

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Abu terbang (*fly-ash*) merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara. Pemakaian batu bara di dunia sebagai sumber energi cukup besar, sehingga menghasilkan abu terbang dalam jumlah yang cukup banyak. Di Indonesia, beberapa PLTU yang menghasilkan abu terbang dari proses pembakaran batu bara adalah PLTU Paiton (Jawa Timur), PLTU Suralaya (Banten) dan PLTU Bukit Tinggi (Sumatera). Pada tahun 2000, PLTU di Indonesia menghasilkan limbah abu terbang sebanyak 1,66 juta ton dan pada tahun 2006 meningkat menjadi 2 juta ton. Dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batu bara di Indonesia maka jumlah abu terbang yang dihasilkan akan semakin meningkat.⁽¹⁾

Zeolit adalah gabungan senyawa kimia aluminium oksida (Al_2O_3) – silikat oksida (SiO_2) yang membentuk hidrat dengan kation natrium atau kalium. Zeolit memiliki struktur *micro-porous* sehingga dapat memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Dalam aplikasinya, zeolit banyak digunakan untuk proses pemurnian air limbah dan tanah pada industri-industri logam berat. Zeolit juga dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap gas-gas beracun di dalam udara.⁽²⁾

Secara umum, sebagian besar komposisi abu terbang tersusun atas silika oksida (SiO_2) dan aluminium oksida (Al_2O_3). Dengan komposisi yang dimiliki abu terbang tersebut maka abu terbang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan zeolit. Reaksi antara abu terbang dengan larutan alkali (NaOH atau KOH) dengan suhu tinggi ($90\text{-}200^\circ\text{C}$) akan menghasilkan zeolit. Jenis zeolit yang dihasilkan bervariasi, bergantung pada suhu reaksi, konsentrasi larutan alkali (KOH atau NaOH) dan waktu reaksi.⁽³⁾

Pada perancangan pabrik ini, jenis zeolit yang akan diproduksi adalah zeolit NaP1 ($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Zeolit NaP1 dapat mengadsorb ion-ion seperti NH_4^+ , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} dan Ba^{2+} dalam jumlah yang cukup besar (1300 – 2600 $\mu\text{eq/g}$) dibandingkan dengan zeolit jenis lainnya (KM, analcime, kalsilite, sodalite dan lain-lain).⁽³⁾

I.2. Tinjauan Pustaka

I.2.1. Batu Bara

Batu bara terbentuk dari proses penimbunan tumbuhan dan gambut oleh sedimen-sedimen yang berasal dari pergeseran tektonik, dan seringkali sampai kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batu bara. Proses pembentukan lapisan batu bara pada tumbuhan dan gambut membutuhkan waktu berjuta-juta tahun.⁽⁴⁾

Pembentukan batubara dimulai sejak jaman *carboniferous*, yaitu periode pembentukan karbon atau batu bara dan dikenal juga sebagai zaman batu bara pertama. Periode ini berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu.⁽⁴⁾

Mutu dari setiap endapan batu bara ditentukan oleh suhu, tekanan dan lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai maturitas organik. Pada awalnya gambut berubah menjadi *lignite* (batu bara muda) atau *brown coal* (batu bara coklat). *Lignite* adalah batu bara dengan jenis maturitas organik rendah, dibandingkan dengan batu bara jenis lainnya. *Lignite* agak lembut dan warnanya bervariasi dari hitam pekat sampai kecoklat-coklatan. Mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus

selama jutaan tahun, *lignite* mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah *lignite* menjadi batu bara *sub-bitumen*. Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batu bara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk *bitumen* atau *antrasit*. Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk *antrasit*. Peningkatan maturitas dari batu bara akan meningkatkan kualitas dari batu bara tersebut.⁽⁴⁾

Batu bara dengan kualitas yang tinggi (*antrasit*) memiliki tingkat kelembaban yang rendah dengan kandungan karbon yang tinggi. Hal ini menyebabkan proses pembakaran batu bara *antrasit* akan menghasilkan energi yang jauh lebih besar bila dibandingkan dengan batu bara *lignite*, yang memiliki kelembaban yang tinggi dengan kandungan karbon yang rendah.⁽⁴⁾



