

Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri

Isna Syauqiah
Gusti Muhammad Perdana Putera
Umi Baroroh Lili Utami



Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri

DI SUSUN OLEH:

Isna Syauqiah

Gusti Muhammad Perdana Putera

Umi Baroroh Lili Utami

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARBARU

2023



Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri

DI SUSUN OLEH:

Isna Syauqiah

Gusti Muhammad Perdana Putera

Umi Baroroh Lili Utami



Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri

Penulis:

Isna Syauqiah

Gusti Muhammad Perdana Putera

Umi Baroroh Lili Utami

Desain Cover:

Muhammad Ricky Perdana

Tata Letak:

Hapsari Lintang Sekartaji

PENERBIT:

ULM Press, 2024

d/a Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan ULM

Lantai 2 Gedung Perpustakaan Pusat ULM

Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123

Telp/Fax. 0511 - 3305195

ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)

Hak cipta dilindungi oleh Undang Undang

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin
tertulis dari Penerbit, kecuali

untuk kutipan singkat demi penelitian ilmiah dan resensi

I - V + 50 hal, 15,5 × 23 cm

Cetakan Pertama. ... 2023

ISBN : ...

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, karunia, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Buku Referensi yang berjudul **“Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri”**. Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyelesaian buku ini.

Penulis berharap agar buku ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dalam memahami pentingnya pengetahuan dasar serta perkembangan ilmu lingkungan. Selain itu, juga dapat mempelajari lebih lanjut pemanfaatan bahan yang berbasis kitosan sebagai inovasi yang efektif untuk penyisihan logam berat pada air.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan pembaca demi perbaikan kedepannya. Terima kasih.

April, 2024

Penulis

PRAKATA

Pencemaran merkuri dalam lingkungan, terutama di perairan, telah menjadi perhatian serius dalam beberapa dekade terakhir. Dampak merkuri terhadap ekosistem air dan kesehatan manusia telah mendorong penelitian intensif untuk menemukan solusi yang efektif dalam mengatasi masalah ini.

Dalam buku yang berjudul "**Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri**". ini akan digali inovasi penggunaan kitosan sebagai agen penyisihan merkuri (II) dari air, dengan menggunakan pelet komposit yang menggabungkan kitosan dengan abu layang. Kitosan, sebagai produk turunan dari kitin yang diperoleh dari sisa-sisa industri perikanan, memiliki sifat-sifat yang memungkinkannya untuk digunakan sebagai agen penyerap yang efektif. Abu layang, sebagai limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara, memberikan kontribusi tambahan dalam meningkatkan efisiensi proses penyisihan.

Dalam perjalanan membaca buku ini, pembaca akan dibimbing melalui pemahaman yang mendalam tentang karakteristik merkuri dalam lingkungan air, sifat-sifat kitosan, serta proses pembuatan dan karakterisasi pelet komposit. Kami juga memaparkan hasil penelitian terkait kinerja pelet komposit dalam

menghilangkan merkuri dari larutan air, serta pertimbangan aplikasi di lapangan dan arah pengembangan teknologi masa depan.

Kami berharap buku ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam upaya melindungi lingkungan air dari pencemaran merkuri, serta menginspirasi pembaca untuk terlibat dalam penelitian dan inovasi yang lebih lanjut dalam bidang ini. Terima kasih atas minat dan perhatiannya dalam mempelajari topik yang penting ini. Selamat membaca!

April, 2024

Penulis

SINOPSIS

Buku ini membahas inovasi dalam bidang pengolahan air yang difokuskan pada penggunaan kitosan sebagai bahan utama dalam pembuatan pelet komposit untuk penyisihan merkuri (II) dari air tercemar. Kitosan, yang merupakan polimer alami hasil deasetilasi kitosan, dipilih karena sifatnya yang biokompatibel, biodegradabel, dan kemampuannya dalam mengadsorpsi logam berat. Dalam buku ini, penulis mengeksplorasi berbagai teknik dan metode untuk meningkatkan efisiensi kitosan dalam mengadsorpsi merkuri, termasuk modifikasi kimia dan fisik dari kitosan.

Bagian awal buku menjelaskan latar belakang pentingnya pengolahan air dari kontaminasi merkuri, sebuah logam berat berbahaya yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius. Pembaca diperkenalkan pada dasar-dasar kimia kitosan, termasuk struktur molekul dan sifat-sifat fungsionalnya. Penulis juga memberikan gambaran umum tentang sumber dan penyebaran merkuri dalam lingkungan serta metode-metode konvensional yang digunakan untuk penyisihan merkuri dari air, serta kelemahan-kelemahan dari metode tersebut.

Selanjutnya, buku ini mendalami proses pembuatan pelet komposit dengan menggabungkan kitosan dan abu layang, sebuah limbah industri dari

pembakaran batu bara yang kaya akan silika dan alumina. Kombinasi ini menghasilkan material adsorben yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penulis menggambarkan secara rinci prosedur pembuatan pelet komposit, mulai dari persiapan bahan baku, teknik pencampuran, hingga proses pembentukan dan pengeringan pelet. Studi laboratorium yang dilakukan menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam penyisihan merkuri (II) dengan menggunakan pelet komposit ini.

Bagian terakhir dari buku ini membahas aplikasi praktis dan potensial penggunaan pelet komposit kitosan-abu layang dalam skala yang lebih besar. Penulis membahas tantangan-tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasi teknologi ini, termasuk aspek ekonomi, lingkungan, dan teknis. Selain itu, buku ini juga menawarkan wawasan tentang penelitian lanjutan yang diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja material komposit ini serta kemungkinan penerapannya untuk penyisihan kontaminan lain dari air.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
PRAKATA	v
SINOPSIS	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	13
BAB I PENDAHULUAN.....	14
BAB II MANFAAT ABU LAYANG.....	24
2.1 Abu Layang.....	24
2.2 Abu Layang Sebagai Adsorben.....	27
2.3 Abu Layang Sebagai Material Semen.....	32
2.4 Abu Layang Pada Bidang Pertanian	34
2.5 Abu Layang Sebagai Katalis	35
2.6. Abu Layang Untuk Geopolimer	39
2.7 Abu Layang Untuk Zeolit	40
2.8 Aktivasi Abu layang	42
BAB III KITOSAN: SIFAT KIMIA DAN FISIKA	47
3.1 Kitosan	47
3.2 Modifikasi Kitosan	56
3.3 Ikat Silang Kitosan	60

3.4 Glutaraldehida.....	61
3.5 Komposit	63
BAB IV ADSORPSI MERKURI	65
4.1 Adsorpsi.....	65
4.2 Adsorben	69
4.3 Logam Merkuri.....	70
4.4 Metode Penghilangan Merkuri	82
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kenampakan warna abu layang (A) dan abu dasar (B) serta hasil SEM abu layang (C) dan abu dasar (D) dengan perbesaran 2000X.....	25
Gambar 2. 2 Model interaksi adsorpsi M^{2+} dengan gugus hidroksil pada ion silikat (a), gugus hidroksil pada asam Lewis yaitu ion Al (III) (b), dan interaksi dengan gugus hidroksil pada Al-OH (c).	29
Gambar 2. 3 Skema pendekatan percobaan pembuatan zeolit dari abu layang	41
Gambar 2. 4. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang sebelum diaktivasi.....	43
Gambar 2. 5. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang setelah diaktivasi secara fisika.....	44
Gambar 2. 6. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang setelah diaktivasi secara kimia	46
Gambar 3. 1. Struktur polimer kitin (A) dan kitosan (B).	48
Gambar 3. 2. Deasetilasi kitin menjadi kitosan	49
Gambar 3. 3. Gugus-gugus aktif dari kitosan	49
Gambar 3. 4. Kitosan dalam larutan asam	50
Gambar 3. 5. Bentuk khelat kitosan dengan ion logam	56
Gambar 3. 6. Reaksi antara alumina oksalat dengan kitosan.....	59
Gambar 3. 7. Struktur glutaraldehida.....	62
Gambar 3. 8. Skema reaksi kitosan-glutaraldehida.....	62

Gambar 4. 1. Diagram Alir Skala Tingkatan Unit Uji Membran.....95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Sifat khas abu layang dan abu dasar	26
Tabel 2. 2 Komposisi kimia abu layang berdasarkan data ASTM dan EN.....	26
Tabel 2. 3 Perbedaan kapasitas adsorpsi beberapa adsorben terhadap ion logam Zn (II), Cd (II), dan Pb (II).....	30
Tabel 2. 4. Analisa kandungan kimia abu layang batubara.....	42
Tabel 4. 1. Penelitian Adsorpsi Merkuri Menggunakan Berbagai Adsorben.....	74
Tabel 4. 2. Penghilangan karbon merkuri menggunakan karbon aktif	87
Tabel 4. 3. Karakterisasi membran filter yang digunakan untuk menghilangkan merkuri.....	94

BAB I PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) Barito telah mengalami pencemaran logam berat salah satunya yaitu merkuri (Hg) yang merupakan pencemar bersifat racun bagi organisme hidup. Pencemaran merkuri (Hg) tersebut diduga sebagai akibat dari aktivitas penambangan emas di hulu sungai, jalur transportasi batubara, pertanian dan berbagai industri yang ada di sepanjang DAS Barito. Hal ini menjadi titik tolak timbulnya permasalahan lingkungan yang tidak hanya pada kawasan DAS Barito tetapi juga akan berdampak pada kawasan rawa pasang surut.

Air sungai barito pada tahun-tahun terakhir ini dilaporkan telah tercemar oleh logam berat jenis merkuri berdasarkan hasil pemantauan Bapedalda Prov. Kal-Sel, (2009). Dari hasil pemantauan nilai Merkuri (Hg) di sungai Barito dari hasil analisis pada bulan Maret, Juni dan Juli melebihi baku mutu, sedangkan pemantauan bulan april dan September masih diambang batas yang diperbolehkan oleh Peraturan Gubernur nomor 05 Tahun 2007 tentang Peruntukan dan Baku Mutu Air sungai yaitu nilai tertinggi adalah 0,001 mg/L.

Hal ini juga sama seperti pengamatan yang dilakukan Sofarini, dkk, 2010, bahwa kadar merkuri

(Hg) rerata pada stasiun pengamatan untuk badan air, biota dan sedimen diperairan muara DAS Barito sebesar $< 0,0003$ mg/L sampai $0,20753$ mg/L dan ini juga melewati ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Kal-Sel dan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001.

Munculnya merkuri di sungai Barito kemungkinan berasal dari kegiatan penambangan emas pada bagian hulu sungai Barito dan sebagian kecil dari alam. Nilai Hg tertinggi pada bagian hulu yaitu perbatasan antara wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah, dimana kegiatan penambangan emas banyak terdapat di wilayah Kalimantan Tengah.

Akumulasi merkuri terjadi secara terus menerus melalui rantai makanan di perairan yang telah tercemar. Merkuri yang masuk kedalam perairan akan mengendap didasar air, kemudian bakteri pada lumpur sungai akan mengubah bentuk merkuri menjadi bentuk organik berupa methylmerkuri yang terkonsentrasi sangat banyak dalam rantai makanan. Selanjutnya ikan akan menyerapnya ketika memangsa plankton atau hewan air yang kecil sebagai makanannya. Semakin besar dan tua ikan semakin banyak menyerap methylmerkuri apalagi jika mereka juga sebagai pemangsa ikan lain atau predator (Firmina, dkk. 2006).

Merkuri merupakan logam berat yang bersifat karsinogenik dan berpotensi mengancam kesehatan

manusia pada konsentrasi yang sangat rendah. Beberapa data telah menunjukkan bahwa merkuri dapat menyebabkan kerusakan otak, gangguan pada hati, ginjal, saluran pencernaan dan sistem saraf pusat, serta bersifat toksik pada sel dengan cara mengikat gugus sulfidril pada intrasel (Inbaraj dkk, 2009). Batas maksimum kadar ion merkuri dalam air minum sebesar $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$ dan batas total limbah ion merkuri yang diizinkan sebesar $10,0 \mu\text{g L}^{-1}$ (Kumar dkk, 2013).

Menyadari ancaman yang begitu besar dari pencemaran logam berat, maka perlu dicarikan cara untuk mengurangi atau mengambil merkuri yang mencemari lingkungan perairan. Terdapat beberapa macam cara untuk mengolah logam berat seperti presipitasi, pertukaran ion, reverse osmosis dan elektrodialisis (Gupta and Ali, 2004; Kurniawan dkk.,2006; Chareerntanyarak, 1999; Pansini dkk., 1991). Namun, berbagai teknologi tersebut mempunyai beberapa kendala, yakni disamping biayanya mahal seringkali juga membutuhkan perlakuan-perlakuan khusus. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari metoda atau teknologi alternatif untuk memisahkan logam-logam berat dan beracun dari air limbahnya yang lebih baik dengan biaya yang lebih ekonomis. Salah satu usaha untuk mengatasi persoalan polutan logam berat dalam air limbah yang sekarang banyak diteliti adalah mencari biosorben

alami yang melimpah dan murah (Babel and Kurniawan, 2003). Teknik adsorpsi mempunyai keunggulan dibandingkan teknik pengendapan karena teknik adsorpsi mampu memisahkan logam berat dalam air limbah meskipun konsentrasi logam berat dalam air limbah sangat rendah hingga kurang dari 1,00 ppm. Sedangkan teknik pengendapan membutuhkan konsentrasi logam berat yang cukup tinggi dan senantiasa masih menyisakan logam berat dengan konsentrasi tertentu yang tidak mungkin dihilangkan dengan teknik pengendapan (Schmul et al, 2001). Biosorben yang melimpah dan murah dapat menjadikan proses pengolahan air limbah menjadi murah karena setelah proses adsorpsi tak perlu dilakukan regenerasi sebagaimana penggunaan karbon aktif dan resin sintetik yang mahal, mengingat proses regenerasi juga membutuhkan biaya (Ozcan and Ozcan, 2005).

Adsorben yang pernah digunakan untuk mengadsorpsi merkuri diantaranya adalah glisidil metakrilat yang dimasukkan dalam selulosa (Kumar dkk, 2013), karbon aktif yang telah mengalami sulfurisasi oleh SO₂ (Asasian dkk, 2013), dan fiber karbon aktif (Nabais dkk, 2006). Silika juga dapat digunakan sebagai adsorben merkuri dan jenis silika tersebut adalah poliakrilamida dan silika hibrid-aerogel poliakrilamida (Hiba dkk, 2010). Bubuk keratin juga

dapat digunakan sebagai adsorben untuk merkuri (Touaibia dan Benayada, 2005). Semua adsorben di atas dapat digunakan untuk mengadsorp merkuri akan tetapi masih memiliki kekurangan diantaranya membutuhkan biaya yang cukup mahal dan preparasi adsorben membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu dibutuhkan adsorben dengan biaya yang cukup murah, efisien, preparasinya tidak lama, dan mudah untuk dioperasikan.

Abu layang merupakan produk samping dari pembakaran batubara (Yao dkk, 2014). Saat ini jumlah limbah abu layang batubara yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat besar, termasuk di Indonesia Abu layang juga dihasilkan dari industri-industri yang memiliki pembangkit sendiri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Tetapi pemanfaatan pembakaran batubara tersebut tidak diimbangi dengan pengolahan abu layang yang masih cukup rendah yaitu 15% dari jumlah yang dihasilkan (Blin dkk, 2001), sehingga membentuk timbunan abu layang.

Timbunan abu layang akan menimbulkan pencemaran dan penurunan kualitas ekosistem yang lebih besar, selain itu dapat menyebabkan infeksi pernafasan, dan semua perkakas, jemuran pakaian kotor terkena abu (Cahyono, 2007). Berdasarkan PP. No. 85 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan

berbahaya dan beracun (B3), abu layang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash) dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu diperlukan tindakan lebih lanjut yang mampu mengolah abu layang menjadi bahan yang lebih bermanfaat.

Abu layang dapat digunakan dan dimanfaatkan sebagai adsorben, karena murah dan efektif untuk menyerap limbah pada lingkungan air (Ramadan dkk, 2010). Selain itu abu layang memiliki komponen utama berupa silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan sejumlah karbon yang tidak terbakar, komponen ini memiliki peranan penting dalam proses adsorpsi (Wang dan Wu, 2006). Adsorben abu layang pernah digunakan untuk mengadsorpsi senyawa fenol (Aksu dan Yener, 1999), serta dua jenis senyawa poliklorinat bifenil (PCB) yaitu 2,3,4-triklorobifenil dan 2,2,3,3,4,5,6-heptaklorobifen (Nollet dkk, 2003). Abu layang juga dapat digunakan sebagai adsorben untuk Ni(II) dan Cu(II) (Soco dan Kalembkiewicz, 2013), Zn(II) (Chunfeng dkk, 2009), Mn (Mohan dan Gandhimathi, 2009), Cd (Cho dkk, 2005), dan Cr (Itskos dkk, 2010). Selain itu abu layang dapat digunakan untuk mengadsorpsi ion merkuri (Daci dkk, 2011) yang merupakan ion logam berat dengan sifat toksik sangat tinggi.

Abu layang merupakan adsorben yang cukup murah, efisien, preparasinya sederhana, mudah dioperasikan dan dapat digunakan untuk mengabsorpsi ion logam berat. Abu layang murni pernah digunakan untuk mengadsorpsi Hg dan Pb dalam larutan air, akan tetapi kapasitas adsorpsi untuk Hg cukup rendah yaitu 17% (Kuncoro dan Fahmi, 2013). Hasil yang sama juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Astuti dan Mahatmanti (2010) dengan kapasitas adsorpsi untuk ion Pb sebesar 63%. Modifikasi abu layang menjadi pelet juga pernah dilakukan oleh Papandreou dkk (2007), untuk adsorpsi Cu (II) dan Cd (II), metode ini kurang efektif karena sebagian besar massa abu layang hilang selama proses adsorpsi. Maka diperlukan suatu material yang dapat menjebak abu layang, sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya, salah satunya dengan menggunakan kitosan.

Kitosan merupakan suatu biopolimer dari D-glukosamin yang dihasilkan dari proses deasetilasi kitin dengan menggunakan alkali kuat. Penggunaan kitosan sering memanfaatkan ikatan silang untuk memodifikasi struktur kimia dan teksturnya dengan cara mengikat pada sisi amina atau hidroksil (Poona dkk, 2014). Kitosan merupakan membran yang dapat diikat silang dengan glutaraldehid pada gugus amino (-NH₂). Ikatan silang yang terjadi dapat membentuk pori yang

dapat meningkatkan sifat adsorpsi. Pori yang terbentuk pada membran kitosan akan menjadi tempat amobilisasi abu layang (fly ash) (Gu dkk, 2001). Kitosan sering dimanfaatkan sebagai co-polymer untuk proses adsorpsi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi diantaranya adalah nilai pH larutan, massa abu layang yang digunakan, massa pelet, dan kecepatan pengadukan. Besarnya nilai pH akan mempengaruhi besarnya konsentrasi adsorbat yang teradsorp. Nilai pH optimum kitosan untuk mengadsorp logam berat yaitu 4,0 (Shetty, 2006), sedangkan menurut Ramya, dkk (2011) pH optimumnya sebesar 5,0 dan pH optimum untuk abu layang adalah pada pH 2,88 dan 4,98 (Papandreou dkk, 2007). Selain itu massa abu layang juga akan mempengaruhi besarnya kapasitas adsorpsi, semakin besar massa abu layang maka kapasitasnya semakin besar (Azouaou dkk, 2013). Massa pelet mempengaruhi banyaknya abu layang yang teramobilkan pada pelet. Sedangkan kecepatan pengadukan mempengaruhi homogenitas larutan dan cepatnya analit yang terserap dalam adsorben.

