

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Indonesia menjadi negara dengan konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan urutan kelima di Asia Pasifik setelah China, India, Jepang, dan Korea Selatan. Diperkirakan pada tahun 2050, target kebutuhan energi batubara di Indonesia mencapai nilai 11.0% setelah bahan bakar minyak (BBM) (40,1%), listrik (21,3%), gas (17,7%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing - masing di bawah 4%. Untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi nasional, seperti yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (PP No. 79 Tahun 2014), telah dijelaskan dalam Peraturan Presiden tentang Rencana Umum Energi Nasional (Perpres RUEN) tentang prioritas pengembangan energi Indonesia, yang meliputi penggunaan energi terbarukan yang maksimal dengan (1) memperhatikan tingkat keekonomisannya, (2) meminimalkan penggunaan minyak bumi, (3) memanfaatkan gas bumi dan energi baru secara optimal, serta (4) menjadikan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional.

Hal ini menyebabkan produksi batubara nasional diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan penambahan kontrak batubara baru dan peningkatan kebutuhan batubara nasional. Sehingga peran batubara yang pada awalnya ditujukan sebagai komoditi ekspor, pada akhirnya mayoritas batubara akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik atau dalam negeri. Pemilihan material batubara ini dikarenakan batubara masih menjadi jenis bahan bakar fosil yang murah dan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan PLTU atau bahan bakar pembangkit. Terbukti dengan melihat persentase nilai penggunaan batubara yang mencapai 62%, sedangkan bahan bakar fosil lainnya seperti gas, minyak, dan energi baru terbarukan hanya memiliki nilai penggunaan dibawah 17%. Selain itu batubara pun masih berperan sebagai beban dasar dan kebutuhan beberapa industri, seperti semen, tekstil, baja, dan lainnya. Peran batubara sebagai pasokan bahan bakar domestik ini diperkirakan akan terus meningkat menjadi 93% pada tahun 2050. (Anindhita, Sugiyono, Ode, & Abdul, 2018)

Seiring dengan meningkatnya permintaan energi yang menyebabkan peningkatan pemanfaatan batubara ini, akan berbanding

lurus dengan meningkatnya produksi limbah samping hasil pembakaran batubara, seperti abu terbang batubara (Hermassi, Valderama, Moreno, Font, Querol, Batis, & Cortina, 2017). Abu terbang batubara atau *coal fly ash* (CFA) merupakan limbah padat dari industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) bertenaga batubara yang terdiri atas sebuk halus dengan dominasi bentuk bulat padat, berongga, dan sebagian besar amorf (Querol, Alastuey, Lépez-Soler, Plana, Andrés, Juan, Ferrer & Ruiz, 1997). CFA didefinisikan pula sebagai substansi bubuk halus yang “terbang” dari ruang pembakaran batubara (*boiler*) dan ditangkap oleh kontrol emisi, seperti presipitator elektrostatik atau rangka filter *baghouse* dan *scrubber* (ACAA, 2017).

Rata-rata residu anorganik hasil samping pembakaran batubara yang dihasilkan terdiri atas abu terbang (*fly ash*-FA) dengan jumlah terbanyak sebesar 60-70%, sedangkan sisanya berupa abu dasar (*bottom ash*-BA) 11-15%, terak ketel (*boiler slag*) 1-4%, pembakaran bed terfluidasi (*fluidized bed combustion*) dan produk samping desulfurisasi gas buang (*flue gas desulfurization*) sebanyak 15-24% (Querol, Moreno, Uman, et al., 2002). Ditambah pula dengan tingkat pertumbuhan pemakaian batubara di seluruh dunia mencapai 500 juta ton per tahun, dan diperkirakan akan terus meningkat (Handbook, C.A., 2000). Seperti yang telah dilaporkan oleh *American Coal Ash Association* (ACAA), pada tahun 2007, Amerika Serikat memproduksi 131 juta ton produk hasil samping pembakaran batubara. Meskipun 43% dari hasil samping pembakaran batubara ini digunakan secara menguntungkan pada berbagai industri, namun hampir 75 juta ton lainnya dibuang. (ACAAEF, 2007) Dalam sumber lain mengatakan, pemanfaatan CFA dalam industri konstruksi hanya sekitar 44% per tahunnya. Selain itu pula hanya 20% dari produk hasil pembakaran batubara yang digunakan dalam kegiatan reklamasi tanah. Namun 37-70% dari hasil pembakaran batubara masih disimpan di tempat pembuangan. Sehingga pemanfaatan abu terbang ini berbanding terbalik dengan semakin meningkatnya jumlah residu anorganik dari pembakaran batubara yang dihasilkan. (Querol, Moreno, Uman~a, Alastuey, Herna`ndez, Lo`pez Soler & Plana, 2002)