Gambar I.1. Batu bara antrasit

Proses pembakaran batu bara akan menghasilkan material anorganik, yang disebut dengan *coal combustion by-products* (CCBs). CCBs terdiri dari abu terbang, *furnace bottom ash* (FBA), *bolier slag* dan *flue gas desulfurization* (FGD). Abu terbang merupakan partikel-partikel halus yang berbentuk bola mengkilat yang dihasilkan pada saat proses pembakaran batu bara berlangsung. Abu terbang

didapatkan melalui proses elektrostatis dan pengendapan mekanik dari partikel-partikel debu. FBA merupakan abu yang ada pada dasar *furnace* dan berukuran lebih besar bila dibandingkan dengan abu terbang. *Boiler slag* merupakan abu yang mengkilat yang terbentuk pada dasar *furnace*. FGD merupakan serbuk *gypsum* yang sangat halus yang didapatkan dari proses desulfurisasi dari gas hasil pembakaran batu bara.⁽⁵⁾

Menurut *American Coal Ash Association (ACAA)*, rata-rata pembakaran batu bara akan menghasilkan CCBs dengan komposisi 70% abu terbang, 11% *bottom ash*, 1% *boiler slag*, 15% FGD dan 3% partikulat. Fungsi CCBs yang paling penting adalah sebagai material dalam pembuatan bahan bangunan.⁽⁵⁾

1.2.2. Abu Terbang (*fly-ash*)

Abu terbang merupakan hasil sampingan (CCBs) dan juga merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara. Di dalam CCBs, abu terbang memiliki komposisi terbesar yaitu 70%. Abu terbang didapatkan dengan menggunakan pengendapan mekanik atau dengan cara elektrostatis partikel-partikel dari gas pembuangan hasil pembakaran batu bara. Hampir sebagian besar komposisi abu terbang terdiri dari silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) and ferri oksida (Fe_2O_3). Komposisi abu terbang tersebut sangat cocok untuk dijadikan bahan baku pembuatan material yang mengandung aluminium dan silika, seperti pada pembuatan *geopolymer* dan zeolit. Secara alami abu terbang memiliki sifat *pozzolanic*, yaitu material yang mengandung senyawa silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan ferri oksida (Fe_2O_3) aktif yang dapat bereaksi dengan kapur bebas atau kalsium hidroksida (CaO) dengan air dan membentuk material seperti semen yaitu kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminium hidrat yang mudah mengeras. Karena memiliki sifat tersebut

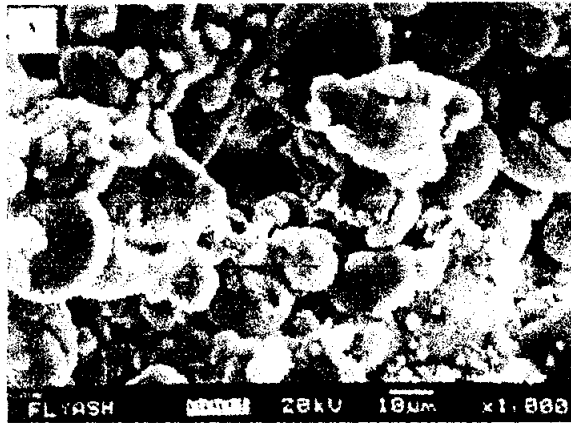
abu terbang dapat langsung digunakan sebagai campuran dalam berbagai macam bahan bangunan seperti pada semen dan batu bata.^(5,6)

Secara kimia abu terbang merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Silika dan alumina bersifat aktif sehingga dapat bereaksi dengan komponen lain dalam kompositnya untuk membentuk material baru (*mulite*) yang tahan suhu tinggi.⁽⁵⁾

Sejak tahun 1950, abu terbang hanya digunakan sebagai bahan pembuat semen dan beton, namun dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, dikembangkan pula penggunaan abu terbang untuk berbagai macam aplikasi. Aplikasi tersebut antara lain⁽⁵⁾ :

- Sebagai sumber bahan untuk mengekstraksi logam yang berharga, seperti Al, Si, Fe, Ge, Ga, Ni, dll.
- Sebagai *stabilizer* tanah pada situs pertambangan.
- Sebagai sorben untuk proses desulfurisasi gas buangan hasil pembakaran.
- Sebagai bahan pembuat material yang tahan api.
- Industri keramik
- Sebagai bahan baku utama pembuatan *high cation exchange capacity* (zeolit).