Menurut Papandreou dkk, 2007, abu layang yang menyerupai debu tidak dapat diaplikasikan dalam kolom adsorpsi karena setelah beberapa saat akan terbentuk padatan yang impermeable. Dalam tangki berpengaduk juga akan berakibat pada permasalahan

pemisahan material abu layang dengan larutannya, sehingga penggunaan pellet abu layang dalam kolom adsorpsi tidak akan menimbulkan masalah dan air limbah dapat dengan mudah meresap dalam kolom yang berisi pellet tanpa resiko tersumbat. Selain itu, penggunaan debu abu layang dapat merubah pH air limbah dan menjadi alkali kuat dengan pH lebih dari 11 setelah air limbah diolah. Penggunaan pelet abu layang hanya merubah sedikit pH air limbah setelah diolah tidak lebih dari pH 8 dan ini masih dalam batas yang diperbolehkan.

Papandreou dkk, 2007, mengadsorpsi Cu dan Cd dan pada tahun 2011 mengadsorpsi Pb (II), Zn (II) dan Cr (III) menggunakan pelet yang terbuat dari abu layang, hanya abu layang disini dibuat menggunakan alat peletizer dengan mencampur abu layang dengan air tanpa penambahan bahan perekat dan dibentuk menjadi pelet. Pada tahun 2011, Wen dkk, mengadsorpsi Cr (IV) dalam larutan menggunakan komposit yang terbuat dari kitosan-abu layang, dan komposit nya berupa serbuk.

Santoso, dkk, 2010, melakukan studi komparatif kurva break through pemisahan ion Cu^{2+} dan Ni^{2+} dari larutan dengan pelet komposit cangkang kupang – kitosan terikatsilang dalam up flow fixed bed column dan hasilnya gugus aktif dalam kitosan mempunyai peranan penting dalam menentukan nilai kapasitas

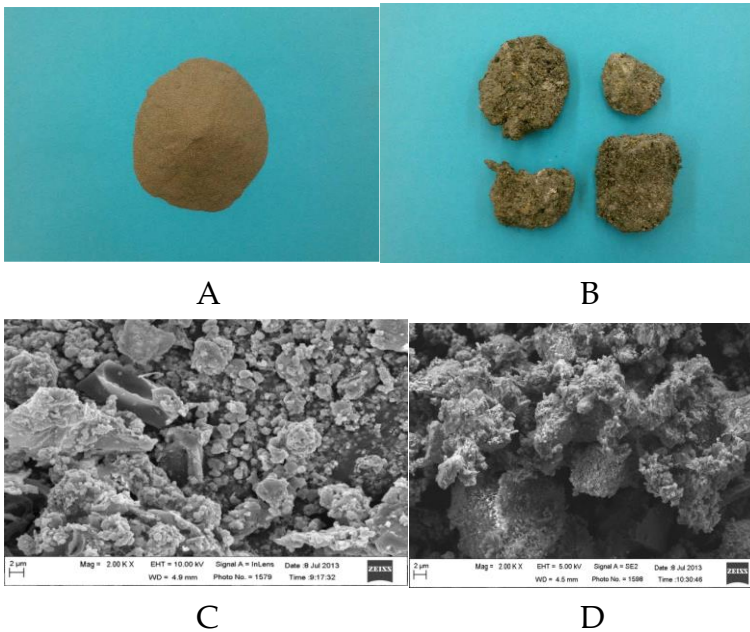
adsorpsi pelet biosorben pada kedua jenis ion logam karena semakin besar kadar kitosan dalam pelet biosorben semakin besar nilai kapasitas dan waktu break through. Waktu break through dan nilai kapasitas adsorpsi pelet biosorben pada ion Cu^{2+} adalah lebih besar dibandingkan pada ion Ni^{2+} .

Oleh karena itu dalam buku ini akan dijelaskan adsorben berupa pelet yang berbentuk granul dari abu layang dengan cara mengkompositkan dengan kitosan yang terikat silang glutaraldehid untuk menurunkan konsentrasi Hg^{2+} dalam larutan dengan adsorben yang telah di buat.

BAB II MANFAAT ABU LAYANG

2.1 Abu Layang

Abu layang atau *fly ash* adalah hasil samping dari pembakaran batubara. Berdasarkan ukuran partikelnya, abu batubara dapat dibedakan menjadi abu dasar (*bottom ash*) dan abu layang (*fly ash*). Abu dasar didefinisikan sebagai abu sisa pembakaran yang jatuh ke bagian dasar tungku pembakar batubara dengan distribusi volume 10 – 15% dari total abu yang dihasilkan, sedangkan abu layang didefinisikan sebagai abu sisa pembakaran batubara yang keluar dari tungku pembakar batubara bersama aliran gas buang dengan distribusi volume 85 – 90% dari total abu yang dihasilkan. Dibandingkan dengan abu dasar, abu layang mempunyai warna yang lebih terang (keabu-abuan) dan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari abu dasar yaitu berukuran 1 – 100 μm (Sukandarrumidi, 1995). Perbedaan sifat abu layang dan abu dasar ditunjukkan dalam Tabel 2.2 dan Gambar 2.1 (Nam *et al.*, 2014).



Gambar 2. 1 Kenampakan warna abu layang (A) dan abu dasar (B) serta hasil SEM abu layang (C) dan abu dasar (D) dengan perbesaran 2000X.

Berdasarkan sifat kimianya, komponen utama dari abu layang adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), serta besi oksida (Fe_2O_3) dan sisanya adalah komponen yang hilang selama pembakaran (Loss of Ignition/LOI) seperti karbon. Menurut ASTM C618 abu layang dibagi menjadi dua kelas yaitu abu layang kelas C dan kelas F. Perbedaan utama dari kedua jenis abu tersebut adalah kadar kalsium, silika, aluminium dan besi. Kadar silika dan alumina yang lebih besar pada abu layang kelas F menjadikan abu layang ini memiliki sifat *pozzolanic*

material yaitu bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina yang tidak bersifat mengikat seperti semen (Wardani,2008).

Tabel 2. 1. Sifat khas abu layang dan abu dasar

Property	Fly Ash	Bottom Ash
Specific Gravity	2.1 – 2.9	2.3 – 3.0
Bulk Density (compacted), lbs/ft ³	65 – 110	65 – 110
Optimum Moisture Content, %	10 – 35	12 – 26
Hydraulic Conductivity, cm/s	10 ⁴ – 10 ⁶	10 ¹ – 10 ³
Porosity	0.40 – 0.50	0.25 – 0.40
Angle of Internal Friction, degrees	25 – 40	35 – 45

Tabel 2. 2 Komposisi kimia abu layang berdasarkan data ASTM dan EN

Class	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Moisture (%)	LOI (%)
ASTM C618				
C	>50	<5	<3	<6
F	>70			<12
Class	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	Reactive silica (%)	LOI (%)
EN 450-1				
A	>70	<3	>25	<5
B				2–7
C				4–9

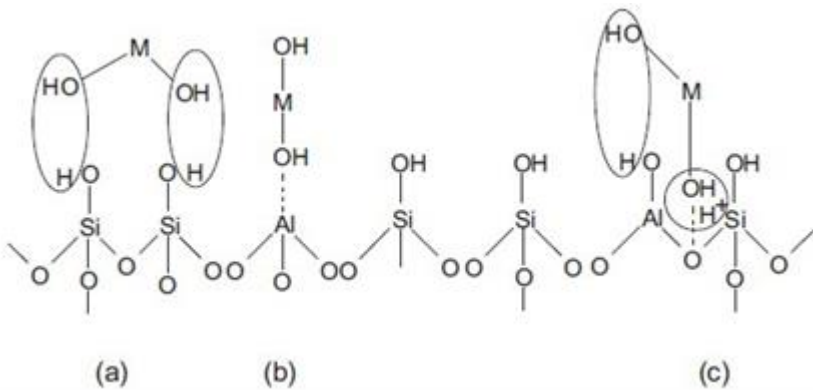
Abu layang terbentuk karena adanya mineral-mineral yang tidak mudah terbakar yang terkandung di dalam batubara, seperti Silika (Si), Alumina (Al), dan Besi (Fe). Karena tingginya kandungan silika dan alumina didalamnya, abu layang dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dan alumina dalam sintesis material zeolit, atau yang umumnya disebut dengan

istilah material mirip zeolit (*zeolite like material/ZLM*). Material hasil sintesis secara teoritis dapat mengambil peranan seperti yang dimiliki oleh zeolit yang disintesis secara komersial, yaitu sebagai adsorben, katalis dan pengayak molekular/*molecular sieve*. Selain itu, abu layang sendiri juga dapat diperlakukan sedemikian rupa hingga menjadi material adsorben silika alumina. Wujud perlakuan tersebut dapat berupa dekomposisi yang bertujuan menghilangkan senyawa pengotor pada abu layang, sehingga dapat memperbaiki struktur kristal, porositas dan daya adsorpsi terhadap beberapa ion logam. Metode dekomposisi yang banyak digunakan adalah pencucian dengan cara refluks abu layang menggunakan larutan alkali seperti NaOH, Na₂CO₃ dan KOH (Murayama *et al.*, 2002) atau larutan asam seperti H₂SO₄. Prinsip dekomposisi tersebut adalah memperkecil hingga menghilangkan kandungan senyawa pengotor yang terdapat pada permukaan abu layang. Penghilangan senyawa pengotor akan menaikkan kristanilitas abu layang, dengan demikian akan menaikkan kinerja abu layang sebagai material katalis atau adsorben (Zhang *et al.*, 2007).

2.2 Abu Layang Sebagai Adsorben

Proses penghilangan ion-ion logam berbahaya dari perairan telah banyak dilakukan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan akibat

akumulasi ion logam. Beberapa teknologi pengolahan limbah telah banyak dikembangkan seperti adsorpsi, pengendapan, ekstraksi, elektrolitik, pemisahan menggunakan membran, pertukaran ion, reverse osmosis atau sistem biologis, dll. Dari beberapa teknologi tersebut teknik adsorpsi telah banyak direkomendasikan untuk menghilangkan ion logam dari perairan karena bersifat lebih efektif dan lebih murah. Teknik adsorpsi menggunakan abu layang sebagai adsorben sangat potensial digunakan dalam pengolahan limbah karena abu layang memiliki komponen kimia dan sifat fisik yang baik. Komposisi kimia abu layang yaitu Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO serta sifat fisik seperti porositas, distribusi ukuran partikel, dan area permukaan (Soco and Kalemkiewicz, 2013) menjadikan abu layang berpotensi menjadi adsorben yang baik seperti adsorben lain misalnya karbon aktif (Bayat, 2002) dan zeolit (Hsing-Cheng, dkk. 2002). Permodelan skema adsorpsi ion logam M^{2+} dalam larutan pada permukaan abu layang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dimana ion logam divalen akan berikatan dengan gugus hidroksil membentuk $\text{M}(\text{OH})_2$.



Gambar 2. 2 Model interaksi adsorpsi M^{2+} dengan gugus hidroksil pada ion silikat (a), gugus hidroksil pada asam Lewis yaitu ion Al (III) (b), dan interaksi dengan gugus hidroksil pada Al-OH (c).

Beberapa aplikasi abu layang sebagai adsorben ion-ion logam berat diantaranya adalah adsorpsi Zn (II) dan Cd (II) menggunakan abu layang dan karbon aktif menunjukkan efektivitas adsorpsi yang sama (Bayat, 2002). Selain itu ion Cu (II), Pb (II) dan Cr (II) juga dapat diadsorpsi menggunakan pelet abu layang dengan kapasitas adsorpsi yang berbeda (Tabel 2.4) karena pengaruh perbedaan kekuatan interaksi ioniknya terhadap gugus aktif abu layang (Papandreou, 2011). Kemampuan adsorpsi ion logam oleh abu layang sangat dipengaruhi oleh faktor pH larutan yang mempengaruhi muatan permukaan abu layang, derajat ionisasi untuk mencegah terjadinya pengendapan ion logam selama proses adsorpsi, dan spesiasi adsorbat

(ion yang diadsorpsi). Contohnya adsorpsi Cu (II) dan Ni (II) dalam limbah menunjukkan kemampuan adsorpsi optimum pada pH yang berbeda. Cu (II) dapat diadsorpsi secara maksimal pada rentang pH 8,00-10,00 sedangkan Ni (II) pada pH 8,00 (Soco and Kalembkiewicz, 2013).

Tabel 2.3 Perbedaan kapasitas adsorpsi beberapa adsorben terhadap ion logam Zn (II), Cd (II), dan Pb (II)

Metal	Adsorbent	Adsorption capacity (mg/g)
Zn ²⁺	Coal fly ash	6.5–13.3
	Fly ash	11.11
	Bagasse fly ash	5.88
	Rice husk ash	14.30
	FA-Z	18.87
Cd ²⁺	Coal fly ash	18.98
	Fly ash	198.2
	Fly ash	1.6–8
	Fly ash zeolite	95.6
	Bagasse fly ash	1.24–2.0
	Rice husk ash	3.04
Pb ²⁺	FA-Z	30.21
	Fly ash washed	483.4
	Fly ash	44.7
	Fly ash	18.8
	Bagasse fly ash	285–566
	Treated rice husk ash	12.61
	FA-Z	2000.0

Kemampuan adsorpsi abu layang juga dipengaruhi sifat fisiknya seperti porositas, distribusi ukuran partikel dan area permukaan. Porositas berkaitan dengan ukuran pori abu layang yang berinteraksi dengan adsorbat. Distribusi ukuran partikel menjadi salah satu faktor penting karena

dengan ukuran partikel yang sama kemampuan interaksi pada permukaan sama sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi. Area permukaan yaitu total area per unit masa berkaitan dengan mobilitas ion logam pada permukaan abu layang (Visa et al.,2012).

Abu layang batubara telah dilakukan penelitian untuk penggunaannya secara langsung sebagai adsorben yang diaplikasikan pada fase gas dan fase cair. Adsorben ini sering sekali digunakan pada aplikasi pengendalian polusi. Pada awal tahun 1984, abu layang batubara telah dipertimbangkan sebagai adsorben yang potensial untuk menghilangkan ion tembaga(II) dari limbah cair industri. Pada analisis percobaan, partikel abu layang batubara merupakan komponen tambahan utama dari hasil isotherm Langmuir yang menghasilkan data desain yang cocok untuk menghasilkan reaktor dengan skala yang terkendali (Blissett dan Rowson, 2012).

Baru-baru ini, penggunaan campuran abu layang batubara dengan komposisi yang berbeda telah dievaluasi untuk menghilangkan berbagai macam ion logam yang berbeda dari limbah cair seperti: Cu, Pb, Zn, Mn, Cd, Cr, dan Ni. Abu layang ini merupakan adsorben yang murah, dapat di aplikasikan untuk menghilangkan logam berat dari limbah cair industri, sehingga dapat dinyatakan bahwa abu layang batubara

memiliki potensi yang besar untuk digunakan pada pengolahan limbah air. Potensi yang dimiliki abu layang batubara ini dibatasi oleh keberagaman komposisi kimia dari abu layang batubara dan besarnya volume abu layang yang dibutuhkan supaya pengolahan limbahnya efektif. Abu layang batubara juga dapat digunakan sebagai adsorben untuk fenol, 2-klorofenol, 2,4-diklorofenol, dan poliakrilat bifenil (PCB) (Blissett dan Rowson, 2012).

2.3 Abu Layang Sebagai Material Semen

Pembagian kelas abu layang yaitu F dan C berdasarkan komposisi kimianya (ASTM C618) menjadikan aplikasi dari kedua kelas berbeda. Abu layang kelas F yang lebih bersifat kurang mengikat atau bersifat kurang *cementitious* (sifat semen yang mudah mengeras ketika bercampur dengan air dan CaO) banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pembuatan semen. Pemanfaatan abu layang F untuk pembuatan semen didasarkan pada kadar SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 yang tinggi (70%) sedangkan kadar CaO rendah (<10%). Sebaliknya abu layang C memiliki kadar total SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 yang lebih rendah (50%) tetapi memiliki kadar CaO yang lebih tinggi dari abu layang F (>20%) (Wardani,2008). Komposisi utama tersebut yang membuat abu layang F bersifat pozzolan atau tidak mengikat, selain itu kadar CaO yang rendah. Sehingga

ketika terjadi kontak dengan air atau pada kelembaban tinggi tidak terjadi proses pengerasan material semen akibat terjadinya kontak antara CaO dengan air.

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan pengembangan kualitas semen dengan material abu layang telah dilakukan mulai dari identifikasi pengaruh komposisi abu layang terhadap kualitas semen hingga pengaruh rasio abu layang yang ditambahkan sebagai campuran semen. Seperti yang tertulis pada ASTM C618 dan EN 450-1 peningkatan kadar LOI mempengaruhi sifat adsorpsi semen karena peningkatan LOI merupakan parameter meningkatnya karbon tak terbakar. Sehingga peningkatan nilai LOI mengindikasikan penurunan kualitas abu layang (Blissett,2012).

Penggunaan abu layang sebagai bahan pengganti material semen juga memiliki keunggulan yaitu berdasarkan International Energy Agency, produksi semen menyumbang sekitar 7% total CO₂ global. Penggantian material semen dengan abu layang dapat mereduksi emisi polutan NO_x dan SO_x dan mengurangi penggunaan sumber daya alam seperti CaO dan batubara sebagai bahan pembuatan semen. Serta mengurangi aktivitas penambangan mineral yang dapat mencemari lingkungan (Sunku,2006).

2.4 Abu Layang Pada Bidang Pertanian

Apikasi abu layang batubara secara langsung dapat dimanfaatkan sebagai agen perbaikan tanah untuk berbagai macam tujuan yang berbeda. Abu layang batubara ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas tanah, sehingga dapat digunakan untuk proses pertanian. Abu layang ini juga dapat digunakan untuk reklamasi material tambang yang mengganggu (Blissett dan Rowson, 2012).