Sebagai limbah industri, FA memerlukan proses daur ulang sebagai metode pembuangan alternatifnya, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan bahkan diharapkan dapat memberikan manfaat secara ekonomi yang signifikan. Dalam salah satu pemanfaatannya sebagai suplemen pada industri semen Portland, FA masih dianggap kurang efisien dikarenakan untuk setiap ton FA yang

digunakan, dibutuhkan setara dengan 55 galon minyak untuk menghasilkan satu ton semenya, meskipun memiliki efek untuk mencegah hampir satu ton karbon dioksida yang akan memasuki atmosfer Bumi (ACAAEF, 2007).

Polusi dari FA yang dibiarkan akan memberikan beberapa efek toksisitas pada tubuh manusia, seperti ditemukannya jenis kristal silika dari FA yang berada dalam sel darah merah, yang akan berakibat pada perusakan sel darah merah atau hemolisis. Selain itu, ditemukannya FA dalam limfosit darah, dan akan berpotensi terjadinya efek mutagenik. Meskipun fraksi pengendapan elektrostatisnya tidak bersifat mutagenik, namun fraksi lainnya dapat mengandung aktivitas mutagenik, yang terkait dengan kandungan abu hidrokarbon aromatik (mengandung nitro). Beberapa data penyakit yang ditimbulkan pada tubuh manusia akibat paparan FA seperti (1) *pneumoconiosis* (penyakit ini ditandai dengan adanya kekeruhan kecil sekitar <10 mm pada X-Ray dada, progresif masih fibrosis jika sudah akut, kelainan pleura, emfisema, bronkitis kronis, hilangnya fungsi paru-paru yang cepat, dan kanker perut), (2) gangguan paru obstruktif kronik atau *Chronic obstructive pulmonary disorder* (COPD) yakni terdapatnya komponen FA dalam emfisema lokal (fokal), dan (3) risiko genetika (berupa kerusakan DNA oksidatif yang ditentukan pada limfosit darah manusia). (Borm, 1997)

Jika hal ini tetap dibiarkan dan solusi tepat bagi penumpukkan limbah padat FA belum diimplementasikan, maka semakin lama berbagai gangguan lingkungan serta kesehatan yang diakibatkan oleh limbah FA ini akan semakin meningkat. Oleh sebab itu, riset yang ditujukan untuk memberikan alternatif jenis pembuangan atau solusi pendaur-ulangan limbah padat batubara salahsatunya limbah FA yang efisien semakin banyak dilakukan. (Hui, Chao, & Kot, 2005)

Keberadaan kuarsa atau silika yang terkandung di dalam limbah FA memang ternyata dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit. Karena zeolit merupakan senyawa mineral aluminum silika, baik itu zeolit alami maupun zeolit sintesis yang memiliki ciri khas akan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 , serta memiliki sifat *pozzolanic* (bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina, dan dalam bentuk yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dengan syarat kelembaban yang cukup dan dalam suhu kamar). Dengan demikian, pemanfaatan FA akan lebih luas dan semakin efektif setelah dikonversi menjadi zeolit. (Querol et al., 2002)

Selain itu, sebagian besar abu terbang memiliki sifat basa, dan permukaannya bermuatan negatif pada nilai pH yang tinggi, dengan demikian dapat digunakan untuk menghilangkan ion logam dari larutan dengan presipitasi (Penilla, Guerrero Bustos, & Goñi Elizalde, 2006) atau penyerapan (*sorption*) (Pengthamkeerati, Satapanajaru, & Chularuengsook, 2008; Penilla et al., 2006; Wu, Zhang, Li, Zhang, & Kong, 2006). Selain itu, abu terbang juga mengandung sisa karbon yang tidak terbakar, yang memiliki kapasitas adsorpsi tinggi untuk senyawa organik (Yao, Ji, Sarker, Tang, Ge, Xia & Xi, 2015). Hal ini memungkinkan konversi FA menjadi zeolit sebagai alternatif untuk mendaur ulang FA yang kemudian akan berfungsi sebagai adsorben senyawa tertentu atau penghilangan ion logam karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi.