Ukuran diameter partikel abu terbang adalah 1 - 40 μm dan berbentuk bola. Saat batu bara terbakar hingga mencapai suhu sekitar 1400°C, mineral-mineral yang tidak terbakar akan meleleh dan bergabung membentuk suatu partikel dengan bentuk bola. Pada saat proses pendinginan, bentuk dari partikel abu terbang akan menjadi tidak beraturan.⁽⁶⁾



Gambar 1.2. Gambar abu terbang yang diambil dengan metode *Scanning Electron Microscopy*⁽⁵⁾

Sifat fisika dari abu terbang⁽⁷⁾ ditabelkan pada Tabel 1.1

Tabel I.1. Sifat fisika abu terbang

Densitas	0,9 – 1,1 g/cm ³
<i>Specific heat</i>	0,72 – 0,73 J. g ⁻¹ .°C ⁻¹
Konduktivitas	0,09 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
<i>Surface area</i>	1,05 – 1,09 m ² /g
<i>Specific Weight</i>	2,19 -2,23

Komposisi abu terbang yang akan digunakan memiliki komposisi sebagai berikut⁽⁴⁾:

Tabel I.2. Komposisi kimia abu terbang

Komponen	% berat
SiO ₂	58,4
Al ₂ O ₃	29,3
Fe ₂ O ₃	7,5
CaO	0,9
MgO	1
Na ₂ O	0,4
K ₂ O	1,9
TiO ₂	0,5
MnO	0,1

I.2.3. Zeolit

Zeolit adalah senyawa kimia alumino (Al_2O_3) – silikat (SiO_2) yang membentuk hidrat dengan kation natrium atau kalium. Secara umum, zeolit memiliki struktur molekular yang unik, dimana atom silikon (Si) dikelilingi oleh empat atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di dalam jaringan ini, atom silikon digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan tiga atom oksigen (O). Atom aluminium ini hanya memiliki muatan 3^+ , sedangkan silikon sendiri memiliki muatan 4^+ . Keberadaan atom aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu melakukan pertukaran kation.^(8,9)

Zeolit merupakan suatu mineral yang memiliki struktur *micro-porous*. Nama zeolit ditemukan pertama kali oleh seorang ilmuwan Swedia bernama *Axel Fredrik Cronstedt*. Lebih dari 1500 jenis zeolit telah disintesis dan hanya 48 jenis zeolit yang terbentuk secara alami di alam. Zeolit memiliki luas permukaan besar dan situs aktif, baik situs asam *Bronstead* dan asam *Lewis*. Adanya situs aktif ini menyebabkan zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap senyawa atau ion baik dari dalam larutan atau udara. Selain itu adanya ukuran pori-pori yang berbeda untuk jenis zeolit yang berbeda akan memberikan sifat selektivitas terhadap kemampuan *ion-exchanger* zeolit. Zeolit disebut sebagai *molecular sieve* atau *molecular mesh*, karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu⁽⁷⁾. Beberapa jenis zeolit yang sering dijumpai adalah NaP1, *herschelite*, *analcime*, *chabazite*, *heulandite*, *natrolite*, *phillipsite*, dan *stilbite*.^(3,9)

Abu terbang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan zeolit karena abu terbang memiliki sumber SiO_2 dan Al_2O_3 yang cukup tinggi. Proses pembentukan zeolit dengan menggunakan abu terbang berlangsung secara *hydrothermal* pada suhu tinggi ($90\text{-}200^\circ\text{C}$). Kualitas dan jenis zeolit yang dihasilkan dari proses *hydrothermal* dari abu terbang ditentukan oleh, suhu pembentukan, konsentrasi larutan alkali (NaOH atau KOH) dan suhu reaksi.⁽²⁾

Zeolit mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misalnya zeolit melepas natrium dan digantikan dengan kalsium atau magnesium, sehingga zeolit dapat dimanfaatkan untuk melunakkan air. Zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin. Aplikasi zeolit banyak digunakan dalam proses pemurnian air limbah karena kemampuan dari zeolit yang dapat melakukan pertukaran ion-ion yang berbahaya di dalam air limbah. Zeolit juga digunakan sebagai katalis dalam industri minyak.^(8,9)

I.2.4. NaOH

NaOH (*sodium hydroxide*) dalam bentuk larutan alkali dapat digunakan untuk proses pembuatan zeolit pada kondisi yang *hydrothermal*.⁽¹⁰⁾ NaOH murni berbentuk padatan dengan warna putih. NaOH tersedia dalam bentuk *pellet*, bongkahan, granular dan juga dalam bentuk 50% larutan. NaOH dapat dengan mudah menyerap CO_2 dari udara, sehingga NaOH biasanya disimpan dalam wadah yang kedap udara. NaOH sangat mudah larut dalam air dan menimbulkan panas (reaksi eksotermis). NaOH juga dapat larut dalam ethanol dan methanol, tetapi NaOH tidak dapat larut di dalam larutan *ether* dan *solvent* yang bersifat non-polar.⁽¹⁰⁾