Abu layang merupakan senyawa yang unik, karena dapat menjadi senyawa alkali atau asam, sehingga dapat digunakan untuk menurunkan atau menaikkan pH tanah. Penambahan abu layang batubara yang bersifat alkali pada tanah yang asam dapat meningkatkan nilai pH tanah tersebut, hal ini disebabkan oleh lepasnya ion Ca, Na, Al, dan OH pada kondisi tersebut. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa kemampuan abu layang yang dapat meningkatkan nilai pH pada tanah yang asam adalah dengan menggunakan abu layang kelas C, dengan kata lain abu layang yang memiliki kandungan CaO (>15%). Hal ini juga menunjukkan bahwa abu layang kelas F memiliki kemampuan yang terbatas untuk memperbaiki kondisi tanah yang asam, kecuali untuk abu layang yang mengandung kalsium yang cukup tinggi. Contohnya pada turunan abu layang dari pembakaran batubara coklat dengan nilai equivalen

CaCO₃ sebesar 2,43%, abu layang yang seperti ini dapat meningkatkan pH tanah yang asam (Blissett dan Rowson, 2012).

Penelitian yang lainnya telah menunjukkan keuntungan lain dari penggunaan abu layang pada sistem tanah yaitu untuk meningkatkan tekstur tanah, mengurangi densitas yang besar dari tanah, meningkatkan aerasi tanah, perkolasi, dan mengurangi pembentukan kerak. Selain itu abu layang juga dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan agen perbaikan tanah selain abu layang seperti *fertilizer* atau kapur, sebagai insektisida, dapat menurunkan mobilitas dan tersedianya logam dalam tanah. Akan tetapi abu layang juga memiliki pengaruh yang berbahaya yaitu menurunkan kadar beberapa nutrient yang diakibatkan oleh abu layang alkali yang diterapkan pada tanah. Pengaruh lain dari aplikasi abu layang yang tidak diinginkan yaitu kandungan garam dalam tanah jumlahnya menjadi berlebih dan juga terdapatnya unsur-unsur yang memiliki toksisitas tinggi, contohnya tingginya kadar boron dalam tanah (Blissett dan Rowson, 2012).

2.5 Abu Layang Sebagai Katalis

Penggunaan abu layang untuk proses katalitik telah diamati potensinya untuk mengurangi penggunaan bahan-bahan cadangan yang memiliki

batasan dan/atau bahan yang mahal biaya produksinya. Aplikasi abu layang sebagai katalis dapat digunakan pada katalisis heterogen dan system ini mendapatkan perhatian besar pada bidang penelitian. Katalis heterogen merupakan katalis yang sangat menarik karena seringkali lebih mudah untuk dilakukan recovery katalis setelah reaksi relative selesai terhadap katalis homogen. Katalis heterogen, bahan katalitik pada system ini dapat didukung oleh adanya bahan lain, aktivitasnya tergantung pada kedua komponen aktif dan interaksinya dengan bahan pendukung. Pada umumnya bahan pendukung katalis merupakan golongan logam oksida seperti Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , dan MgO . Perlu diingat bahwa komponen utamanya terdiri dari Al_2O_3 dan SiO_2 , oleh karena ini abu layang memiliki sifat yang diinginkan seperti kestabilan panasnya yang cukup baik untuk digunakan sebagai pendukung. Namun, abu layang juga telah digunakan sebagai komponen aktif katalis (Blissett dan Rowson, 2012).

Abu layang juga telah digunakan sebagai bahan pendukung untuk nikel yang diaplikasikan pada pembentukan ulang (memperbaiki) CO_2 metana. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan antara abu layang dengan CaO sebelum Ni dimasukkan dapat menghasilkan katalis yang memiliki kemampuan konversi yang tinggi dan stabil dengan aktivitas yang

mendekati sistem Ni/Al₂O₃ dan Ni/SiO₂ (Blissett dan Rowson, 2012).

Penelitian lain telah menunjukkan potensi lain yang dimiliki oleh abu layang yaitu sebagai sistem katalitik selektif yang mereduksi NO menggunakan katalis ammonia dengan abu layang yang didukung Fe, Cu, Ni, dan V, dan logam Cu yang dimasukkan dalam abu layang menunjukkan aktivitas yang paling tinggi. Senyawa TiO₂ diketahui efektif untuk reaksi fotokatalitik dan senyawa ini juga telah digunakan pada lapisan abu layang, selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap kemampuannya untuk menghilangkan NO dari aliran gas. Setelah dilakukan pemanasan, maka kecepatan penghilangan NO dapat dilaporkan yaitu sebesar 95% (Blissett dan Rowson, 2012).

Zat warna organik pada limbah air menunjukkan sebuah masalah yang serius karena zat tersebut tidak dapat didegradasi melalui reaksi biologi. Oleh karena itu dikembangkan berbagai macam teknik untuk mengolah limbah zat warna tersebut. Salah satu teknik yang dapat digunakan pada permasalahan ini adalah teknik yang disebut dengan proses oksidasi dengan tingkatan yang lebih maju. Teknik ini dioperasikan berdasarkan pada penggunaan oksidan yang sangat kuat seperti spesies radikal OH. Radikal OH terbentuk ketika H₂O₂ direaksikan dengan ion logam transisi, sinar UV, dan alkali atau asam. Hal ini menunjukkan bahwa

H_2O_2 dapat diaktivasi oleh Fe^{3+} yang ada dalam abu layang dan setelah itu digunakan untuk mengoksidasi zat warna black 5 yang reaktif secara fotokatalitik dan telah disiapkan dari abu layang dengan kandungan besi yang tinggi dengan cara melepaskan ion besi dari abu layang pada kondisi asam dan selanjutnya dilakukan presipitasi FeOH amorf pada permukaan residu abu layang. Kemudian dilakukan pengujian terhadap katalis untuk menentukan aktivitasnya pada degradasi fotokatalitik metil oranye. Katalis ini efektif bekerja pada kondisi pH 9 (Blissett dan Rowson, 2012).

Katalis ini juga dapat digunakan untuk benzen dan toluen. Modifikasi metode ini dilakukan dengan cara, padatan katalis asam nano-kristalin yang secara termal cukup stabil didapatkan dengan cara memasukkan sulfat zircon dalam abu layang melalui teknik sol-gel. Selanjutnya katalis ini diuji kemampuannya pada fasa cair benzilasi dari benzen dan toluen dengan benzyl klorida. Dari data yang telah dilaporkan telah menunjukkan data konversi yang cukup tinggi yaitu untuk benzen 87% dan toluene 93%. Aktivasi abu layang dengan pra-perlakuan asam yang diikuti perlakuan termal, perlakuan tersebut diketahui dapat meningkatkan aktivitas katalitik abu layang dengan bahan pendukung Ru pada dekomposisi ammonia, namun aktivitas katalitik yang dihasilkan

rendah yaitu sebesar 10% dan 15% (Blissett dan Rowson, 2012).

Oksidasi katalitik dari senyawa organik yang *volatile* pada proses termal merupakan suatu metode yang telah digunakan untuk mendegradasi senyawa organik *volatile* pada udara. Abu layang digunakan sebagai komponen aktif yang menjembatani oksiklorinasi serta reaksi oksidasi fenol dan monoklorofenol. Aktivasi asam dari abu layang untuk menghasilkan padatan katalis asam nano-kristalin. Katalis ini dapat dimanfaatkan untuk esterifikasi asam salisilat (aspirin) dan metil salisilat dalam satu tahap tanpa membutuhkan pelarut dan dari metode ini diperoleh hasil lebih dari 90% (Blissett dan Rowson, 2012).

2.6. Abu Layang Untuk Geopolimer

Aktivasi alkali dari aluminosilikat merupakan teknologi yang sering disebut geopolimerisasi, metode ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1970 oleh Joseph Davidovits. Teknologi ini termasuk juga reaksi kimia antara aluminosilikat oksida dan larutan logam alkali silikat pada kondisi basa yang kuat struktur yang dihasilkan dari polimer ini adalah amorf dan semi kristalin dari ikatan Si-O-Al. Geopolimer memiliki sifat fisika, kimia, dan mekanik yang baik, yang termasuk dalam sifat tersebut adalah densitasnya rendah,

memiliki pori berukuran mikro dan nano, penyusutannya rendah, kekuatan mekaniknya tinggi, stabilitas termal yang bagus, permukaannya keras, resisten terhadap api dan senyawa kimia. Geopolimer ini merupakan bahan alternatif yang potensial untuk diterapkan pada industri seperti, konstruksi, transport, pertambangan, dan metalurgi (Blissett dan Rowson, 2012).

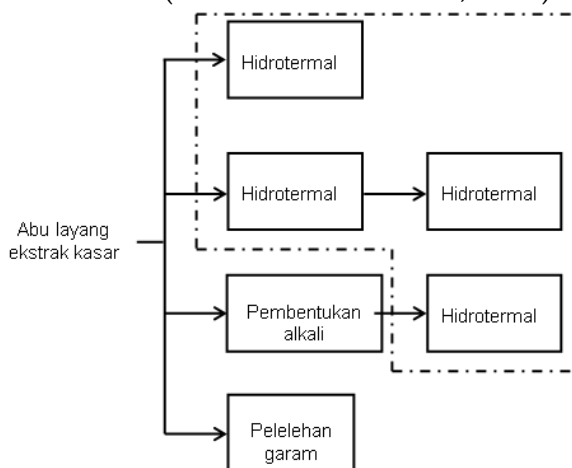
Dalam metode ini terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sifat yang diinginkan dari beberapa produk geopolimer. Kation logam pada aktivator alkalin memiliki peranan penting pada pembentukan jaringan kerja geopolimer. Ketika ion OH^- berperan sebagai katalis reaksi, kation logam alkalin berperan sebagai unsur pembentuk struktur (Blissett dan Rowson, 2012).

2.7 Abu Layang Untuk Zeolit

Zeolit terdiri dari gugus yang penting pada mineral kristalin aluminosilikat yang memiliki perpanjangan anion kerja tiga dimensi yang tidak terbatas dan terbentuk dari $(\text{SiO}_4)^{4-}$ dan $(\text{AlO}_4)^{5-}$. Struktur ini merupakan struktur tetrahedral yang dihubungkan setiap sudutnya melalui penggunaan atom oksigen secara bersama-sama. Oleh karena itu zeolit membutuhkan sumber ion Si dan Al, senyawa alkali yang berasal dari alam, membutuhkan

temperatur yang sesuai untuk proses sintesisnya. Zeolit mungkin dapat dipertahankan kondisinya dalam hitungan jam, hari, minggu atau bulan tergantung pada reaktan alami dan temperatur yang digunakan. Höller dan Wirsching, pertama kali mengaplikasikan sintesis zeolit alkalin hidrotermal menggunakan abu layang sebagai sumber ion Si dan Al. Skema proses sintesis zeolite dari abu layang dtunjukkan pada Gambar 2.3 (Blissett dan Rowson, 2012).

Menurut Höller dan Wirsching, sebagian besar metode pembuatan turunan zeolit dari abu layang menggunakan satu tahap metode hidrotermal. Hambatan utama pada metode sintesis ini adalah reaksi berjalan sangat cepat, rentang temperatur yang digunakan antara 125-200 °C, supaya dapat melarutkan silika dan alumina (Blissett dan Rowson, 2012).



Gambar 2. 3 Skema pendekatan percobaan pembuatan zeolit dari abu layang

2.8 Aktivasi Abu layang

Tabel 6.1 menunjukkan komponen kimia abu layang. Dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar komponen abu layang adalah silikon aluminium dan besi yang berada dalam bentuk oksida. Logam-logam tersebut merupakan komponen aktif dan memiliki peran sebagai adsorben. Adanya komponen ini dibuktikan oleh spektrum sinar-X pada Gambar 5.1 (abu layang sebelum aktivasi) yang menunjukkan bahwa sebagian besar kristalin mengandung kwarsa, gehlenite, anhidrat, magnetite, albite, serta kalsium dan aluminium oksida. Selain itu, dari hasil analisis sinar-X abu layang juga mengandung fase amorf yang ditunjukkan oleh puncak yang melebar yang terletak antara $2\theta = 20^\circ$ dan $2\theta = 30^\circ$

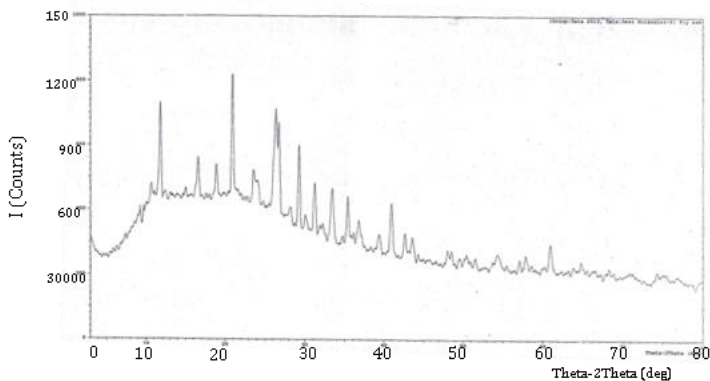
Tabel 2. 4. Analisa kandungan kimia abu layang batubara

Elemen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	dll
%							
Kompo sisi	56.76	18.14	15.35	2.80	2.62	0.17	4.16

2.8.1. Aktivasi Abu Layang Secara Fisika

Aktivasi abu layang merupakan suatu proses untuk mengaktifkan sisi aktif dari abu layang sehingga

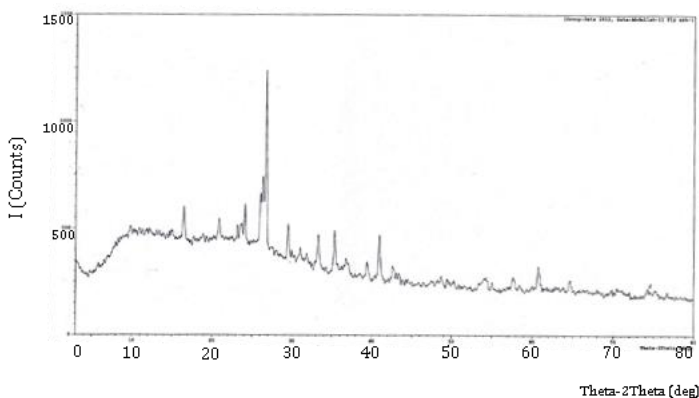
dapat mempercepat proses adsorpsi. Proses aktivasi abu layang bertujuan untuk menghilangkan berbagai pengotor (*impurities*) yang terdapat pada permukaan abu layang sehingga memperluas area permukaan. Area permukaan yang luas memungkinkan kapasitas adsorpsi pada abu layang semakin besar. Aktivasi abu layang dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Salah satu contoh aktivasi secara fisika pada abu layang dapat dilakukan dengan melakukan penggilingan abu layang (Sharma dkk, 2012).



Gambar 2. 4. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang sebelum diaktivasi

Proses aktivasi secara fisika melibatkan pemecahan ikatan, dispersi padatan, peningkatan dan perpindahan kandungan kimia sehingga meningkatkan kekasaran permukaan serta area spesifik permukaan. Proses aktivasi secara fisika telah dibuktikan mampu meningkatkan ukuran area permukaan abu layang (Sharma dkk, 2012).

Hasil analisis sinar-X abu layang yang telah diaktivasi secara fisika ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa fase amorf yang ada pada abu layang sebelum aktivasi telah hilang yang ditunjukkan tidak adanya puncak yang melebar pada $2\theta = 20^\circ$ dan $2\theta = 30^\circ$. Hal ini dapat meningkatkan kemampuan abu layang sebagai adsorben.



Gambar 2. 5. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang setelah diaktivasi secara fisika

Selain itu, aktivasi abu layang secara fisika dapat memperluas area permukaan pori abu layang, sehingga dapat mengadsorp ion merkuri dengan jumlah yang cukup besar. Area permukaan pori abu layang yang semakin luas dibuktikan dari hasil analisis BET yaitu sebesar 31,06 m²/g untuk abu layang yang belum diaktivasi, sedangkan yang telah diaktivasi luas permukaan porinya menjadi 42,87 m²/g. Hal ini dapat terjadi karena pengotor yang terdapat dalam pori abu

layang telah hilang. Hilangnya pengotor pada abu layang dapat meningkatkan luas area permukaan pori sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya untuk mengadsorp ion merkuri

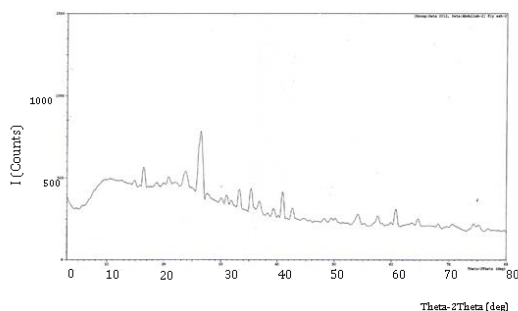
2.8.2 Aktivasi Abu Layang Secara Kimia

Aktivasi abu layang secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan reagen alkali (Palomo dkk, 1999) dan asam (Sharma dkk, 2012). Beberapa contoh reagen asam yang digunakan dalam proses aktivasi adalah HCl, HNO₃, H₂SO₄, HClO₄ (Sharma dkk, 2012). Pada penelitian ini dilakukan aktivasi abu layang secara kimia menggunakan H₂SO₄ dan HCl.

Hasil karakterisasi ukuran pori abu layang secara BET pada kondisi sebelum dan sesudah aktivasi menunjukkan perbedaan yang signifikan. Area permukaan abu layang sebelum proses aktivasi lebih kecil dibandingkan area permukaan abu layang yang telah mengalami proses aktivasi (Sharma dkk, 2012). Hasil analisis BET abu layang adalah ukuran diameter abu layang sebesar $10,428 \times 10^{-7}$ m dengan diameter pori $0,63 \times 10^{-8}$ m. Abu layang ini, sebelum diaktivasi memiliki area pori permukaan sebesar 31,06 m²/g sebelum aktivasi sedangkan setelah aktivasi menjadi 48,49 m²/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivasi dengan larutan asam melibatkan pelepasan logam-logam oksida dan ion alumunium dari lapisan siliko-

alumina pada abu layang sehingga kandungan silika amorf dan area permukaan pori abu layang semakin luas (Sharma dkk,2012).Penjelasan ini didukung oleh hasil analisis sinar-X.

Gambar 2.6 merupakan hasil analisis sinar-X abu layang setelah diaktivasi secara kimia. Dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa fase amorf pada abu layang tidak sepenuhnya hilang karena masih terdapat puncak yang melebar pada $2\theta = 20^\circ$ dan $2\theta = 30^\circ$. Selain itu kandungan logam yang terdapat dalam abu layang jumlahnya berkurang dengan ditunjukkan oleh intensitas puncak yang tidak terlalu tinggi. Hal ini dapat terjadi karena oksida Al ikut bereaksi dengan asam sehingga akan mengurangi sisi aktif abu layang yang mempunyai peranan penting dalam proses adsorpsi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sisi aktif silika dan alumina memiliki peranan yang sangat penting dalam proses adsorpsi (Astuti dan Mahatmanti, 2010).