Metode yang biasa digunakan dalam sintesis zeolit dilakukan menggunakan metode hidrotermal dan mereaksikannya dengan basa, atau disebut juga metode alkali-hidrotermal (Belviso, Cavalcante, Javier Huertas, Lettino, Ragone & Fiore, 2012). Beberapa metode lainnya yang diteliti dikembangkan oleh para peneliti untuk melakukan sintesis zeolit diantaranya metode hidrotermal, fusi atau peleburan sebelum hidrotermal, hidrotermal dengan bantuan *microwave*, dan teknik garam leleh. Metode yang berbeda akan menghasilkan nilai zeolit yang berbeda pula seperti variasi pada sifat fisik, kimia, kandungan mineralogi, dan morfologinya. Hal ini dikarenakan perbedaan kondisi suhu, alkalinitas, dan rasio cairan terhadap padatannya. Sehingga dengan mengatur setiap komponen variabel dalam proses sintesis dapat menghasilkan pengembangan hasil zeolit yang didapatkan menjadi produk zeolit stabil yang bisa diterima dalam bidang industri. (Jha & Singh, 2011)

Untuk meningkatkan kinerja dan sifat zeolitnya, diperlukan variasi metode sintesis. Metode yang banyak dan efektif digunakan seperti metode alkali-hidrotermal, namun masih kurangnya penelitian yang menambahkannya dengan berbagai jenis perlakuan awa atau *pretreatment*. Meskipun ada beberapa penelitian yang menggabungkan metode alkali-hidrotermal dengan metode fusi (Deng, Xu, & Wu, 2016; Feng, Wan, Daniels, Li, Xiao, Yu, Xu, Guo, Zhang, May & Li, 2018), lalu metode alkali-hidrotermal dengan metode *microwave* (Fukasawa, Horigome, Karisma, Maeda, Huang & Fukui, 2018; Fukasawa, Karisma, Shibata, Huang, & Fukui, 2017; Qiu, Jiang, Lv, Chen, Lu, Ni, Yan & Deng, 2018), atau menggabungkan metode alkali-hidrotermal dengan gelombang ultrasonik dan metode fusi (Belviso, 2018). Namun metode

fusi ini memerlukan suhu yang cukup tinggi, yakni berkisar diatas 300 atau 500°C, sedangkan cukup dengan metode alkali-hidrotermal bisa dilakukan pada suhu dibawah 200 °C. Karakteristik zeolit yang dihasilkan pada berbagai metode ini cukup beragam, bergantung dengan komposisi dosis, jenis alkali, suhu, dan waktu yang diberikan. Pada penelitian terdahulu, *pretreatment* gelombang ultrasonik dan *microwave* untuk memodifikasi porositas dan permukaan material (efek dari penambahan iradiasi gelombang mikro) dan untuk menghasilkan zeolit dengan ukuran partikel yang lebih kecil (efek dari penambahan perlakuan ultrasonik) dilaporkan memberikan pengaruh yang signifikan dalam hasil sintesis zeolitnya. (Setiabudi, Nashrah, Putri, & Yuliani, 2017)

Permasalahan lainnya yang menjadi perhatian publik selain FA sebagai limbah hasil samping pembakaran batubara yang mengkhawatirkan, yakni tercemarnya limbah cair industri oleh polutan berupa ion logam berat. Kehadiran logam beracun yang dihasilkan oleh hasil *finishing* logam atau industri pengolahan mineral di sungai dan danau dapat mengakibatkan bahaya besar bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Sehingga diperlukan proses penghilangan ion logam berat beracun yang efektif dari air limbah sebelum dibuang ke saluran air. (Wang, Li, Sun, Wang, & Sun, 2009)

Logam berat yang terkandung dalam beberapa aliran air limbah industri seperti Sb, Cr, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, dan lain-lain. Logam beracun, mungkin ada dalam konsentrasi tinggi (bahkan hingga 500 mg/L), harus diperlakukan secara efektif untuk mengeluarkannya dari air limbah. Jika air limbah dibuang langsung ke perairan alami, akan menjadi risiko besar bagi ekosistem akuatik, sementara pembuangan langsung ke dalam sistem pembuangan air (*sewerage*) dapat berdampak negatif terhadap pengolahan air limbah biologis berikutnya. (Hui et al., 2005) Salah satu logam berat yakni tembaga (Cu) merupakan mikronutrien penting, namun telah ditemukan dengan Cd dan Pb (logam non-esensial) yang berkaitan dengan pencemaran tanah dan berpotensi sebagai racun pada organisasi makhluk hidup (An, Kim, Kwon, & Jeong, 2004).

