

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah barang tambang yang berasal dari sedimen bahan organik dari berbagai macam tumbuhan yang telah membusuk dalam waktu yang sangat lama dan di area dengan karakteristik kandungan air cukup tinggi. Pembentukan batu bara dimulai dengan proses pembusukan timbunan tanaman dalam tanah dan membentuk lapisan gambut kadar karbon tinggi. Pembentukan batu bara dari gambut (*coalification*) dipengaruhi oleh faktor; material pembentuk, temperatur, tekanan, waktu proses, dan berbagai kondisi lokal seperti kandungan O₂, tingkat keasaman dan kehadiran mikroba. Proses *coalification* pada gambut terbagi menjadi 3 tahapan yaitu: pembusukan aerobik, pembusukan anaerobik, dan bituminisasi.

2.1.1 Karakteristik Batubara

Karakteristik batubara sumber (*source coal*) yang digunakan harus memenuhi persyaratan batubara dari suatu tipe tungku boiler yang digunakan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan batubara sumber, tetapi kualitas dan biaya batubara merupakan dua pertimbangan yang sangat penting. Sedangkan karakteristik batubara sumber bervariasi dengan adanya perbedaan dalam daerah asal.

Unsur pembentuk batubara terdiri dari : unsur utama (C,H, O, N, S, kadang-kadang Al, Si), unsur kedua (Fe,Ca, Mg, Fe, K, Na, P, Ti), dan unsur sangat kecil (*trace*) berupa logam-logam berat (*heavy metals*) dengan berat jenis di atas 5 g/cm³ (melebihi Al) dan masing-masing berkadar sangat rendah yang dinyatakan

dalam ppm (bagian per sejuta) serta jumlahnya ada sekitar 40 unsur yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Dari sejumlah logam berat tersebut, yang biasa dipertimbangkan hanya 10 unsur logam berat yaitu seperti As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Zn, Ag.

Komponen pembentuk batubara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: air lembab (*Moisture* = M), abu (*Ash* = A), materi mudah menguap (*Volatile Matter* = VM), karbon tertambat (*Fixed Carbon* = FC). Komponen *volatile* adalah kandungan yang mudah menguap kecuali *moisture*. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (*pyrolysis*), umumnya adalah senyawa-senyawa organik, gas CO₂, dan gas SO₂ yang terdapat pada batubara. Penentuan *volatile content* dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 900 °C – 950 °C selama 7 menit. Karbon tertambat adalah jumlah karbon yang terdapat di batubara. Penentuan karbon tertambat dengan cara mengurangi jumlah material mudah menguap dan kandungan air serta abu pada kondisi udara kering.

Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kategori Batubara dan Nilai Kalori (Considine, 1974)

No	Kategori	H ₂ O (%)	C (%)	Kalori (kcal/kg)
1.	<i>Lignite</i>	43,4	37,8	4.113
2.	<i>Sub-bituminous</i>	23,4	42,4	5.403
3.	<i>Low Volatile Sub-bituminous</i>	11,6	47	7.159
4.	<i>Medium Volatile Sub-bituminous</i>	5	54,2	7.715
5.	<i>High Volatile Sub-bituminous</i>	3,2	64,6	8.427
6.	<i>Sub-anthracite</i>	6	83,8	8.271
7.	<i>Anthracite</i>	3,2	95,6	8.027

Berdasarkan analisis proksimat dan nilai kalori, peringkat suatu tipe batubara digolongkan melalui sistem klasifikasi batubara, yaitu; peringkat rendah (*Low Rank Coal = LRC*) yang terdiri dari batubara jenis *lignite* dan *sub-bituminous* sampai peringkat tinggi (*High Rank Coal = HRC*) dari jenis *bituminous* dan antrasit sesuai dengan kenaikan kadar karbon dan nilai kalori. Mayoritas batubara di Indonesia berperingkat *sub-bituminous* dan *lignite* (80%) dimana karakter batubara memiliki kandungan air cukup tinggi seperti disajikan di Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi Batubara Indonesia (Munir, 2006)

Parameter Kualitas	Sumatera	Kalimantan	
		Selatan	Timur
Air Lembab	18,28	24,00	25,00
Inherent Moisture, % adb	14,00	22,25	15,65
Abu, % adb	6,00	1,50	4,87
Materi menguap, % adb	39,00	38,00	38,85
Karbon tertambat, % adb	41,00	38,25	40,63
Total Sulfur, %	0,30	0,10	0,80
Nilai Kalori Gross, kcal/kg	6.000	5.300	5.700

Keterangan: adb adalah *air dry base*

2.1.2 Pengotor Batubara

Beberapa pengotor yang biasanya terkandung dalam batubara antara lain abu dan senyawa sangat kecil (*trace element*). Pengotor batubara yang dapat digunakan untuk memperkirakan abu batubara hasil pembakaran di boiler adalah kadar abu dimana komponen abu merupakan asosiasi berbagai bahan mineral yang tidak dapat terbakar sehingga menghasilkan abu batubara. Secara kimia, karakteristik abu batubara sangat tergantung pada karakteristik batubara.