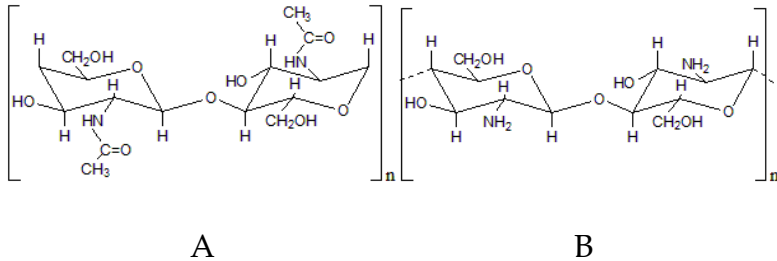
Gambar 2. 6. Hasil analisis menggunakan sinar-X pada abu layang setelah diaktivasi secara kimia

BAB III KITOSAN: SIFAT KIMIA DAN FISIKA

3.1 Kitosan

Kitosan adalah senyawa turunan dari kitin yang telah mengalami proses deasetilasi. Kitin, poli (β -(1 \rightarrow 4)-*N*-asetil-D-glukosamin) merupakan senyawa penyusun dari cangkang udang, cangkang kepiting dan cangkang *crustacea* lainnya (Paniche, 1998). Selain penyusun cangkang pada hewan, kitin juga merupakan senyawa penyusun dinding sel fungi dan yeast (Rinaudo, 2006). Di Indonesia penggunaan bahan baku pembuatan kitosan cukup tersedia, yaitu kulit udang yang merupakan hasil samping (*by product*) industri pengolahan udang beku atau kalengan. Pemanfaatan kulit udang di Indonesia untuk saat ini masih sangat terbatas untuk dijual sebagai bahan campuran pakan ternak dengan nilai jual yang rendah sedangkan hasil samping pengolahan udang ini cukup besar mencapai kisaran 30–40 % dari berat utuh (Himpunan Polimer Indonesia, 1999). Kitosan diperoleh dari kitin melalui beberapa proses diantaranya yaitu deproteinisasi, demineralisasi, penghilangan warna dan deasetilasi. Proses terpenting dari sintesis kitosan dari kitin adalah deasetilasi, yang merupakan proses penghilangan gugus asetil (CH_3CO) pada kitin dan digantikan oleh

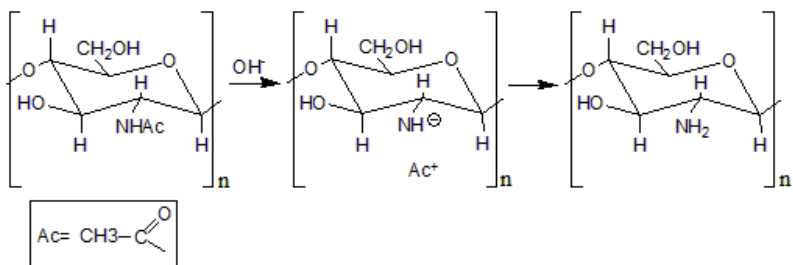
gugus amina (NH_2) pada kitosan (Muzzarelli dan Jolles, 1988).



Gambar 3. 1. uktur polimer kitin (A) dan kitosan (B)

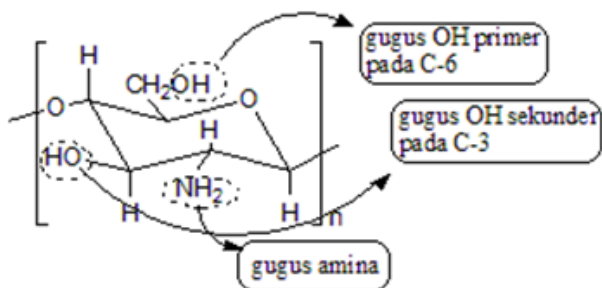
Proses deasetilasi dengan menggunakan alkali pada suhu tinggi akan menyebabkan terlepasnya gugus *N*-asetil (CH_3CO) dari molekul kitin sehingga membentuk amida. Gugus amida pada kitin akan berikatan dengan gugus hidrogen yang bermuatan positif sehingga membentuk gugus amina bebas $-\text{NH}_2$. Dengan adanya gugus amina yang bersifat elektrofil, kitosan dapat mengadsorpsi ion logam dengan membentuk senyawa kompleks (khelat) (Mekawati dkk., 2000).

Dalam kulit udang terkandung 15-20% kitin yang dapat diubah menjadi kitosan dengan cara deasetilasi, yang berguna untuk bidang biomedis, farmasi, kosmetika, industri dan fotografi (Kumar, 2000).



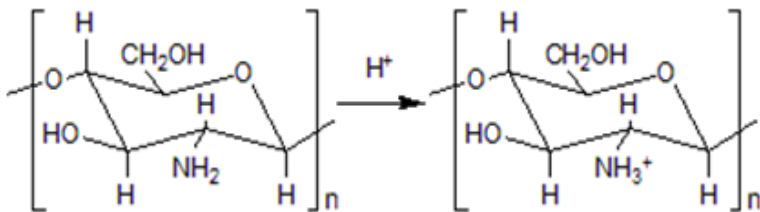
Gambar 3. 2. Deasetilasi kitin menjadi kitosan

Salah satu kegunaan dari kitosan di bidang kesehatan, membran kitosan berfungsi sebagai pelapis bahan obat dalam pembuatan kapsul dengan teknik mikroenkapsulasi (Chen dan Tsaih, 1997). Pembuatan kapsul dari kitosan sebagai selubung obat dikarenakan aktivitas anti asam dan anti luka yang dimiliki kitosan sehingga dapat mencegah atau melemahkan iritasi obat dalam lambung. Selain itu kitosan mampu menggelembung secara perlahan pada media asam (Kumar, 2000). Kitosan hasil dari deasetilasi kitin, larut dalam asam encer seperti asam asetat dan asam formiat.



Gambar 3. 3. Gugus-gugus aktif dari kitosan

Kitosan memiliki gugus-gugus aktif dengan tingkat reaktifitas yang berbeda. Urutan kereaktifitasan dari gugus aktif yang ada pada molekul kitosan adalah $\text{NH}_2 > \text{NH} > \text{OH}$ (pada C_3) $> \text{OH}$ (pada C_6) (Fessenden and Fessenden, 1999). Kitosan tidak larut dalam air, alkohol dan aseton. Kitosan memiliki gugus hidroksil dan amin yang dapat memberi jembatan hidrogen secara intermolekuler atau intramolekuler. Dengan demikian terbentuk jaringan hidrogen yang kuat, dan membuat kitosan tidak larut dalam air. Polimer kitosan dengan berat molekul tinggi memiliki viskositas yang baik dalam keadaan asam. Penurunan pH akan meningkatkan viskositas, yang disebabkan konformasi kitosan yang semakin mengembang akibat daya repulsif antara gugus-gugus amino yang bermuatan positif (Muzarelli dan Jolly, 1999).



Gambar 3. 4. Kitosan dalam larutan asam

Secara garis besar kitosan adalah kitin yang telah mengalami proses penghilangan gugus asetil (deasetilasi) dengan nama lain adalah 2-amino-2-deoksi D-glukopiranosida dengan ikatan $(1 \rightarrow 4) \beta$ (Sanchez et al,

1981 dan Anonim, 1999). Sama halnya dengan kitin, kitosan bukanlah senyawa tunggal, melainkan suatu kelompok kitin terdeasetilasi sebagian, dengan derajat deasetilasi yang beragam, tetapi lebih besar dari 70%. (Bastaman, 1989). Kitin merupakan polimer rantai panjang dan tidak bercabang yang mempunyai bobot molekul besar. Secara terminologi kimia kitin adalah 2-asetamida-2-deoksi D-glukopiranososa (Sanchez et al, 1981). Senyawa ini mirip dengan selulosa yang merupakan hasil pembentukan monomer (unit penyusun yang bergabung satu sama lain). Untuk memperoleh kitin dari cangkang *hewan Crustaceae*, dilakukan beberapa tahapan berikut:

- a. pencucian dengan pelarut organik untuk menghilangkan zat warna
- b. demineralisasi dengan larutan asam untuk melarutkan mineral-mineral yang terikat (umumnya mineral yang ada dalam bentuk $MgCO_3$ dan $CaCO_3$)
- c. deproteinasi dengan larutan basa

Selanjutnya, untuk memperoleh kitosan dari kitin, dilakukan proses deasetilasi melalui reaksi antara kitin dengan larutan pekat suatu basa kuat apada suhu tinggi. Reaksi dengan basa kuat ini menyebabkan lepasnya gugus asetil dari kitin.

Pada dasarnya tidak ada batasan yang baku mengenai sampai sejauh mana kitin telah berubah menjadi kitosan. Akan tetapi, telah disepakati bahwa

kitin yang telah kehilangan setidaknya 70% dari gugus asetilnya telah dapat dikatakan sebagai kitosan. Seberapa besar tingkat deasetilasi ini dapat diamati antara lain dari perbedaan spektra infra merah antar kitin mula-mula dengan hasil deasetilasinya.

Kitosan merupakan senyawa yang tidak larut dalam air, larutan basa kuat, sedikit larut dalam HCl dan HNO₃, dan H₃PO₄, dan tidak larut dalam H₂SO₄. Kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi dan bersifat polielektrolit (Marganof, 2003). Disamping itu, kitosan dapat dengan mudah berinteraksi dengan zat-zat organik lainnya seperti protein. Oleh karena itu, kitosan relatif lebih banyak digunakan pada berbagai bidang industri terapan dan industri kesehatan (Muzzarelli (1986) dalam Marganof, 2003). Disamping itu kitosan tidak larut dalam basa pekat, tidak larut dalam alkohol dan aseton, serta mempunyai bobot molekul $1,036 \cdot 10^5$. (Knorr, 1984).

Hasil isolasi yang telah dilakukan oleh Utami 2010 dengan prosedur kulit udang sebanyak 100 g dicuci sampai bersih lalu dikeringkan dan dihaluskan. kemudian dilakukan deproteinasi dengan NaOH 3,5% (b/v) pada kulit udang dengan perbandingan volume 1:10 pada suhu 120°C selama 90 menit, kemudian disaring dan dicuci sampai bersih hingga diperoleh filtrat netral. Residu yang diperoleh kemudian didemineralisasi dengan HCl 1,0 M dengan

perbandingan volume 1:10 pada suhu 120°C selama 60 menit, lalu disaring dan dicuci sampai diperoleh filtrat yang netral. Pada tahap ini telah diperoleh kitin. Sebanyak 50 g kitin dideasetilasi dengan NaOH 60% (b/v) dengan perbandingan volume 1:20 (kitin : pelarut) pada suhu 120°C selama 90 menit, kemudian disaring. Kitosan yang diperoleh dicuci sampai diperoleh filtrat netral. Kitosan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam., diperoleh kitosan dengan kadar derajat deasetilasi (DD) sebesar 72,3.

Hasil penelitian kitosan dari udang windu oleh Istiqomah (2007), berdasarkan analisa bahan baku dan potensi pasar didapatkan kapasitas produksi sebanyak 100 kg cangkang udang per produksi, dengan sekali produksi akan dihasilkan 4,6 kg bubuk kitosan. Harga pokok produksi 100 g kitosan adalah Rp. 19.600,- dengan keuntungan 35% harga jual kitosan adalah Rp. 26.500,- per 100 g. "Break Event Point" (BEP) dicapai pada penjualan produk sebanyak 6106 kemasan atau senilai dengan Rp. 161.793.584. Secara finansial unit pengolahan kitosan yang dirancang layak dikembangkan dengan "Net Present Value" (NPV) positif sebesar Rp70.421.837,15 dan "Payback Period" selama 6 tahun 4 bulan 18 hari.

3.1.1. Pemanfaatan Kitosan

Berbagai aspek pemanfaatan kitosan telah diteliti, dan beberapa upaya telah dilakukan dalam memodifikasi kitosan untuk meningkatkan kemampuan kitosan dalam pemanfaatannya tersebut. Kitosan dapat digunakan untuk berbagai kegunaan atau penerapan seperti bahan pembentuk film, moisture binder, bahan penstabil (*stabilizer*), pembentuk tekstur (*teksturing agent*), bahan pengemulsi (*emulsifier*), perekat, pengikat logam (*floculant agent*) dan fungsi lainnya (Anomim, 1999, Zikakis, 1984).

Pemanfaatan kitosan umumnya didasarkan pada keberadaan kandungan gugus $-NH_3^+$ yang dapat muatan negatif. Secara umum sifat-sifat kationik dari kitosan meliputi sifat (Skjak-Braek et al, 1989) :

- a. Pengion logam (*chelating metal ions*).
- b. Mempunyai kerapatan muatan yang tinggi.
- c. Polielektrolit yang tinggi.
- d. Menggumpalkan (*flokulan*).
- e. Melekat terhadap permukaan yang bermuatan negatif.
- f. Substansial terhadap kulit dan rambut.
- g. Pemanfaatan kitosan yang lain adalah sebagai pengawet makanan (Pratiwi, 2008)
- h. sebagai anti bakteri pada kain (Purnawan, 2009)
- i. pada bidang kesehatan, sebagai penyerap koleterol

Menurut Skjak-Braek et al, (1989) kitosan mempunyai sifat larutan yang spesifik yaitu dalam bentuk amino bebas, kitosan tidak larut di dalam air yang mempunyai pH netral. Pada pH yang asam, gugus amino bebas ($-NH_2$) menjadi bermuatan positif untuk membentuk amin kationik ($-NH_3^+$). Pada dasarnya sifat larutan kitosan sangat tergantung pada dua kondisi di atas yaitu apakah dalam bentuk amina bebas $-NH_2$ atau amina bermuatan positif $-NH_3^+$.

Salah satu pemanfaatan kitosan yang menonjol sebagai adsorben logam berat, misalnya untuk memisahkan krom dari larutan (Qian, 2000). Sejumlah modifikasi yang telah dilakukan antara lain dengan mengolahnya menjadi kitosan sulfat untuk selanjutnya digunakan dalam adsorpsi Zn(II) (Mahatmanti, 2002); pengikatan silang (*cross linking*) untuk digunakan dalam pemisahan Mn (Qian, 2000); dan pelapisan pada arang dari kelapa sawit (Nomanbhay, 2005).

Kemampuan kitosan dalam mengikat ion logam transisi tergantung pada persentase nitrogen dalam rantai polimernya. Atom N dari gugus ($-NH_2$) memegang peran utama sebagai basa lewis yaitu donor pasangan elektron untuk proses koordinasi dengan ion logam. Kitosan membawa satu gugus amino linier setiap unit glukosanya sehingga kapasitas adsorpsi terhadap ion logam cukup tinggi. Selain gugus amina, kitosan juga memiliki gugus hidroksil yang juga

mampu bertindak sebagai donor pasangan elektron, tetapi kemampuan gugus ini dalam membentuk ikatan koordinasi dengan ion logam relatif rendah.

Gula amino kitosan sangat efektif dalam mengikat ion logam, membentuk kompleks yang stabil dengan ikatan koordinasi (Schmuhl *et al.*, 2001). Umumnya kitosan membentuk khelat dengan ion logam transisi dengan melepaskan ion hidrogen.



Gambar 3. 5. Bentuk khelat kitosan dengan ion logam

3.2 Modifikasi Kitosan

Kitin, polimer berantai lurus tersusun atas residu *N*-asetilglukosamina melalui ikatan β -(1,4) yang terdapat berlimpah di alam setelah selulosa. Kitosan adalah kitin yang telah dihilangkan gugus asetilnya menyisakan gugus amina bebas. Dalam larutan asam, gugus amina bebas merupakan polikationik yang dapat digunakan untuk mengkhelat logam atau membentuk dispersi. Karena dalam larutan asam, kitosan akan menjadi polimer dengan struktur lurus sehingga sangat berguna untuk flokulasi, pembentuk film atau

imobilisasi enzim. Gugus amina bebas dari kitosan akan terprotonasi membentuk gugus amino kationik (NH_3^+) (Rochima *et al.*, 2004).

Menurut Knorr (1982) dalam Rochima *et al.*, (2004) derajat deasetilasi adalah suatu parameter mutu kitosan yang menunjukkan persentase gugus asetil yang dapat dihilangkan dari rendemen kitin. Semakin tinggi derajat deasetilasi kitosan, maka gugus asetil yang terdapat dalam kitosan tersebut semakin sedikit.

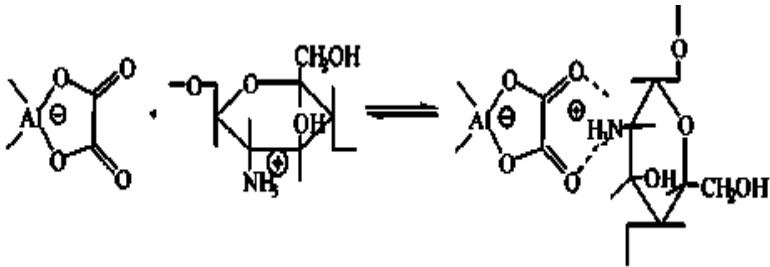
Kitosan merupakan senyawa tidak larut dalam air, larutan basa kuat, sedikit larut dalam HCl, HNO_3 , 0,5% H_3PO_4 sedangkan dalam H_2SO_4 tidak larut. Kitosan juga tidak larut dalam beberapa pelarut organik seperti alkohol, aseton, dimetil formamida dan dimetilsulfoksida tetapi kitosan larut baik dalam asam format berkonsentrasi (0,2-100%) dalam air. Kitosan tidak beracun dan mudah terbiodegradasi. Berat molekul kitosan bergantung pada degradasi yang terjadi selama proses deasetilasi (Pasaribu, 2004).

Sifat kitosan hanya dapat larut dalam asam lemah, seperti asam asetat, asam format, asam sitrat kecuali kitosan yang telah disubstitusi dapat larut air. Adanya gugus karboksil dalam asam asetat akan memudahkan pelarutan kitosan karena terjadinya interaksi hidrogen antara gugus karboksil dengan gugus amina dari kitosan (Dunn *et al.*, 1997) dalam Rochima *et al.*, (2004).

Beberapa peneliti sudah mencoba untuk memodifikasi kitosan untuk memudahkan adsorpsi logam berat dan untuk mengetahui lokasi situs aktifnya. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan untuk mengurangi daya larutnya pada pH lebih rendah yang khas dari pencemaran logam berat pada air limbah. Kawamura *et al* (1993), Rorrer *et al* (1993), Husein dan Rorrer (1995, 1997) dalam Boddu (2003) telah mengevaluasi serapan dari logam berat pada pori butiran kitosan dan ikatan silang kimia dari kitosan *beads*. Biosorben kitosan memerlukan pengembangan modifikasi lebih lanjut untuk kebutuhan komersial.