Metode umum yang tersedia untuk menghilangkan ion logam berat dari air limbah diantaranya koagulasi, pengendapan kimia, pertukaran ion, adsorpsi, dan osmosis balik. Namun sebagian besar metode tersebut membutuhkan modal dan biaya operasional yang tinggi, serta menghasilkan masalah untuk menangani endapan logam sisanya. Metode lainnya yakni proses insinerasi pada resin logam-jenuh bisa dilakukan

untuk *me-recovery* logam berat, namun proses ini pun membutuhkan biaya yang besar dan tidak efisien jika diberikan dalam aplikasi berskala besar. Sehingga teknik adsorpsi dengan menggunakan adsorben padat berupa zeolit hasil sintesis dari limbah FA dinilai lebih efisien untuk *me-recovery* limbah cair industri yang mengandung logam berat, karena FA sebagai limbah memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan metode lainnya (Wang et al., 2009).

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian dari proses aplikasi zeolit *fly ash* yang dipreparasi menggunakan metode alkali-hidrotermal dengan *pretreatment* gelombang ultrosonik-mikro pada adsorpsi logam Cu dari larutan. Pada penelitian ini pula dilakukan analisis hasil karakterisasi fisikokimia antara dua jenis produk zeolit *fly ash* yang telah dipreparasi sebelumnya yakni zeolit *fly ash* tanpa *pretreatment* dan zeolit *fly ash* dengan *pretreatment* gelombang ultrasonik dan gelombang mikro. Selain itu pula dilakukan analisis kemampuan kedua jenis zeolit *fly ash* sebagai adsorben untuk adsorpsi logam berat berupa ion Cu dari larutan, dengan didapatkannya nilai kapasitas adsorpsi dan mekanisme adsorpsinya.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakter zeolit dari *fly ash* (FA) dengan menggunakan metode alkali-hidrotermal dan metode alkali-hidrotermal yang diawali *pretreatment* gelombang ultrasonik dan gelombang mikro?
2. Bagaimana aplikasi zeolit *fly ash* (ZFA) sebagai adsorben logam Cu dari larutan?
3. Bagaimana analisis data adsorpsi ZFA terhadap ion Cu dengan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian yang telah disebutkan, tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempreparasi zeolit dari *fly ash* (FA) dengan menggunakan metode alkali-hidrotermal dan metode alkali-hidrotermal yang diawali *pretreatment* gelombang ultrasonik dan gelombang mikro
2. Mengaplikasikan zeolit *fly ash* (ZFA) sebagai adsorben logam Cu dari larutan
3. Menganalisis data adsorpsi ZFA terhadap ion Cu dengan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah disebutkan, manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai guna dan pemanfaatan limbah abu terbang batubara (*coal fly ash* atau CFA) sebagai hasil pembakaran batubara dari industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batubara
2. Memperoleh material zeolit dari hasil konversi berbahan baku abu terbang batubara sebagai adsorben untuk ion logam tembaga
3. Mengurangi bahaya dari hasil samping pembakaran batubara berupa abu terbang dan dari limbah cair yang kaya akan kandungan ion logam tembaga terhadap lingkungan dan kesehatan

1.5. Struktur Organisasi Skripsi

Skripsi ini terdiri atas lima bab, diantaranya bab I Pendahuluan, bab II Tinjauan Pustaka, bab III Metode Penelitian, bab IV Hasil dan Pembahasan, serta bab V Kesimpulan dan Saran. Secara rinci bab pertama yaitu pendahuluan berisi lima subbab diantaranya latar belakang yang menjelaskan hal-hal yang melatarbelakangi dan menjadi landasan dasar dilaksanakannya penelitian, lalu rumusan masalah sebagai acuan poin-poin permasalahan yang akan ditemukan dari penelitian, tujuan penelitian berupa hasil yang diharapkan dari penelitian, manfaat penelitian yakni manfaat yang didapatkan dari nilai guna hasil penelitian, serta struktur organisasi skripsi yang memuat sistematika penulisan skripsi berupa komponen, urutan, dan keterkaitan setiap babnya.

Bab kedua yaitu kajian pustaka berisi subbab tentang teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini. Bab ketiga memaparkan metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian, berupa waktu keberlangsungan dan tempat dilaksanakannya penelitian, instrumen yang digunakan dalam penelitian baik itu peralatan lalu bahan maupun alat instrumentasi yang digunakan untuk menganalisis hasil penelitian yang dijelaskan secara rinci, tahapan dan prosedur penelitian dengan disertai diagram alir dan penjelasannya. Bab keempat menjelaskan hasil dan pembahasan yang didapatkan dari penelitian secara tematik. Dan bab kelima atau terakhir menyebutkan kesimpulan dari hasil yang diperoleh dan saran untuk dilakukan atau diteliti pada penelitian selanjutnya.