	5.58606	5.78062
5	10	5.39781	5.59238	5.79254
10	10	5.42919	5.63786	5.81224
15	10	5.46348	5.66826	5.83000
20	10	5.48342	5.68431	5.84653
25	10	5.50920	5.70985	5.85942
30	10	5.84751	5.87426	5.90636
35	10	5.51747	5.66486	5.86332
40	10	5.48537	5.62983	5.80373
45	10	5.43843	5.53644	5.73758

Kapasitas Adsorpsi Terhadap Fungsi Waktu Kontak



Lampiran 9. Model Isoterm Adsorpsi

Co (ppm)	Ce (ppm)	m (g)	V (L)	Q (mg/g)	Ce/Q	Log Ce	Log Q
10	0.6242	0.05	0.03	5.6255	0.1110	-0.2046	0.7502
20	1.9724	0.05	0.03	10.8165	0.1824	0.2950	1.0341
30	3.3652	0.05	0.03	15.9809	0.2106	0.5270	1.2036
40	4.3097	0.05	0.03	21.4142	0.2013	0.6344	1.3307
50	5.0166	0.05	0.03	26.9900	0.1859	0.7004	1.4312

Nilai Q (mg/g) dapat diitung melalui persamaan :

$$Q = \frac{(Co - Ce)V}{m}$$

Keterangan :

Q = kapasitas adsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

V = volume larutan (L)

Co = konsentrasi awal larutan (ppm)

Ce = konsentrasi akhir larutan (ppm)

M = massa adsorben (g)

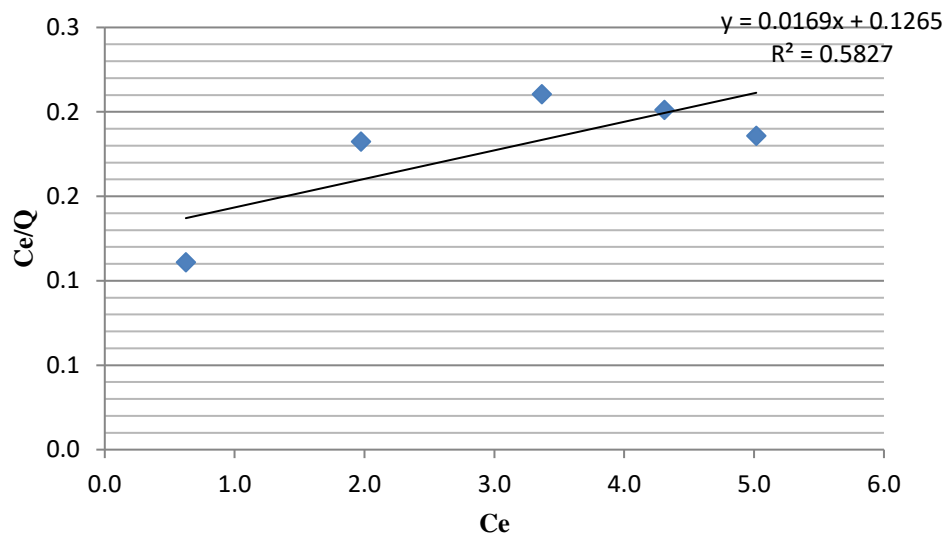
Contoh :

$$Q = \frac{(Co - Ce)V}{m}$$

$$Q = \frac{(10 - 0.6242) \text{mg/L} \times 0.03 \text{ L}}{0.05 \text{g}}$$

$$Q = 5.6255$$

Kurva Isoterm Langmuir



Persamaan garis : $y = 0.0169x + 0.1265$

$$\frac{C_e}{q} = \left(\frac{1}{Q_{\text{maks}}} C_e \right) + \frac{1}{K \cdot Q_{\text{maks}}}$$

$$\begin{array}{cccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ y & m & x & c \end{array}$$