Material biosorben kitosan sedikit larut pada pH rendah, dan mempunyai suatu kecenderungan untuk mengelompok atau membentuk suatu 'gel' di dalam larutan berair. Perlu diketahui bahwa lokasi ikatan situs aktif pada kitosan tidak dapat untuk melakukan penyerapan secara alami. Oleh karena itu diperlukan strategi agar dapat terjadi penyerapan logam pencemar pada ikatan situs aktif. Sehingga diperlukan dukungan fisik dan meningkatkan aplikasi proses situs pengikatan logam. Karenanya, dalam penelitian Boddu (2003) telah dilakukan upaya adsorpsi logam-logam berat dengan menggabungkan suatu biosorben kitosan pada alumina oksida dan mengevaluasi kemampuan sifat adsorpsi pada kesetimbangan. Studi kolom juga

digunakan untuk mengevaluasi pencapaian dari biosorben.



Gambar 3. 6. Reaksi antara alumina oksalat dengan kitosan

Asam oksalat adalah suatu dikarboksilat yang digunakan sebagai suatu jembatan antara aluminium oksida dan kitosan seperti pada gambar 2.9. Gugus karboksilat merupakan khelat permukaan yang kuat melalui ikatan ester dengan aluminium oksida sedangkan gugus lainnya bersifat ionik (elektrostatik) mengikat -NH₃⁺ pada senyawa kitosan. Asam oksalat juga dapat membentuk ikatan hidrogen dengan -OH, -CH₂OH, atau -NH₂ pada golongan biopolimer (Boddu *et al*, 2003).

Pada penelitian yang dilakukan Rahmi & Julinawati (2009), kitosan sendiri mudah larut dalam asam sehingga perlu dilakukan modifikasi dengan menambahkan *crosslinking agent* seperti glutaraldehida. Penambahan agen pengikat-silang glutaraldehida dapat mengoptimalkan kekuatan ikatan pada adsorben dan tahan terhadap asam. Wan Ngah (2002) pada

penelitiannya menyebutkan meskipun *bead* kitosan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar daripada *bead* kitosan terikat silang, namun *bead* kitosan terikat silang mempunyai ketahanan fisik terhadap asam yang lebih baik daripada *bead* kitosan. Kapasitas adsorpsi *bead* kitosan pada Cu(II) sebesar 80,71 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi *bead* kitosan terikat silang glutaraldehid adalah sebesar 59,67 mg/g. Pada *bead* kitosan terikat silang memiliki nilai desorpsi yang lebih besar bahkan pada pelarut asam yang tinggi yaitu sebesar 95,38 % sehingga memiliki kemampuan regenerasi yang lebih baik dibandingkan dengan *bead* kitosan tanpa terikat silang.

3.3 Ikat Silang Kitosan

Kitosan termasuk salah satu biopolimer yang dimanfaatkan sebagai adsorben. Berdasarkan hasil beberapa penelitian, kitosan merupakan biopolimer yang memiliki kapasitas adsorpsi paling tinggi terhadap ion logam misalnya Pb(II) dan Cd(II) karena gugus fungsi hidroksil dan amina yang dapat mengikat ion logam baik secara adsorpsi kimia maupun fisik (Bamgbose dkk, 2010). Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben melibatkan reaksi ikat silang (*cross-link*) yaitu pembentukan ikatan antara rantai polimer satu dengan lainnya. Agen pengikat silang kitosan yang telah secara luas digunakan adalah glutaraldehid. Glutaraldehid

memiliki gugus aldehid yang akan berikatan dengan gugus amina pada kitosan melalui mekanisme reaksi serangan nukleofil dan membentuk basa *Schiff*.

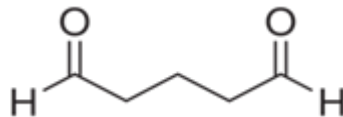
Reaksi ikat silang pada kitosan bertujuan untuk menstabilkan struktur kitosan yang memiliki sifat cepat putus rantai polimernya dalam kebanyakan asam (Schmuhl dkk, 2001). Berdasarkan data spektroskopi ^{13}C NMR, infra merah, dan Raman pada suatu penelitian menunjukkan pembentukan ikatan rangkap *ethylenic* pada interaksi kitosan-glutaraldehid yang mengindikasikan interaksi gugus amina pada kitosan dengan gugus aldehid pada glutaraldehid untuk membentuk ikatan imine (Airoldi dan Monteiro, 1999). Kinetika ikat silang dengan glutaraldehid dipengaruhi oleh kondisi pH larutan. Kinetika ikat silang cenderung lebih cepat pada kondisi di bawah pH netral/basa sedangkan pada kondisi pH asam akan memperlambat kinetika. Hal tersebut dikarenakan gugus amina pada kitosan akan terprotonasi akibat penambahan H^+ pada suasana asam (Wine dkk, 2007).

3.4 Glutaraldehida

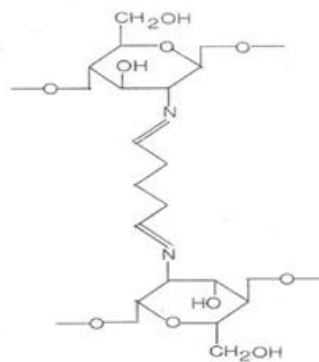
Glutaraldehida adalah suatu senyawa organik dengan rumus molekul $\text{CH}_2(\text{CH}_2\text{CHO})_2$. Dilihat dari strukturnya, glutaraldehida mempunyai 2 gugus karbonil yang reaktif terhadap gugus amina pada kitosan bila direaksikan. Gugus tersebut akan berikatan

kovalen dengan gugus amina dan membentuk jembatan yang menghubungkan polimer kitosan yang satu dengan yang lainnya. Glutaraldehida termasuk agen pengikat-silang yang dapat mengikat kitosan. *Cross-linked* merupakan suatu ikatan yang menghubungkan satu rantai polimer dengan rantai polimer lainnya (Muthoharoh, 2012).

Pada ikat silang kimia, dibutuhkan agen pengikat silang yang mungkin dapat bereaksi dengan zat-zat lainnya. Penambahan agen pengikat silang ini dapat mengoptimalkan kekuatan mekanik zat yang diikat silang. Namun ketika suatu polimer terikat silang dengan senyawa agen pengikat silang, maka polimer tersebut akan kehilangan beberapa sifat yang dimiliki oleh monomer penyusunnya. (Muthoharoh, 2012).



Gambar 3. 7. Struktur glutaraldehida



Gambar 3. 8. Skema reaksi kitosan-glutaraldehida

3.5 Komposit

Komposit adalah perpaduan dari beberapa bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusunnya untuk menghasilkan material baru dan unik, dibandingkan dengan sifat material dasarnya sebelum dikombinasikan, terjadi ikatan antara masing-masing material penyusunnya. Pada umumnya bahan komposit antara dua dan /atau lebih dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Maryono, 2008). Adanya perbedaan dari material penyusun komposit, antara matriks dan pengisi agar berikatan dengan kuat, maka perlu adanya penambahan aditif (*wetting agent*). Berdasarkan bahan matriks yang digunakan, maka komposit dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok:

- a. Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite / MMC*) logam sebagai matriks.
- b. Komposit matriks polimer (*Polimer Matrix Composite / PMC*) polimer sebagai matriks.
- c. Komposit matriks keramik (*Composite Matrix Ceramics / CMC*) keramik sebagai matriks.

Berdasarkan jenis penguatnya, material komposit terbagi menjadi:

- a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel.
- b. *Fiber composite*, penguatnya berbentuk serat.

c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit.

Jenis polimer yang sering digunakan diantaranya:

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. Contoh : Poliester, *Nylon 66*, Polieter sulfon.

2. *Thermoset*

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Contoh: Epoksida, Poli-imida (PI). (Sakti, 2009).

Penelitian mengenai komposit telah banyak dilakukan. Nomanbhay (2005) dalam pembuatan komposit arang cangkang kelapa sawit termodifikasi kitosan pada penyerapan Cr(VI) dan Cr(III) diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 154 mg/g. Penelitian lainnya oleh Farda & Dina (2013) pada pembuatan komposit kitosan-alumina untuk adsorpsi Ni(II), kapasitas adsorpsi yang diperoleh sebesar 6,051 mg/g. Boddu *et al* (2003) juga membuat komposit kitosan dengan alumina dengan kapasitas adsorpsi Cr(VI) sebesar 153,85 mg/g.

BAB IV ADSORPSI MERKURI

4.1 Adsorpsi

Secara umum adsorpsi didefinisikan sebagai akumulasi sejumlah molekul pada batas antarmuka dari dua fasa. Adsorpsi dapat terjadi pada antar fasa padat-cair, padat-gas, atau gas-cair. Molekul yang terikat atau terakumulasi pada bagian antar muka disebut sebagai adsorbat, sedangkan permukaan yang menyerap molekul-molekul adsorbat disebut sebagai adsorben. Pada adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben.

Adsorpsi merupakan peningkatan konsentrasi suatu zat pada permukaan antara dua fase dibandingkan dengan konsentrasi zat tersebut dalam medium pendispersi (Bird, 1987). Berdasarkan jenis ikatan antara bahan yang diadsorpsi dan adsorbennya, maka dibedakan antara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik ditimbulkan oleh adanya gaya van der Waals yang merupakan hasil interaksi dipol-dipol jarak pendek. Pada adsorpsi fisik, kalor yang dihasilkan relatif kecil sehingga adsorben sangat mudah untuk lepas dari permukaan. Kemisorpsi mencakup pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dengan adsorben. Besarnya energi adsorpsi (42–420 kJ/mol)

menyebabkan adsorbat sangat mudah untuk dilepaskan dari permukaan adsorben (Atkins, 1994).

Adsorpsi mudah dilakukan karena reaksinya cepat dan adsorben yang digunakan mudah diperoleh, serta bersifat ramah lingkungan karena ion logam berat yang terikat dapat diperoleh kembali dan dipisahkan sehingga tidak dihasilkan limbah baru yang beracun. Proses adsorpsi melibatkan adsorpsi kimia dan fisika, pertukaran ion, interaksi koordinasi, kompleksasi dan khelatasi (Oscik, 1982)

Adsorpsi atau penjerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penjerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terjerap, adsorbat) pada permukaannya. Berbeda dengan absorpsi yang merupakan penyerapan fluida oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan.

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya.

Adsorpsi fisika berhubungan dengan gaya Van der Waals. Apabila daya tarik menarik antara zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya, maka zat

yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben. Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah. Pada proses ini gaya yang menahan molekul fluida pada permukaan solid relatif lemah, dan besarnya sama dengan gaya kohesi molekul pada fase cair (gaya van der waals) mempunyai derajat yang sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair, yaitu sekitar 2.19-21.9 kg/mol. Keseimbangan antara permukaan solid dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversibel. Adsorpsi dapat memurnikan suatu larutan dari zat-zat pengotornya.

Adsorpsi kimia yaitu reaksi yang terjadi antara zat padat dengan zat terlarut yang teradsorpsi. Adsorpsi ini bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Panas yang dilibatkan adalah sama dengan panas reaksi kimia. Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan, di mana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh bantuan adsorben sehingga efektifitasnya berkurang.

Kecepatan atau besar kecilnya adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya:

1) Macam adsorben

Adsorben yang paling sering digunakan adalah karbon aktif

2) Macam zat yang diadsorpsi (adsorbat)

Macam zat yang diadsorpsi juga sangat berpengaruh karena semakin banyak zat-zat impuritis (zat pengotor) pada suatu fluida atau larutan maka semakin lambat kinetika atau kecepatan penyerapannya (adsorpsi)

3) Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben maka semakin efektif kemampuan menyerap zat-zat impuritis sehingga larutan menjadi lebih murni dan cenderung lebih bersih dari zat-zat impuritis atau zat-zat pengotor tersebut.

4) Konsentrasi zat yang diadsorpsi (adsorbate)

Semakin tinggi konsentrasi maka ion yang dihasilkan juga semakin banyak sehingga mempengaruhi adsorpsi atau penyerapan larutan tersebut.

5) Temperatur

Semakin tinggi temperatur semakin sulit untuk menyerap zat, temperatur lebih efektif digunakan untuk adsorpsi adalah temperatur kamar.

6) Kecepatan putar sentrifugasi

Semakin cepat kecepatan sentrifugasi maka semakin cepat larutan tersebut murni.

4.2 Adsorben

Adsorben merupakan material yang digunakan untuk menjerap molekul adsorbat dalam proses adsorpsi. Karakterisasi adsorben dilakukan terhadap luas permukaan, ukuran pori, dan porositas (Yang, 2003).

Luas permukaan adalah total area permukaan adsorben yang meliputi permukaan eksternal dan internal (dinding pori) yang diukur melalui metode tertentu. Ukuran pori (biasanya dinyatakan sebagai lebar pori) merupakan jarak diantara dua dinding pori. Ukuran pori dibedakan menjadi mikropori (diameter < 2 nm), mesopori (diameter 2-50 nm), dan makropori (diameter > 50 nm) (Do,1998). Suatu adsorben pada umumnya mempunyai distribusi ukuran pori tertentu yang berpengaruh terhadap selektivitas adsorben dalam menjerap suatu molekul (Lowell dan Shields, 1984). Sementara, porositas menunjukkan perbandingan volume pori terhadap volume adsorben sebenarnya (Yang, 2003).

Selain hal tersebut di atas, kemampuan adsorben dalam menjerap adsorbat juga dipengaruhi oleh keberadaan situs aktif adsorben. Dalam hal ini, adsorpsi yang terjadi merupakan kemisorpsi, karena terjadi ikatan kimia antara situs aktif dengan adsorbat. Budhyantoro (2005) telah meneliti adsorpsi ion Ni(II)

oleh abu layang batubara pada berbagai pH larutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH larutan sangat berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi abu layang. Pada pH larutan rendah, situs aktif pada SiO_2 dan Al_2O_3 dapat terprotonasi menjadi bermuatan positif, sehingga sulit menjerap ion Ni(II) yang juga bermuatan positif.

Pengaruh keberadaan situs aktif terhadap kemampuan adsorpsi zat warna *indigo carmine* oleh *apricot stone active carbon* juga telah dipelajari oleh Gad dan Daifullah (2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi zat warna *indigo carmine* tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh luas permukaan spesifik, namun juga dipengaruhi oleh adanya interaksi kimia antara gugus fungsi pada permukaan karbon dengan *indigo carmine*.

4.3 Logam Merkuri

Logam merkuri atau raksa mempunyai nama kimia *hydrargyrum* yang dilambangkan dengan Hg. Logam merkuri memiliki massa molekul relatif 200,59 g/mol, titik leleh $-38,87^\circ\text{C}$, titik didih $356,72^\circ\text{C}$, dan densitas $13,534\text{ g/cm}^3$ pada 25°C . Sifat logam merkuri yang khas dibandingkan dengan bentuk lainnya adalah sangat volatil, dengan tekanan uap $0,3\text{Pa}$ pada 25°C merkuri dapat berubah menjadi fase gas. Sifat kelarutan logam merkuri yaitu relatif tidak larut dalam air (56

$\mu\text{g/l}$) dan tidak larut dalam HCl tetapi larut dalam lemak, asam nitrat, pentana (2,7 mg/l), serta larut dalam H_2S dengan pemanasan (WHO,2003).

Merkuri terdapat pada perairan alami termasuk dalam komponen *trace* karena hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil. Tetapi peningkatan kadar merkuri di perairan berpotensi menyebabkan pencemaran. Pencemaran merkuri dapat disebabkan oleh alam melalui proses pelapukan batuan dan peletusan gunung berapi. Selain itu kadar merkuri yang tinggi pada perairan juga diakibatkan oleh buangan industri dan akibat sampingan dari penggunaan senyawa-senyawa merkuri di bidang pertanian (Budiono, 2003).

Merkuri dapat berada dalam bentuk metal/murni, senyawa anorganik dan senyawa organik. Beberapa kemungkinan bentuk merkuri yang masuk ke dalam lingkungan perairan alam, yaitu (Budiono, 2003).

- a. Sebagai merkuri anorganik yang bersifat stabil terutama pada pH rendah, melalui hujan, *run-off* ataupun aliran sungai
- b. Sebagai merkuri organik dari kegiatan pertanian (pestisida), yaitu fenil merkuri ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-Hg}$), metil merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) dan alkoksialkil merkuri atau metoksi alkil merkuri ($\text{CH}_3\text{O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Hg}^+$).
- c. Terikat dalam bentuk *suspended solid* sebagai Hg^{2+2} (ion merkuro), mempunyai sifat reduksi yang baik.

d. Sebagai logam merkuri (Hg^0), melalui kegiatan perindustrian dan manufaktur. Hg^0 memiliki sifat reduksi yang tinggi, berbentuk cair pada temperatur ruang dan mudah menguap.

Limbah merkuri dari polusi industri sering dalam bentuk merkuri anorganik yang dapat mengalami transformasi menjadi dimetil merkuri dengan bantuan aktivitas mikroba, baik pada kondisi aerob maupun anaerob. Pada kadar merkuri anorganik yang tinggi pembentukan monometil merkuri dipengaruhi oleh keberadaan mikroba, karbon organik, kadar merkuri anorganik, pH, dan suhu. Merkuri dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi pada biota perairan, baik secara langsung ataupun melalui jaring makanan (Effendi, 2003).

Toksisitas merkuri pada manusia bergantung pada bentuk komposisi merkuri, jalan masuknya ke dalam tubuh, dan lamanya berkembang. Contohnya adalah bentuk merkuri (HgCl_2) lebih toksik daripada bentuk merkuro (HgCl). Hal ini disebabkan karena bentuk divalen lebih mudah larut dari pada bentuk monovalen. Di samping itu, bentuk HgCl_2 juga cepat dan mudah diabsorpsi sehingga daya toksisitasnya lebih tinggi (Alfian, 2001). Bentuk organik seperti metilmerkuri, sekitar 90% diabsorpsi oleh dindingusus, hal ini jauh lebih besar daripada bentuk anorganik (HgCl_2) yang hanya sekitar 10%. Akan tetapi, bentuk merkuri

anorganik ini kurang bersifat korosif daripada bentuk organik. Bentuk organik tersebut juga dapat menembus *barrier* darah dan plasenta sehingga dapat menimbulkan pengaruh teratogenik dan gangguan saraf (Darmono, 1995).

Analisis konsentrasi merkuri pada manusia maupun mamalia lain telah dilakukan dengan menggunakan sampel darah, urin, jaringan tubuh, rambut, dll menggunakan berbagai metode (WHO.2008). Beberapa metode yang sering digunakan adalah AAS, *atomic fluorescence spectrometry* (AFS), *neutron activation analysis* (NAA), MS, spektrofotometri, *anodic stripping voltammetry* (ASV). Selain sampel biologis, analisis cemaran merkuri juga dilakukan pada lingkungan seperti air, tanah, ikan, dll (Morita, dkk.1998).