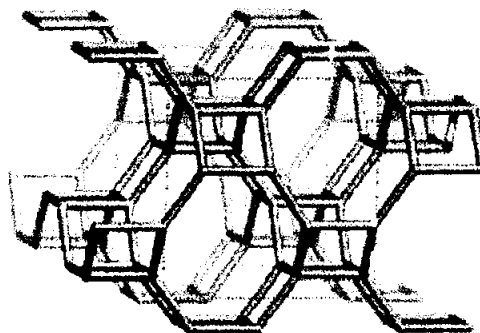
NaOH akan membentuk suatu larutan alkali yang kuat bila dilarutkan dalam air. NaOH banyak digunakan dalam berbagai macam industri yang memakai larutan kimia, seperti industri pulp dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan detergent. Sifat fisika dari NaOH⁽¹⁰⁾ ditabelkan pada Tabel 1.3.

Tabel I.3. Sifat fisika NaOH

Rumus molekul	NaOH
Berat molekul	39,9971 g/mol
CAS	1310-73-2
Densitas	2,1 g/cm ³
Kelarutan di air	111 gr/100 ml (20°C)
Titik leleh	318°C (591 K)
Titik didih	1390°C (1663 K)

I.3. Karakteristik Produk

Zeolit NaP1 dihasilkan dengan mereaksikan abu terbang dengan komposisi seperti yang terlihat pada Tabel 1.4 dengan NaOH 2M pada suhu 150°C selama 6 jam⁽²⁾. Zeolit NaP1 memiliki kapasitas *ion-exchange* yang besar. Zeolit NaP1 dapat menukar ion-ion seperti NH⁴⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺ dan Ba²⁺ sebanyak 1300 – 2600 µeq/g dibandingkan dengan zeolit jenis lainnya (KM, analcime, kalsilite, sodalite dan lain sebagainya).⁽²⁾ Zeolit NaP1 memiliki ukuran 0,2 mm – 2 mm.⁽⁷⁾



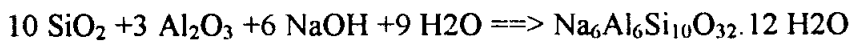
Gambar I.3. Struktur molekul zeolit NaP1

Sifat fisika dari zeolit NaP1⁽⁷⁾ ditabelkan pada Tabel 1.4

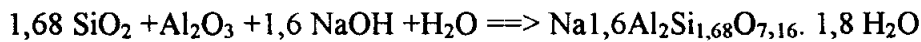
Tabel 1.4. Sifat fisika zeolit NaP1

Rumus Molekul	$\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
<i>Surface area</i>	111-119 m ² /g
<i>Specific Weight</i>	2.49-2.54
Densitas	2,0 g/cm ³
Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,0 – 3,0

Reaksi pembentukan zeolit NaP1 :



Reaksi pembentukan zeolit *herschelite* :



I.4. Penentuan Kapasitas Produksi

Di Indonesia zeolit digunakan dalam berbagai macam industri, seperti dalam industri kimia dasar, industri tekstil, industri minyak dan gas dan dalam industri-industri lainnya. Dari data BPS diperoleh kebutuhan zeolit dalam seluruh industri di Indonesia dari tahun 2002 sampai tahun 2003, adalah sebagai berikut:

Tabel 1.5. Kebutuhan zeolit untuk seluruh industri di Indonesia pada Tahun 2002 – 2003⁽¹¹⁾

Tahun	Jumlah (kg)
2002	2.265.125
2003	2.325.095

Dengan menggunakan metode ekstrapolasi linear dari 2 data tahun terakhir dari BPS tersebut (tahun 2002 dan 2003), diprediksikan bahwa kebutuhan zeolit untuk tahun 2009 akan mencapai 2.684.914,813 kg/tahun. Dalam perancangan pabrik ini,

kapasitas akan diambil sebesar 80% dari kebutuhan zeolit pada tahun 2009, sehingga dalam perancangan pabrik ini akan diproduksi zeolit sebesar 2.147.931,4 kg/tahun (6000 kg/hari), dengan hari operasional pabrik sebanyak 360 hari/tahun. Hari operasional tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan biaya operasi dan keefektifan jumlah produksi.