- Nilai Q_{maks} :

$$m = \frac{1}{Q_{\text{maks}}}$$

$$0.0169 = \frac{1}{Q_{\text{maks}}}$$

$$Q_{\text{maks}} = 59.1716 \text{ mg/g}$$

- Nilai K

$$c = \frac{1}{K \cdot Q_{\text{maks}}}$$

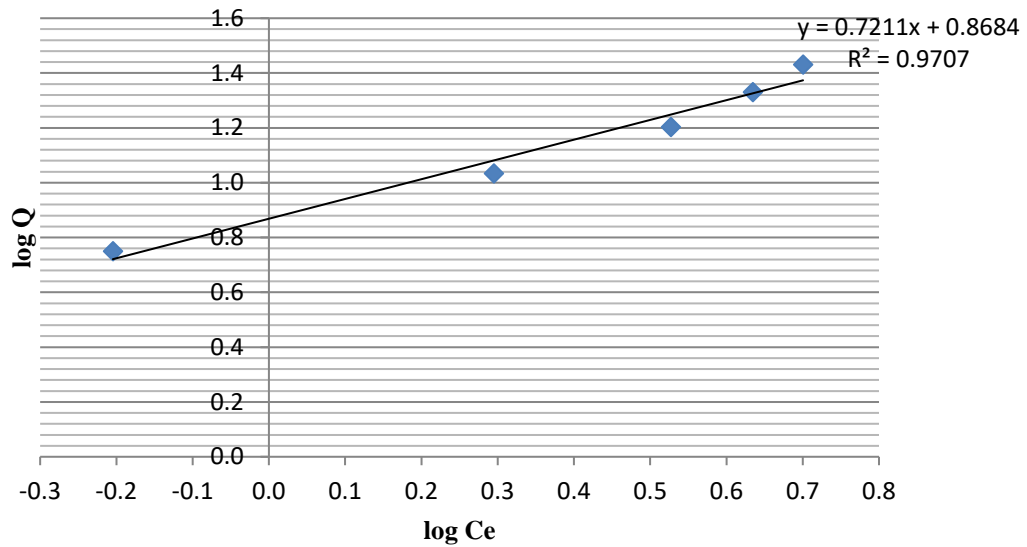
$$0.1265 = \frac{1}{K \cdot Q_{\text{maks}}}$$

$$K = \frac{1}{0.1265 \times 59.1716}$$

$$K = 0.1337$$

Dengan demikian, kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 59.1716 mg/g dan nilai konstanta Langmuir sebesar 0.1337.

Kurva Isoterm Freundlich



Persamaan :

$$\log Q = \frac{1}{n} \log Ce) + \log K$$

$$\begin{array}{cccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ y & m & x & c \end{array}$$

$$y = 0.7211x + 0.8684$$

Nilai n

$$m = 1/n$$

$$0.7211 = 1/n$$

$$n = 1.3868$$

Nilai K

$$C = \log K$$

$$0.8684 = \log K$$

$$K = 7.3858$$

Dengan demikian, kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 1.3868 mg/g dan nilai konstanta Freundlich sebesar 7.3858.

Lampiran 10. Cara perhitungan massa $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dalam 1000 ppm Cd

1. Mencari % Cd dalam
- $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

$$\% \text{ Cd} = \frac{\text{Ar Cd}}{\text{MrCdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Cd} = \frac{112.41}{769.51} \times 100\% = 14.61 \%$$

2. Mencari konsentrasi (ppm) Cd dalam 1000 ppm

$$\frac{14.61 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times a = 1000 \text{ ppm}$$

$$a = 1000 \text{ ppm} \times \frac{100 \text{ g}}{14.61 \text{ g}}$$

$$a = 6844.63 \text{ ppm}$$

3. Mengkonversi konsentrasi (ppm) ke konsentrasi (M)

$$6844.63 \text{ ppm} = 6844.63 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$6844.63 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{6844.63 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{L}} = \frac{6844.63 \text{ g}}{1000 \text{ L}}$$

$$M = \frac{6844.63 \text{ g}}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{769.51} = 0.008895 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0.008895 \text{ M}$$

4. Perhitungan massa
- $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
- dalam 1000 ppm Cd

$$M = \frac{m}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{V}$$

$$m \text{ CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O} = \frac{M \times \text{Mr} \times V}{1000}$$

$$m = \frac{0.008895 \times 769.51 \times 100}{1000} = 0.6845 \text{ gram}$$