Beberapa penelitian untuk mengurangi kadar merkuri dalam perairan telah dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah metode adsorpsi karena lebih efisien dan ekonomis. Metode adsorpsi terhadap ion merkuri banyak dikembangkan menggunakan adsorben berbahan alam seperti zeolit, karbon yang dimodifikasi dengan aktivasi, serta zeolit sintesis. Pada tahun 1987 dua ilmuwan dari India melakukan penelitian untuk mengadsorpsi merkuri(II) menggunakan abu layang yang diaktivasi dengan HNO₃ 0,05N dan serbuk karbon

aktif. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi abu layang terhadap merkuri(II) lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif (Sen dan Arnab,1987). Tabel 4.1. menunjukkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan untuk mengurangi pencemaran merkuri.

Tabel 4. 1. Penelitian Adsorpsi Merkuri Menggunakan Berbagai Adsorben

Nama peneliti dan tahun	Metode yang digunakan (adsorben)	Hasil penelitian	Kelemahan
Baba dkk, 2006	Glycidylmethacrylate-divinylbenzene microspheres yang mengandung gugus amino	Memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi	Semakin besar BM GD maka konsentrasi nitrogen semakin kecil dan menyebabkan kapasitas adsorpsinya menurun dan kapasitas adsorpsinya cukup besar yaitu 1,06 mmol/g.
Asasian dkk, 2013	Sulfurisasi karbon aktif dengan SO ₂	Proses sulfurisasi dapat meningkatkan sisi aktif	Biaya yang dibutuhkan cukup mahal, preparasinya lama,

		yang cocok dengan Hg(II) pada karbon aktif	temperature yang digunakan cukup tinggi 700 °C, dan kapasitas adsorpsinya 52%
Olkhovyyk dkk, 2004	Benzoylthio-urea yang dimodifikasi menjadi silika mesopori MCM-48	Kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 6,7 mmol Hg ²⁺) \cong 1,34 g merkuri per gram adsorben	Proses sintesisnya membutuhkan waktu yang cukup lama. Proses regenerasinya menurunkan kapasitas adsorpsi dari adsorben hingga 10% (kapasitasnya menjadi 90%).
Mondal dkk, 2013	Bubuk daun bamboo (BLP)	Kapasitas adsorpsi maksimum untuk BLP yang tidak dimodifikasi , dimodifikasi dengan Triton X-	Preparasi modifikasi adsorben membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu kurang lebih selama 2 hari, pH optimum= 8

		100, dan modifikasi dengan SDS, masing-masing sebesar 27,11; 28,1 dan 31,05 mg/g	Merkuri mengendap menjadi bentuk hidroksida pada pH di atas pH 7. Kapasitas adsorpsinya meningkat bila temperaturnya meningkat. Temperature yang digunakan antara 293–307 K (20–34 °C)
Dawlet dkk, 2013	Arang dari tulang domba yang diimpregnasi dalam $ZnCl_2$	Permukaan BET 83,98 m^2/g dan Volume pori 0,246 cm^3/g	Proses pembuatan adsorben untuk merkuri membutuhkan waktu yang lama. Proses adsorpsinya cukup lama yaitu 2 jam.
Wang dkk, 2014	Thiol- yang kaya akan polihedral oligomer silseskuioksan	Kapasitas adsorpsi untuk Hg^{2+} dan CH_3Hg^+ masing-	Preparasi adsorben membutuhkan waktu yang lama yaitu 66

		<p>masing adalah 12,90 dan 46,73 mg/g, dan efisiensi adsorsi sebesar 93 dan 94% untuk 0.5 $\mu\text{g/L}$ Hg^{2+} dan CH_3Hg^+</p>	<p>jam (2 hari 18 jam). Biaya yang dibutuhkan juga mahal. Rentang linieritas untuk Hg^{2+} adalah 0,005 – 2,0 $\mu\text{g/L}$, batas deteksinya 2 ng/L. sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorben ini tidak dapat digunakan pada konsentrasi Hg^{2+} yang lebih tinggi.</p>
<p>Nabais dkk, 2006</p>	<p>Fiber karbon aktif</p>	<p>Dapat menghilangkan HgCl_2 pada pH 6 dengan rentang 290–710 mg/g</p>	<p>Biaya yang dibutuhkan cukup mahal, tahapan pengadukan pada proses adsorpsi membutuhkan waktu yang cukup lama</p>

			yaitu 24 jam. Temperatur yang diterapkan terlalu tinggi yaitu 800 °C
Liu dkk, 2013	Mesopori hibrida aluminosilikat yang disiapkan dengan abu layang	Kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 20,655 mg/g. pH optimum pada metode ini adalah pH 6.	Preparasi adsorben membutuhkan waktu yang lama. Temperatur yang diterapkan cukup tinggi yaitu 50 °C
Touaibia dan Benayada, 2005	Bubuk keratin	Pada nilai pH diantara 2 dan 10 tidak memberikan pengaruh pada adsorpsi Hg(II)	Proses adsorpsinya membutuhkan waktu yang lama yaitu 3 jam. Hg(II) yang tersisa dari proses adsorpsi masih lebih dari 2 µg/L dan batas maksimum Hg(II) dalam air minum adalah 2 µg/L.

<p>Natale dkk, 2011</p>	<p>Karbon aktif yang berbentuk granul.</p>	<p>Adsorben ini dapat digunakan untuk HgOH⁺ dan Hg²⁺ yang hasilnya lebih bagus daripada untuk HgCl⁺</p>	<p>Adsorben ini sangat sensitive terhadap perubahan pH dan saat proses adsorpsi berlangsung ion Hg berkompetisi dengan ion H₃O⁺, serta temperatur yang diterapkan cukup tinggi yaitu 55 °C</p>
<p>Xing dkk, 2011</p>	<p>Bubuk <i>Lemna minor</i></p>	<p>Dapat digunakan untuk mengadsorpsi ion merkuri baik dalam bentuk anorganik maupun organik.</p>	<p>Preparasi adsorben bubuk <i>Lemna minor</i> membutuhkan waktu sekitar 1 minggu. Kecepatan adsorpsi dari adsorben ini semakin menurun dengan bertambahnya</p>

			konstraksi dari ion merkuri.
Li dkk, 2013	<i>Coke</i> (sejenis batu-bara) aktif melalui fungsionalisasi tiol	Kapasitas maksimumnya 694,9mg/g	tahapan pengadukan saat proses adsorpsi berlangsung membutuhkan waktu 15 jam
Miretzky dan Cirelli, 2009	Kitosan dan turunannya	Memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi untuk ion Hg	Kitosan mudah larut pada pH asam atau di bawah pH 6.
Bandaru dkk, 2013	Turunan tiol pada <i>single wall carbon nanotubes</i>	Kapasitas adsorpsi sebesar 131 mg/g dapat menurunkan kadar Hg(II) hingga 99,8 %.	Adsorben ini tidak dapat digunakan pada temperatur antara 120 dan 600 °C, karena sebagian besar massa adsorben akan hilang. Dan hanya dapat digunakan sebanyak 5 kali siklus (adsorpsi dan desorpsi)

<p>Ramadan dkk, 2010</p>	<p>Aerogel silika, poliacrilamida dan silika hibrida- poliacrilamida</p>	<p>Kapasitas adsorpsi rata-rata sebesar 82%</p>	<p>Proses adsorpsinya (waktu kontak) memerlukan waktu yang cukup lama yaitu 24 jam dan pH optimumnya telalu basa yaitu pH 11, hal ini dapat mengakibatkan ion Hg mengendap menjadi endapan hidroksida (ion Hg mengendap pada pH di atas 7)</p>
<p>Kumar dkk, 2013</p>	<p>Glisidil metakrilat yang dimasukkan dalam selulosa</p>	<p>Kapasitas adsorpsi 37,03 mg/g</p>	<p>Preparasi adsorben memerlukan waktu yang lama.</p>

4.4 Metode Penghilangan Merkuri

4.4.1. Pengelolaan Limbah Merkuri Melalui Metode Adsorpsi

Pengolahan limbah merkuri melalui metode adsorpsi merupakan metode yang umumnya digunakan oleh sebagian besar industri. Pada proses ini, molekul gas pengotor diadsorb di atas permukaan karbon aktif. Karbon merupakan adsorben yang paling disukai karena area permukaannya luas. Yang termasuk dalam sumber karbon meliputi batu bara, kayu dan batok kelapa. Aktivasi dilakukan pada temperatur tinggi di bawah kondisi proses oksidasi yang terkendali. Efisiensi adsorpsi tergantung pada karakterisasi kontaminan, temperatur dan konsentrasi kontaminan. Kapasitas adsorpsi dari beberapa kontaminan tergantung pada jumlah kontaminan yang mungkin dapat diadsorb pada unit massa karbon aktif. Sedangkan senyawa yang teradsorp menunjukkan kapasitas adsorpsi pada rentang 5 hingga 30% dari massa karbon (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.2. Flokulan untuk Pengolahan Limbah Merkuri

Flokulan merupakan senyawa kimia yang menyebabkan flokulasi dari partikel yang tersuspensi pada kondisi cairan menjadi agregat dan membentuk flok. Flokulan telah diaplikasikan secara luas untuk proses pengolahan limbah air dengan tujuan untuk meningkatkan sedimentasi atau meningkatkan penyaringan terhadap partikel yang berukuran kecil.

Flokulan dapat dimanfaatkan pada kolam renang atau air minum untuk membantu menghilangkan logam merkuri yang akan menyebabkan turbiditas air. Sejumlah besar flokulan merupakan kation alumunium, besi, kalsium dan magnesium. Kation berinteraksi dengan anion untuk memfasilitasi proses agregasi. Beberapa senyawa kimia yang demikian dengan pH dan temperature yang tepat akan bereaksi dengan air untuk memproduksi hidroksida yang tidak larut. Hidroksida tersebut, pada presipitasi membentuk rantai panjang dan menjebak partikel kecil pada bentuk flok yang lebih besar (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.3. Pengelolaan Limbah Merkuri Menggunakan Proses Penyaringan Reaktif Blue PRO

Proses penyaringan reaktif *Blue PRO* dapat menurunkan partikulat sebaik pelarutan spesies merkuri menggunakan mekanisme penghilangan multiple. *Blue PRO* merupakan proses pengolahan limbah tersier dan mampu melakukan co-presipitasi dan adsorpsi, batasan pengulangan difusi dilakukan dengan pencucian kembali filternya secara terus menerus dan dilakukan penyaringan partikulat. Media adsorpsi *Hydrous ferric oxide* (HFO) digunakan untuk meregenerasi bagaian dalam filter, menghilangkan merkuri pada rentang yang sangat rendah. Proses pengolahan limbah menggunakan *Blue PRO* biayanya lebih murah jika dibandingkan pada proses pengolahan limbah tersier lainnya, yang digunakan untuk

menghilangkan merkuri yang memiliki konsentrasi rendah. Metode ini juga lebih murah jika dibandingkan dengan metode yang menggunakan membran, osmosis balik, karbon aktif yang berbentuk granul dan sistem koagulasi (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.4. Penghilang Merkuri Menggunakan Bio Film

Bio film terbuat dari mikroorganisme dengan struktur kompleks yang tumbuh pada substrat padat. Pembentukan *bio film* dilengkapi dengan fiksasi mikroorganisme pada permukaan. Pada awalnya, *bio film* ini melekat pada permukaan dengan gaya van der Waals yang lemah. Pada beberapa kasus, *bio film* tidak dapat dipisahkan dengan seketika dari permukaan, senyawa tersebut melekat pada permukaan secara permanen menggunakan sel molekul adhesi (Shafeeq dkk, 2012).

Bio film sangat efisien pada penghilangan spesies molekular logam yang tinggi seperti merkuri pada limbah air dari tanaman alkali klor. Hal yang paling penting tentang *bio film* tersebut adalah sistem operasinya ramah lingkungan dan mudah diregenerasi dengan teknik terakhir. Pertumbuhan *bio film* tersebut dilakukan pada skala besar supaya penghilangan merkuri lebih efisien. *Bio film* tersebut menyediakan jutaan sisi untuk adsorpsi merkuri dan dapat menjadi proses utama di masa depan. Jepang menggunakan teknik ini pada skala medium pada tanaman alkali klor (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.5. Penghilang Merkuri Menggunakan Metode Osmosis Balik

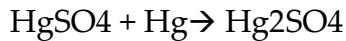
Sistem osmosis balik (*Reverse Osmosis* (RO)) terdiri dari karbon aktif *pre-filter* yang berbentuk granul, membrane RO, tang penyimpanan, dan keran untuk mengalirkan cairan yang mengalir dan mempunyai konsentrasi rendah. Umumnya membrane RO yang digunakan adalah *Thin Film Composite* (TFC) dan *Cellulose Triacetate* (CTA). Membrane TFC relative lebih efisien jika dibandingkan dengan membrane CTA. Kedua membrane tersebut memiliki kecepatan penolakan yang tinggi untuk jenis merkuri dan bagus juga untuk kontaminan lainnya. Metode ini juga murah dan efektif untuk penghilangan logam merkuri (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.6. Penghilang merkuri dengan Cara Presiptasi Kimia

a. Proses Bolkem

Merkuri ditangkap menggunakan HgSO_4 yang dibuat sebagai hasil reaksi merkuri dengan dengan asam sulfat. Proses diawali dengan pengasaman H_2SO_4 dengan konsentrasi 80% pada temperature lebih rendah dari 50 oC. Keadaan kedua dilakukan pada operasi conventional tower pada 93% H_2SO_4 . Selanjutnya, merkuri bereaksi dengan asam membentuk merkurous

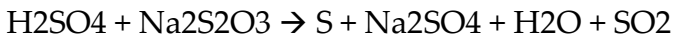
sulfat, dan reaksinya sebagai berikut (Shafeeq dkk, 2012).



Metode seperti ini sering digunakan untuk pengolahan limbah merkuri dan juga tidak menggunakan senyawa kimia yang mahal (Shafeeq dkk, 2012).

b. Presipitasi Sulfida

Sulfur koloidal dapat dibuat dengan menambahkan natrium tiosulfat pada kondisi asam, dengan reaksi di bawah ini.



Awalnya, sulfur bereaksi dengan Hg membentuk kristalin merkuri sulfide (HgS). Sulfur juga bereaksi dengan logam kontaminan lainnya pada keadaan asam untuk menghasilkan logam sapphire. Teknik kerja yang digunakan pada konsentrasi H₂SO₄ yang kurang dari 85%. Konsentrasi asam yang lebih tinggi dapat dihasilkan pada oksidasi sulfur menjadi bentuk sulfur diokasida (SO₂). Produk asam juga mengandung natrium sulfat yang tidak diinginkan pada produk asam. Dosis natrium tiosulfat juga harus dikendalikan, jika tidak dikendalikan akan menghasilkan merkuri sulfide yang tidak mudah disaring. Dengan menggunakan metode ini, konsentrasi merkuri dapat diturunkan dari 15 ppm menjadi 0,5 ppm selama satu jam. Hidrogen sulfida dapat menjadi salah satu sumber penting sulfide untuk presipitasi merkuri yang berdekatan dengan logam lain. Teknik ini lebih disukai saat natrium sulfat tidak diinginkan pada produk akhir.

Pada pH netral, proses ini lebih efisien untuk dijalankan. Proses efisiensi diawali pada menurunnya nilai pH yang dimulai dari nilai pH di atas 9. Pada tanaman alkali klor, proses ini dapat memberikan pilihan yang lebih baik dengan efisiensi dari 95 hingga 99% (Shafeeq dkk, 2012).

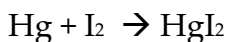
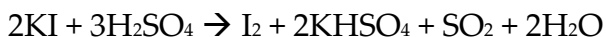
c. Proses Toho

Proses Toho merupakan proses perbandingan dari penambahan kalium iodida dan merkuri yang selanjutnya dipresipitaskan sebagai merkuri iodida. Data perbandingan tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.2. (Shafeeq dkk, 2012).

Tabel 4. 2. Penghilangan karbon merkuri menggunakan karbon aktif

Konsentrasi sampel (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Temperatur pada saat pengaliran (°C)	Efisiensi keberhasilan menggunakan karbon aktif (%)
540	48,6	50	91
533	10,13	100	98,1
535	7,33	124	99

Dalam proses Toho terjadi reaksi sebagai berikut.



Selanjutnya tembaga(II) sulfat ditambahkan dengan kalium iodida menjadi bentuk presipitasi yang lebih stabil dari Cu_2HgI_4 . Pemisahan merkuri hasil

presipitasi dilakukan dengan cara penyaringan (Shafeeq dkk, 2012).

4.4.7. Metode Adsorpsi Menggunakan Butiran Gel Alginate, Pectate, dan Polygalacturonate Calcium

Metode adsorpsi ini hampir sama dengan metode adsorpsi pada umumnya, yang membedakan metode ini dengan metode lain adalah adsorben yang digunakan. Pada metode ini, butiran gel disiapkan seperti metode yang telah digunakan oleh Nurchi dan Villaescusa (2008), serta oleh Fiol dkk (2005) dengan beberapa modifikasi untuk butiran gel Ca-PGA dan Ca-Pect. Setelah butiran-butiran gel tersebut telah terbentuk maka gel tersebut dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi larutan sampel dan siap digunakan untuk adsorben dan menghilangkan logam merkuri. Metode ini cukup efektif jika digunakan untuk menghilangkan limbah logam merkuri dari sampel air (Cataldo dkk, 2013).

4.4.8. Penggunaan Kitosan Sebagai Pengisi Nano Pada Grafit Oksida

Metode adsorpsi ini memanfaatkan kitosan sebagai pengisi nano (*nanofiller*) yang diletakkan didalam pori-pori grafit oksida. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperluas permukaan adsorben, sehingga semakin banyak logam merkuri yang terserap. Setelah adsorben terbentuk, maka system adsorpsi dilakukan dengan metode batch yang dilakukan

dengan menggunakan 1 g/L adsorben untuk setiap waktunya (0,02 g adsorben ditambahkan pada 20 mL air deionasi dalam labu kerucut). Selanjutnya dilakukan pengadukan menggunakan inkubator shaker dengan kecepatan pengadukan 160 rpm. Pengadukan dilakukan pada kondisi temperatur yang terkendali dan pengadukan dilakukan selama 24 jam (Kyzas dkk, 2014).

4.4.9 Penggunaan Protein Susu Sebagai Adsorben

Dalam metode ini protein susu dapat digunakan sebagai adsorben yang dapat menyerap limbah logam merkuri dari sampel air. Dalam metode ini penghilangan merkuri dari larutannya dihubungkan dengan uji air dadih, seluruh susu, kasein dan laktalbumin. Untuk satu porsi 10 g padatan (kasein dan laktalbumin) ditempatkan pada 50 mL larutan, dan dicampur dengan cara dikocok menggunakan shaker selama semalam. Selanjutnya dilakukan ultrafiltrasi pada hari berikutnya untuk menghilangkan protein terlarut dari larutan menggunakan ultrafiltrasi Amicon Diaflo pm-10 (non-ionik). Seluruh cairan susu dan air dadih dicampur sebagai 20 larutan persen voltametri menggunakan 10 mL seluruh larutan susu atau air dadih per 40 mL larutan merkuri dan perlakuan yang sama juga dilakukan untuk pengulangan pengukuran (Michelsen, 1975).

4.4.10. Penyerapan Merkuri Pada Bulik Polimer *p*-xylylene-Aza222 dalam Studi Kolom

Percobaan awal menunjukkan bahwa *swelling* polimer kering secara substansial saat pembasahan, jadi untuk persiapan kolom, polimer (0,80 g) secara manual dasar dengan mortar dan alu untuk *ca.* 0,2 partikel mm, diaduk sebagai suspensi dalam air selama 24 jam, dan kemudian dicampur dengan Celite 545 (0,54 g, Sigma-Aldrich). Suspensi yang dihasilkan dituangkan ke dalam kolom 2 cm³ dan diberi tetapan, menghasilkan bahan dengan dikelola dan konsisten permeabilitas. Suatu larutan HgCl₂ (1,00 %berat, 240 mL) kemudian dilewati, setelah kolom dibilas dengan 640 mL H₂O deionisasi. Lima puluh lima fraksi larutan 15 mL dielusi kemudian dikumpulkan dan dievaluasi untuk konten merkuri mereka melalui api AA. Kemudian, 100 mL HCl 1 M diikuti oleh 400 mL H₂O dilewatkan melalui kolom dan konsentrasi merkuri dalam yang dihasilkan dalam eluen yang ditentukan.

1. Penyerapan Merkuri Dalam Kolom Regenerable

Kolom 2 mL yang diisi dengan 66 mg dari polimer mikropori (pra-dibasahi), dan 5 mL aliquot dari larutan 0,39 % dari HgCl₂, diikuti dengan volum variabel kejenuhan larutan Na₂S yang dilewati dalam siklus. Air (~10 mL) yang dilewatkan antara merkuri dan sulfida untuk mencuci kelebihan elektrolit dan dengan demikian mencegah pembentukan endapan HgS dari pencampuran. Larutan yang dielusi

diencerkan sampai 100 mL dalam labu ukur dan dianalisis dengan nyala api AA. Setelah akhir percobaan resin itu dicerna dalam aqua regia dan dianalisis untuk konten merkuri.

2. Kolom Terobosan (breakthrough)

Polimer berpori (62 mg) adalah dasar dengan mortar dan alu untuk ~ 0,2 mm partikel, swelling dalam air selama 24 jam, dan dicampur dengan 0,54 g Celite-545 (Sigma-Aldrich). Suspensi yang dihasilkan dimasukkan ke dalam kolom 2 mL dan dibiarkan untuk menetap. Suatu larutan HgCl₂ (99 mg/250 mL, 396 ppm) kemudian dilewati dalam 10 mL bagian. Eluen dikumpulkan dalam botol 20 ml dan kadar merkuri yang ditentukan dengan nyala api AA.

4.4.11. Batch Biosorpsi

Strain *Vibrio parahaemolyticus* PG02 (GenBank nomor akses KC990033) yang digunakan dalam penelitian ini sebagai biosorben yang sebelumnya diisolasi dari Bushehr (Iran) sedimen pesisir dan diidentifikasi sebagai merkuri yang paling resisten strain mikroba dalam sampel (Jafari et al., 2014). Sel-sel hidup dari PG02 memiliki potensi yang baik untuk menghilangkan ion merkuri dari larutan air (Jafari et al., 2014).

Serangkaian percobaan batch yang dilakukan untuk menentukan kondisi optimum untuk biosorpsi.

Percobaan ini dilakukan dalam labu erlenmeyer 250 mL yang berisi 100 ml larutan Hg²⁺. pH dari larutan awalnya disesuaikan pada 6,0 (tidak dikontrol selama percobaan) dan temperatur tetap pada 35 °C. Pengaruh waktu kontak pada kinetika biosorpsi dipelajari dengan empat larutan logam yang berbeda (10, 40, 100, dan 200 mg l⁻¹ Hg²⁺). Sampel telah dihapus pada interval waktu yang teratur sampai 120 menit. Pengaruh pH diselidiki di kisaran 3E7 dalam botol berisi 10 mg l⁻¹ Hg²⁺. Beberapa kontrol termasuk hanya larutan merkuri tanpa biosorben yang dilakukan secara bersamaan dengan percobaan biosorpsi untuk menyelidiki efek pada gelas penghilangan merkuri. Dalam semua prosedur, larutan yang berkontak dengan 1,0 g l⁻¹ pada biosorben dan dishake dengan kecepatan 160 rpm. Biomassa diambil dengan disentrifugasi pada 5000 rpm selama 30 menit. Konsentrasi residu Hg²⁺ dalam supernatan dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom flameless (instrumen PG, AA500). Semua percobaan adsorpsi dilakukan dengan replikasi dan mempunyai interval kepercayaan 95% yang ditentukan untuk setiap set sampel. Kapasitas penyerapan biomassa, q (mol g⁻¹), dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut (Li et al, dalam Jafari dan Cheraghi, 2014):

$$q = \frac{(C_i - C_f) \cdot V}{m}$$

di mana C_i dan C_f adalah konsentrasi merkuri awal dan residual (mol l⁻¹), masing-masing, V adalah volum larutan (dalam liter), dan m adalah berat kering biomassa (dalam gram).

4.4.12. Metode pengolahan limbah merkuri berbentuk koloid menggunakan membran filtrasi

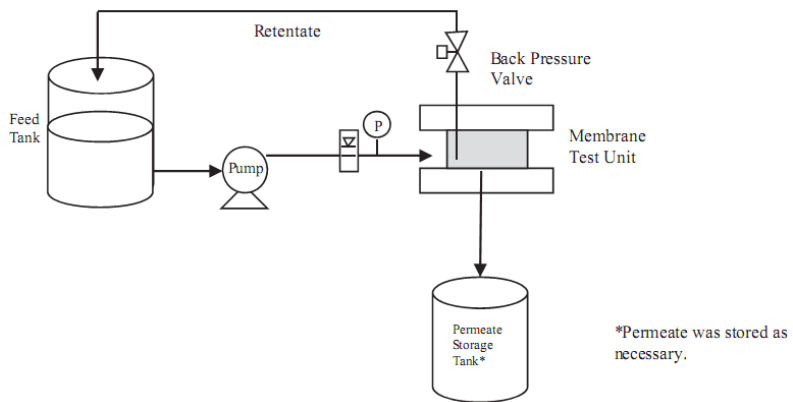
Metode ini merupakan metode yang efektif digunakan untuk sistem pengolahan limbah merkuri yang berbentuk koloid. Metode ini digunakan karena beberapa metode pengolahan limbah yang tradisional seperti presipitasi, pertukaran ion, dan adsorpsi hanya efektif digunakan jika merkuri terlarut dalam air dan dalam bentuk ionnya. Metode tradisional tersebut mungkin tidak efektif digunakan ketika Hg dalam bentuk partikulat atau koloid. Metode ini dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan sel membrane filtrasi. Sel ini dapat digunakan pada berbagai macam aplikasi membrane filtrasi. Dan spesifikasi membran yang digunakan pada metode ini ditunjukkan oleh tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Karakterisasi membran filter yang digunakan untuk menghilangkan merkuri

Jenis filtrasi/industri	Spesifikasi membran			Kondisi tekanan pada saat operasi (bar)
	Polimer	Ukuran pori	Penanda	
Mikrofiltrasi/GE Osmonik	PVDF	0,3 μm	JX	1,01; 2,1
Ultrafiltrasi/Koch	Polisulfon	0,003 μm	HFK-131	1,01; 2,1; 5,2
Nanofiltrasi/GE Osmonik	Lapisan tipis	0 MWCO	DK	1,4; 4,8; 10,3
RO/GE Osmonik	Poliamida	0 MWCO	AD	3,4; 13,8; 55,2

Setelah mengetahui spesifikasi dari membran tersebut, maka sekarang membran dapat digunakan sebagai filter yang dipasang pada alat penyaring limbah. Proses penyaringan limbah pada metode ini sesuai dengan gambar 4.1. yaitu awalnya penentuan kemampuan teknologi membrane filtrasi yang berbeda untuk mencapai target merkuri dengan konsentrasi ($<1,3$ ng/L) dalam efluen (dengan kata lain tanpa praperlakuan atau rafiltrasi). Selanjutnya dilakukan simulasi aliran dinamis dengan unit membrane skala penuh dengan menggunakan unit membrane skala-bench untuk mengevaluasi karakteristik membrane filter, seperti pengotor, metode ini sama baiknya untuk menentukan distribusi ukuran partikel pada limbah air yang disebabkan oleh kilang minyak sebelum dan sesudah pengoperasian membran. Pengamatan secara

sistematik sifat fluks dan penolakan membrane diuji sebagai fungsi tekanan (Demitras dkk, 2012).



Gambar 4. 1. Diagram Alir Skala Tingkatan Unit Uji Membran

DAFTAR PUSTAKA

- Airoldi, C. and Monteiro, O.A.C.,1999.Some Thermodynamic Data on Copper-Chitin and Copper-Chitosan Biopolymer Interactions.*Journal of Colloid and Interface Science.***212**(2):212-219
- Aksu, Z., dan Yener J., 1999.The usage of Fried Activated Sludge and Fly Ash Wastes in Phenol Biosorption/Adsorption: Comparison with Granular Activated Carbon, *Journal of Environ Sci Health Part A.* **34**:1777–96.
- Alfian, Z..2006.Merkuri:Antara Manfaat dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan.Universitas Sumatera Utara.Medan.
- Argin, Sanem, 2008, *Microencapsulation of Probiotic Bacteria in Xanthan-chitosan Polyelectrolyte*, ProQuest Information and Learning Company, United State.
- Asasian, N., Tahereh K., Amirhasan F., Ahmad H.S., Reza A.K., Mohammad K., dan Seyed-Abolfazl M., 2013.Enhanced Mercury Adsorption Capacity By Sulfurization Of Activated Carbon with SO₂ in A Bubbling Fluidized Bed Reactor,*Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.***45** (4):1588-1596

- ASTM C 618, (1994), "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", *American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02. West Conshohocken, Pennsylvania
- Astuti, W., dan Mahatmanti, F. Widhi, 2010. Aktivasi Abu Layang Batubara dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Timbal dalam Pengolahan Limbah Elektroplating, Fakultas Teknik dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Astuti, Widi, dan F. Widhi Mahatmanti, 2010, *Aktivasi Abu Layang Batubara dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Timbal dalam Pengolahan Limbah Elektroplating*, Fakultas Teknik dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
- Ayres, David M., Allen P. Davis dan Paul M. Gietka. 1994. Removing Heavy Metals from Wastewater. *Engineering Research Center Report*. University of Maryland.
- Azouaou, N., Mohamed B., Hassiba M., dan Zahra S., 2013. Adsorption of Lead from Aqueous Solution onto Untreated Orange Barks, *The Italian Association of Chemical Engineering*. **32**:1974-9791.

- Baba, oshinari, Kaoru Ohe, Yuki Kawasaki, dan Spas D. Kolev, 2006, Adsorption of mercury(II) from hydrochloric acid solutions on glycidylmethacrylate–divinylbenzene microspheres containing amino groups, *Reactive & Functional Polymers*, 66, 1158–1164.
- Babel, S. and Kurniawan, T.A., 2003, “Low-cost adsorbent for heavy metals uptake from contaminated water : a review”, *J. Hazardous Mat.*, B97, 219-2433.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah Kalimantan Selatan, 2009. Laporan Tahunan Pengawasan Lingkungan Kalimantan Selatan. Banjarmasin
- Bamgbose, J.T., Adewuyi, S., Bamgbose, O., and Adetoye, A.A., 2008. Adsorption Kinetics Of Cadmium and Lead by Chitosan, *American Journal of Biotechnology*. 9(17):2560-2565
- Bandaru, Narasimha Murthy, Nekane Reta, Habibullah Dalal, Amanda V. Ellis, Joseph Shapter, dan Nicolas H. Voelcker, 2013, Enhanced adsorption of mercury ions on thiol derivatized single wall carbon nanotubes, *Journal of Hazardous Materials*, 261, 534–541.
- Basuki, B.R & I G.M.S. 2009. Sintesis Ikat Silang Kitosan dengan Glutaraldehyd serta Identifikasi Gugus

- Fungsi dan Derajat Deasetilasinya. *Jurnal Ilmu Dasar*. **10(1)**: 93-101
- Bayat Belgin. 2002. Combined Removal Of Zinc (II) And Cadmium(II) From Aqueous Solutions By Adsorption Onto High-Calcium Turkish Fly Ash, Water, Air, And Soil Pollution **136**: 69–92
- Beaty, Richard D., dan Kerber, Jack D., 1993, Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry, The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, U.S.A.
- Blin, J.L, Ojtjacques, C., Herrier, G., Su, Bao-Lian, 2001. Kinetics Study of MCM-41 Synthesis, *International Journal of Inorganic Material*. **3**:75-86.
- Blissett, R.S., Rowson, N.A., 2012, A Review of The Multi-Component Utilisation of Coal Fly Ash, *Fuel* **97**:1-23
- Boddu, V. M., Krishnaiah, A., Jonathan, L.T., & Edgar, D.S. 2003. Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater Using a New Composite Chitosan Biosorbent. *Environ. Sci. Technol.* **37**: 4449-4456
- Budiono, A..2003. Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air. Makalah Pengantar Falsafah Sains PPS702. Institut Pertanian Bogor

- Cahyono, B. 2007. Warga Sekitar PLTU, 95 Persen Alami Infeksi Pernafasan. *Harian Suara Merdeka*. 4 Desember 2007.
- Cataldo, Salvatore, Antonio Gianguzza, Alberto Pettignano, dan Isabel Villaescusa, 2013, Mercury(II) Removal from Aqueous Solution by Sorption onto Alginate, Pectate and Polygalacturonate Calcium Gel Beads. A kinetic and Speciation Based Equilibrium Study, *Reactive & Functional Polymers*, 73, 207–217.
- Charemtanyarak, L., 1999. Heavy metals removal by chemical coagulation and precipitation. *Water Science & Technology* 39 (10–11), 135–138.
- Chen, Po-Hui, Ya-Hsi H., Ting-Yun K., Fang-Hsuan L., Juin-Yih L., dan Hsyue-Jen H., 2006. Improvement in the Properties of Chitosan Membranes Using Natural Organic Acid Solution as Solvent for Chitosan Dissolution, *Journal of Medical and Biological Engineering*. 27:23-28.
- Cho, H., Oh D., dan Kim K., 2005. A Study On Removal Characteristics Of Heavy Metals from Aqueous Solution by Fly Ash, *Journal of Hazard Mater*. 127:187–95.

- Chunfeng, Wang, LI Jiansheng, S. Xia, W. Lianjun, dan S. Xiuyun, 2009. Evaluation of Zeolites Synthesized from Fly Ash as Potential Adsorbents for Wastewater Containing Heavy Metals, *Journal of Environmental Sciences*. **21**:127–136.
- Daci, Majlinda N., Nexhat M., Daci, L. Zeneli, S. Gashi, dan D. Hoxha, 2011. Coal Ash As Adsorbent for Heavy Metal Ions In Standard Solutions; Industrial Wastewater and Streams, *Ecology & Hydrobiology*. **11**:129-132.
- Dawlet, Ayjan, Dilnur Talip, Hong Yu Mi, dan MaLiKeZhaTi, 2013, Removal of mercury from aqueous solution using sheep bone charcoal, *Procedia Environmental Sciences*, **18**, 800 – 808.
- Demirtas, Meltem Urgun, Paul L. Benda, Patricia S. Gillenwater, M. Cristina Negri, Hui Xiong, dan Seth W. Snyder, 2012, *Achieving Very Low Mercury Levels in Refinery Wastewater by Membrane Filtration*, *Journal of Hazardous Materials*, 215– 216, 98– 107.
- Fang, Yu dan Hu, Dao-dao, 1999, Cross-Linking of Chitosan with Glutaraldehyde in the Presence of Citric Acid-A New Gelling System, *Chinese Journal of Polymer Science*, **17**, 551–556.

- Farda, E. & Dina K. M. 2013. Penentuan pH Optimum Dan Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Ni(II) Oleh Komposit Kitosan-Alumina. *UNESA Journal of Chemistry*. **2(1)**: 19-23
- Filipkowska, Urszula, Joanna Rodziewicz, dan Ewa Dziadkiewicz, 2008, A Comparison of Sorption Efficiency of Basic Violet 10 onto Chitosan and Fly Ashes and Sawdust Immobilized onto Chitosan, chemistry and application of chitin, XIII, 65–70.
- Firmina, S. E, Syahrul. M, Hatta. M & Ahyar. A. 2006. Analisis Logam Berat Dalam Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsskal) Goreng secara Spektrofotometri Serapan Atom dari Beberapa Daerah di Sulawesi Selatan. *J. Sains & Teknologi*. Vol. 6 No. 1;35-40 ISSN 1411-4674.
- González, A., Navia R., dan Moreno N., 2009, Fly Ashes from Coal and Petroleum Coke Combustion: Current and Innovative Potential Applications. *Waste Manage Res*, 27,976–87
- Gu, Z. Y, Xue, dan Li, 2001. Preperation of the Porous Chitosan Membran by Cryogenic Induced Phase Separation, Polimer of Advanced Technology, *Polymer of advanced technology*. **53**:665-669.
- Gupta, V.K., Ali, I., 2004. Removal of lead and chromium from wastewater using bagasse fly

- ash – a sugar industry waste. *Journal of Colloid and Interface Science* 271, 321–328.
- Gupta, V.K., Ali, I., 2013, *Environmental Water: Chapter 2-Water Treatment for Organic Pollutants by Adsorption Technology*, ISBN:978:-0-444-59399-3
- Himpunan Polimer Indonesia-LIPI, 1999. *Majalah Polimer Indonesia*. ISSN:1410-7864
- Hsing-Cheng, H., Mark, J.R., M. ASCE, Massoud, R.A., S. Chen, dan R. Chang, 2002, *Mercury Adsorption Properties of Sulfur-Impregnated Adsorbents*, *Journal of Environmental Engineering*. 128(11):1080-1089.
- Hwang, J. Y., X. Sun, dan Z. Li, 2002, *Unburned Carbon from Fly Ash for Mercury Adsorption: I. Separation and Characterization of Unburned Carbon*, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 1, 39-60.
- Inbaraj, B. Stephen, J. S. Wang, J. F. Lu, F. Y. Siao, B. H. Chen, 2009. *Adsorption of Toxic Mercury(II) by An Extracellular Biopolymer Poly (γ -glutamic acid)*, *Bioresource Technology*. **100**:200–207.
- Itskos, G., Koukouzias N., Vasilatos C., Megremi I, dan Moutsatsou A., 2010. *Comparative Uptake Study Of Toxic Elements from Aqueous Media*

- by The Different Particle-Size-Fractions Of fly Ash, *Journal of Hazard Mater.***183**:787–92.
- Jafari, Seyed Ali,dan Sama Cheraghi, 2014, Mercury Removal from Aqueous Solution by Dried Biomass of Indigenous Vibrio parahaemolyticus PG02:Kinetic, Equilibrium, and Thermodynamic Studies, *International Biodeterioration & Biodegradation*, *92*, 12-19.
- Jankowski, J., C.R. Ward, D. French, dan S. Groves,2005.Mobility of Trace Elements from Selected Australian Fly Ashes and Its Potential Impact on Aquatic Ecosystems,*Fuel.***85**:243-256
- Kumar, A. Santhana Krishna, M. Barathi, S. Puvvada, dan N. Rajesh, 2013. Microwave Assisted Preparation Of Glycidyl Methacrylate Grafted Cellulose Adsorbent for The Effective Adsorption Of Mercury from A Coal Fy Ash Sample, *Journal of Environmental Chemical Engineering.***1**:1359–1367.
- Kumar, M.N.V.R.,2000.A Review of Chitin and Chitosan Applications.*Reactive and Functional Polymers.***46** (1):1-27
- Kuncoro, Eko Prasetyo, dan Fahmi, Mochamad Zakki, 2013.Removal of Hg and Pb in Aqueous Solution Using Coal Fly Ash Adsorbent, *Procedia Earth and Planetary Science.***6**:377 – 382.

- Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.-Y., Babel, S., 2006. Physicochemical treatment for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal* 118, 83–98.
- Kyzas, George Z., Nikolina A., Travlou, Eleni A., dan Deliyanni, 2014, The Role of Chitosan as Nanofiller of Graphite Oxide for The Removal of Toxic Mercury Ions, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 113, 467–476.
- Li, Lin, Shaobin Wang, dan Zhonghua Zhu, 2006, Geopolymeric adsorbents from fly ash for dye removal from aqueous solution, *Journal of Colloid and Interface Science*, 300, 52–59.
- Li, Zhichao, Liyuan Wu, Huijuan Liu, Huachun Lan, dan Jiuhui Qu, 2013, Improvement of aqueous mercury adsorption on activated coke by thiol-functionalization, *Chemical Engineering Journal*, 228, 925–934.
- Liu, Minmin, Li-an Houa, Beidou Xi, Ying Zhaob, dan Xunfeng Xia, 2013, Synthesis, characterization, and mercury adsorption properties of hybrid mesoporous aluminosilicate sieve prepared with fly ash, *Applied Surface Science*, 273, 706–716.

- Maryono. 2008. *Komposit Polietilena dengan Serbuk Sekam Padi sebagai Alternatif Bahan Jerigen Plastik*. Tesis. Universitas Sumatra Utara. Medan
- Mekawati, Fachriyah, E. dan Sumardjo, D., 2000. Aplikasi Kitosan Hasil Transformasi Kitin Limbah Udang (*Penaeus merguensis*) untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal, *Jurnal Sains dan Matematika FMIPA Undip Semarang*. 8(2):51-54
- Michelsen, Donald L., James A. Gideon, Gerald P. Griffith, John E. Pace, dan Hidavet L. Kutat, 1975, Removal of Soluble Mercury from Waste Water By Complexing Techniques, *Bulletin*, 74, Department of Chemical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University
- Miretzky, P., dan Cirelli, A. Fernandez, 2009, Hg(II) removal from water by chitosan and chitosan derivatives: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 167, 10–23.
- Mohan, S., dan Gandhimathi, R., 2009, Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 169, 351–359.
- Mondal, Dilip Kumar, Barun Kumar Nandi, dan M.K. Purkait, 2013, Removal of mercury(II) from aqueous solution using bamboo leaf powder:

- Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 891–898.
- Morita, M., Yoshinaga, J., John, S.E., 1998, The Determination of Mercury Species In Environmental And Biological Samples. *Pure & Appl. Chem.*, Vol 70(8):1585-1615.
- Muzzarelli, R.A.A. dan Jolles, P., 1988. *Chitin and Chitinases*. Birkhauser. Berlin.
- Muzzarelli, R.A.A. *et al.*, 1997. *Medical and Veterinary Applications of Chitin and Chitosan*. Birkhauser. Berlin.
- Nabais, Joao Valente, P. J. M. Carrott, M. M. L. Ribeiro Carrott, Marisa Belchior, Dulce Boavida, Tatiana Dially, dan Ibrahim Gulyurtlu, 2006. Mercury removal from aqueous solution and flue gas by adsorption on activated carbon fibres, *Applied Surface Science*. **252**:6046–6052.
- Nam, B.H. *et al.*, 2014. Evaluating the Use of Waste-to-Energy Bottom Ash as Road Construction Materials. Department of Civil, Environmental, and Construction Engineering University Of Central Florida.
- Natale, F. Di, A. Erto, A. Lancia, dan D. Musmarra, 2011, Mercury adsorption on granular activated carbon in aqueous solutions containing

- nitrates and chlorides, *Journal of Hazardous Materials*, 192, 1842–1850.
- Nollet, H., Roels M., Lutgen P., Vander Meeren P., dan Verstraete W., 2003. Removal of PCBs from wastewater using fly ash, *Chemosphere*.**53**:655–65.
- Nomanbhay, S. M. 2005. Removal of Heavy Metal from Industrial Wastewater Using Chitosan Coated Oil Palm Shell Charcoal. *Electronic Journal of Biotechnology*. **8(1)**: 43-53
- Odeh, I., S. Siam, M. Khatib dan Z. Shakhsher, 2009. An Optical Chemical Sensor Based on Polymer Swelling and Shrinking using Dithiocarbamate-Polymer Microspheres, *Jordan Journal of Chemistry*.**4**:55-64.
- Olkhovyyk, Oksana, Valentyn Antochshuk, dan Mietek Jaroniec, 2004, Benzoylthiourea-modified MCM-48 mesoporous silica for mercury(II) adsorption from aqueous solutions, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 236, 69–72.
- Oscar, Palanta, 2012, *Kimia Analisis Jenis (pembentukan Endapan)*,
<http://oscartigasembilan03.blogspot.com/2012/02/kimia- analisis-jenis-pembentukan.html>.11,Juli,2014.

- Ozcan, A. and Ozcan, A.S., 2005, "Adsorption of Acid Red 57 from aqueous solutions onto surfactant – modified spiolite", *J. Hazardous Mat.*, B125, pp. 252-259.
- Pansini, M., Colella, C., De Gennaro, M., 1991. Chromium removal from water by ion exchange using zeolite. *Desalination* 83 (1–3), 145–157.
- Papandreou, A. D., C. J. Stournaras, D. Panias, dan I. Paspaliaris, 2011, Adsorption of Pb(II), Zn(II) and Cr(III) on coal fly ash porous pellets, *Minerals Engineering*, 24, 1495–1501.
- Papandreou, A., C.J. Stournaras, D. Panias, 2007. Copper and Cadmium Adsorption on Pellets Made from Fired Coal Fly Ash, *Journal of Hazardous Materials*.148:538–547.
- Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No. 05 Tahun 2007, Tentang Peruntukan dan Baku Mutu Air Sungai. Bapedalda Propinsi Kalimantan Selatan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. No 82 Tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Kementrian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Poona, Louis, Lee D. Wilsona, dan John V. Headley, 2014. Chitosan-Glutaraldehyde Copolymers

- and Their Sorption Properties, *Carbohydrate Polymers*.**109**:92–101.
- Rahmi & Julinawati. 2009. Application of Modified Chitosan For Adsorben Ionic Cu²⁺ Metal in Diesel Oil. *Jurnal Natural*. **9(2)**: 34-38
- Ramadan, Hiba, A. Ghanem, dan H. El-Rassy, 2010. Mercury Removal from Aqueous Solutions Using Silica, Polyacrylamide and Hybrid Silica–Polyacrylamide Aerogels, *Chemical Engineering Journal*.**159**:107–115.
- Ramya, R., Sankar P., Anbalagan S., dan Sudha P. N., 2011. Adsorption of Cu(II) and Ni(II) Ions from Metal Solution Using Crosslinked Chitosan-G-Acrylonitrile Copolymer, *International Journal Of Environmental Sciences*.**1**: 0976–4402.
- Redko, Mikhail Y., Karrie M. Manes, Julian S. Taurozzi, James E. Jackson, Volodymyr V. Tarabara, 2014, Synthesis and Characterization of Aza222-Based Polymers for the Removal of Mercury from Aqueous Solutions, *Reactive & Functional Polymers*, 74, 90–100.
- Rinaudo, M., 2006. Chitin and Chitosan: Properties and Applications, *Progress In Polymer Science*.**31**:603-632

- Sakti, K. 2009. *Pembuatan Komposit Metal Al Alloy Nano Kerami SIC dan Karakterisasinya*. Tesis. Universitas Sumatra Utara. Medan
- Santoso E, Juwono H, Dwi Jayanti D, Rachmawati R, 2010. Studi komparatif kurva *break through* pemisahan ion Cu^{2+} dan Ni^{2+} dari larutan dengan pelet komposit cangkang kupang – kitosan terikatsilang dalam *up flow fixed bed column*. Seminar Nasional Kimia. ISBN 978-602-98130-0-5. 23 Nopember 2010. Surabaya.
- Schmuhl R., Krieg, H.M., Keizer, K., 2001. Adsorption of Cu (II) and Cr (V) Ions by Chitosan: Kinetics and Equilibrium Studies. *Water S. Afr.* **27**:1-8
- Schmuhl, R., Krieg, H.M., and Keizer, K., 2001, "Adsorption of Cu(II) and Cr(VI) ions by Chitosan :Kinetics and Equilibrium Studies", *Water SA*, **Vol. 27**, No. 1, pp. 79–86.
- Sen, A.K. dan Arnab, K. D..1987. Adsorption Of Mercury(II) by Coal Fly Ash, *Wat.Res.*, Vol 21(8):885-888.
- Settle, Frank A., 1997, *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Shafeeq, Amir, Ayyaz Muhammad, Waqas Sarfraz, Ali Toqeer, Shazib Rashid, dan M. K., Rafiq, 2012, *Mercury Removal Techniques for Industrial*

Waste Water, *World Academy of Science Engineering and Technology*, 6, 12-26.

- Shetty, Ameesha R., 2006. Metal Anion Removal from Wastewater Using Chitosan in A Polymer Enhanced Diafiltration System. Thesis. Faculty of Worcester Polytechnic Institute.
- Soco, E. and Kalembkiewicz, J., 2013, Adsorption of Nickel(II) and Copper(II) Ions from Aqueous Solution by Coal Fly Ash, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1:581-588
- Sofarini, D. Rahman, A dan Ridwan, I., 2010. Studi Analisis Pengujian Logam Berat pada Badan Air, Biota dan Sedimen di Perairan Muara Das Barito, *Jurnal Bumi Lestari*, vol 10. No. 1, Februari, 28-37
- Sudarningsih, Enny Lestiana, dan Totok Wianto, 2013, Analisa Polusi Logam Berat Sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Tabalong Kalimantan Selatan, *Prosiding Semirata*, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat.
- Sugita, P, dkk., 2009. *Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan*. IPB Press. Bogor.
- Sunku, J., 2006, Advantages Of Using Fly Ash As Supplementary Cementing Material (SCM) In Fibre Cement Sheets, IBCC

- Thomas, Sabu, Mathew Sebastian, Anne George, dan Yang Weimin, 2013, *Recycling and Reuse of Materials and Their Products*, Apple Academic Press Inc, Canada.
- Touaibia, Djilali, dan Benayada, Bencheriet, 2005. Removal of Mercury(II) from Aqueous Solution by Adsorption on Keratin Powder Prepared from Algerian Sheep Hooves, *Desalination*.**186**:75–80.
- Verma, V. K., dan Tripathi I. N., 2014, Kinetic Study on The Removal of Mercury by Fly Ash, *Global NEST Journal*, 16, 385-392.
- Visa, M., Isac, L., Duta, A., 2012. Fly Ash Adsorbents for Multi-cation Wastewater Treatment, *Applied Surface Science*.**258**:6345-6352
- Wan Ngah, W.S., Endud & Mayanar, R. 2002. Removal off Cooper (II) ions from aqueous solution onto chitosan and cross-linked chitosan beads. *Reactive and Fuctional Polymers*.**50** : 181-190
- Wang, Shaobin, dan Wu, Hongwei, 2006, Review Environmental-benign utilization of fly ash as low-cost adsorbents, *Journal of Hazardous Materials*, B13, 482–501.
- Wang, Wenjing, Mingli Chen, Xuwei Chen, dan Jianhua Wang, 2014, Thiol-rich polyhedral oligomeric silsesquioxane as a novel adsorbent for

- mercury adsorption and speciation, *Chemical Engineering Journal*, 242, 62–68.
- Wen Yue, Zhiru Tang, Yi Chen, Yuexia Gu, 2011. Adsorption of Cr(IV) from aqueous solutions using chitosan-coated fly ash composite as biosorbent, *Chemical Engineering Journal*, 175, 110-116.
- WHO,2003. Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds:Human Health Aspects.Concise International Chemical Assessment Document 50
- WHO.2008.Guidance for Identifying Populations At Risk from Mercury Exposure.Switzerland.
- Wine, Y.,Cohen-Hadar, N.,Freeman, A., Frolow, F.,2007. Elucidation of the Mechanism and End Products of Glutaraldehyde Crosslinking Reaction by X-Ray Structure Analysis,*Wiley InterScience*.98(3)
- Xing, Li Shun, Zheng Feng-Ying, Huang Yanga, dan Nijian-Cong, 2011, Thorough removal of inorganic and organic mercury from aqueous solutions by adsorption on *Lemna minor* powder, *Journal of Hazardous Materials*, 186, 423–429.
- Xu, Wenqing, Hairui Wan, Tingyu Zhu, Junyan Kuang, dan Pengfei Jing, 2012, Mercury removal from coal combustion flue gas by modified fly ash,

National Engineering Laboratory for Hydrometallurgical Cleaner Production Technology, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing.

- Yao, Z. T., M. S. Xia, P. K. Sarker, dan T. Chen, 2014. A Review of the Alumina Recovery from Coal Fly Ash, With a Focus in China, *Fuel*.**120**:74–85.
- Zhang, B., Wu, D., Wang, C., He, S., Zhang, Z., dan Kong, H., 2007. Simultaneous Removal Of Ammonium and Phosphate by Zeolite Synthesized from Coal Fly Ash As Influenced by Acid Treatment, *Journal of Environmental Sciences*.**19** (5):540-545.
- Zhou, L., Yun-Lin C., Xing-Hua Z., Feng-Ming T., Zhi-Nan Z., 2014. Zeolites Developed from Mixed Alkali Modified Coal Fly Ash for Adsorption Of Volatile Organic Compounds, *Materials Letters*.**119**:140-142.

SINOPSIS BUKU

Buku ini membahas inovasi dalam bidang pengolahan air yang difokuskan pada penggunaan kitosan sebagai bahan utama dalam pembuatan pelet komposit untuk penyisihan merkuri (II) dari air tercemar. Kitosan, yang merupakan polimer alami hasil deasetilasi kitosan, dipilih karena sifatnya yang biokompatibel, biodegradabel, dan kemampuannya dalam mengadsorpsi logam berat. Dalam buku ini, penulis mengeksplorasi berbagai teknik dan metode untuk meningkatkan efisiensi kitosan dalam mengadsorpsi merkuri, termasuk modifikasi kimia dan fisik dari kitosan.

Bagian awal buku menjelaskan latar belakang pentingnya pengolahan air dari kontaminasi merkuri, sebuah logam berat berbahaya yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius. Pembaca diperkenalkan pada dasar-dasar kimia kitosan, termasuk struktur molekul dan sifat-sifat fungsionalnya. Penulis juga memberikan gambaran umum tentang sumber dan penyebaran merkuri dalam lingkungan serta metode-metode konvensional yang digunakan untuk penyisihan merkuri dari air, serta kelemahan-kelemahan dari metode tersebut.

Selanjutnya, buku ini mendalami proses pembuatan pelet komposit dengan menggabungkan kitosan dan abu layang, sebuah limbah industri dari

pembakaran batu bara yang kaya akan silika dan alumina. Kombinasi ini menghasilkan material adsorben yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penulis menggambarkan secara rinci prosedur pembuatan pelet komposit, mulai dari persiapan bahan baku, teknik pencampuran, hingga proses pembentukan dan pengeringan pelet. Studi laboratorium yang dilakukan menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam penyisihan merkuri (II) dengan menggunakan pelet komposit ini.

Bagian terakhir dari buku ini membahas aplikasi praktis dan potensial penggunaan pelet komposit kitosan-abu layang dalam skala yang lebih besar. Penulis membahas tantangan-tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasi teknologi ini, termasuk aspek ekonomi, lingkungan, dan teknis. Selain itu, buku ini juga menawarkan wawasan tentang penelitian lanjutan yang diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja material komposit ini serta kemungkinan penerapannya untuk penyisihan kontaminan lain dari air.

Kitosan dan Abu Layang: Teknologi Hijau untuk Pengolahan Air Tercemar Merkuri

Buku ini membahas inovasi dalam bidang pengolahan air yang difokuskan pada penggunaan kitosan sebagai bahan utama dalam pembuatan pelet komposit untuk penyisihan merkuri (II) dari air tercemar. Kitosan, yang merupakan polimer alami hasil deasetilasi kitosan, dipilih karena sifatnya yang biokompatibel, biodegradabel, dan kemampuannya dalam mengadsorpsi logam berat. Dalam buku ini, penulis mengeksplorasi berbagai teknik dan metode untuk meningkatkan efisiensi kitosan dalam mengadsorpsi merkuri, termasuk modifikasi kimia dan fisik dari kitosan.

Bagian awal buku menjelaskan latar belakang pentingnya pengolahan air dari kontaminasi merkuri, sebuah logam berat berbahaya yang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius. Pembaca diperkenalkan pada dasar-dasar kimia kitosan, termasuk struktur molekul dan sifat-sifat fungsionalnya. Penulis juga memberikan gambaran umum tentang sumber dan penyebaran merkuri dalam lingkungan serta metode-metode konvensional yang digunakan untuk penyisihan merkuri dari air, serta kelemahan-kelemahan dari metode tersebut.

Selanjutnya, buku ini mendalami proses pembuatan pelet komposit dengan menggabungkan kitosan dan abu layang, sebuah limbah industri dari pembakaran batu bara yang kaya akan silika dan alumina. Kombinasi ini menghasilkan material adsorben yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penulis menggambarkan secara rinci prosedur pembuatan pelet komposit, mulai dari persiapan bahan baku, teknik pencampuran, hingga proses pembentukan dan pengeringan pelet. Studi laboratorium yang dilakukan menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam penyisihan merkuri (II) dengan menggunakan pelet komposit ini.

Bagian terakhir dari buku ini membahas aplikasi praktis dan potensial penggunaan pelet komposit kitosan-abu layang dalam skala yang lebih besar. Penulis membahas tantangan-tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasi teknologi ini, termasuk aspek ekonomi, lingkungan, dan teknis. Selain itu, buku ini juga menawarkan