Abu (ash) merupakan bagian batubara yang tidak bisa terbakar. Kandungan abu dalam batubara sangat bervariasi dan berkisar antara 3 – 9 %.

Sejumlah senyawa dalam jumlah kecil (*trace element*) yang terkandung dalam batubara bisa mempengaruhi proses pembakaran dan mengakibatkan pencemaran udara dari emisi gas buang yang dihasilkan. Senyawa yang sering ditemui dalam jumlah kecil tersebut antara lain sodium, sulfur, *phosphorous*, clorida, nitrat, sulfat dan arsen. Senyawa sodium dalam batubara akan menyebabkan presipitasi dalam boiler yang dapat menurunkan efisiensi pembakaran. Batubara jenis *lignit* dengan kandungan sodium 8 % dapat menyebabkan *fouling* di boiler yang dapat menyebabkan *shut down* boiler yang membutuhkan waktu pembersihan selama 3 hari. Sulfur dalam batubara akan teroksidasi menghasilkan gas SO_2 dalam gas buang yang berpotensi menimbulkan hujan asam jika gas SO_2 bereaksi dengan uap air menghasilkan asam sulfat. Batubara biasanya mengandung 0,5 – 8 % senyawa sulfur. Phosphorus dalam batubara akan menyebabkan endapan keras dalam boiler yang akan menurunkan efisiensi pembakaran. Unsur clorida, nitrat, dan sulfat akan menyebabkan korosi di boiler. Arsen terkandung dalam jumlah yang sangat kecil dalam satuan ppb (*parts per billion*).

2.2 Abu Batubara

Abu batubara merupakan hasil samping dari pembakaran batubara sebagai sumber energi yang banyak digunakan di industri atau pembangkit listrik. Karakteristik abu batubara yang dihasilkan sangat tergantung jenis dan ukuran batubara serta teknologi pembakaran. Karakteristik abu tersebut diperkirakan akan mempengaruhi proses pengambilan silika dari abu batubara. Jenis batubara yang digunakan oleh PLTU dan industri di wilayah Jawa Barat tergolong batubara *sub-bituminous* yang berasal dari Kalimantan Timur. Batubara yang digunakan di PLTU biasanya dihancurkan dulu hingga ukuran sekitar 100 mesh dan dilakukan

pembakaran di boiler tungku *pulverized* pada suhu pembakaran yang relatif tinggi yaitu lebih dari 800 °C. Batubara yang digunakan untuk pembangkit kukus sebagai media pemanas di industri seperti industri tekstil mempunyai ukuran besar sekitar 1-5 cm dengan suhu pembakaran yang lebih rendah (sekitar 600 °C). Perbedaan ukuran butiran batubara dan proses pembakaran akan menghasilkan abu dengan karakteristik yang berbeda seperti ukuran butiran, komposisi kimia, dan struktur padatan atau bentuk kristal silika. Perbedaan karakteristik abu batubara dari kedua sumber ini akan mempengaruhi proses pemungutan kembali silika dari kedua jenis abu tersebut.

2.2.1 Sumber Abu Batubara

Abu batubara berasal dari penggunaan batubara sebagai bahan bakar di boiler baik yang digunakan untuk PLTU maupun untuk industri. Sebagian besar batubara digunakan sebagai sumber energi atau bahan bakar untuk boiler dalam memproduksi *steam*. *Steam* yang dihasilkan digunakan sebagai media pemanas untuk industri seperti industri tekstil dan sebagai media penggerak turbin untuk menghasilkan listrik seperti yang terjadi di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). PLTU merupakan sektor yang paling banyak menggunakan batubara.

Proses pembakaran batubara dilaksanakan di tungku pembakar atau *furnace*. Jenis tungku pembakaran yang banyak digunakan adalah *stoker coal furnace (chain grate boiler)*, *pulverized coal furnace*, dan *fluidized-bed furnace*. Berdasarkan Studi Kelayakan Pengelolaan Limbah Batubara Secara Terpadu di Kabupaten Purwakarta, Subang, dan Karawang, Provinsi Jawa Barat, sebanyak 88 % industri menggunakan boiler tungku jenis *stoker coal furnace (chain grate boiler)*, 9 % industri menggunakan *fluidized-bed furnace* dan sisanya 3 % menggunakan *pulverized coal furnace* (BPLHD Jawa Barat, 2008). Boiler tungku jenis *fluidized-bed furnace* dan *pulverized coal furnace* biasanya digunakan di pembangkit *superheated steam* di PLTU sedangkan boiler tungku jenis *stoker*

coal furnace (chain grate boiler) digunakan untuk penghasil *steam* sebagai media pemanas.

a. *Stoker Coal Furnace*

Batubara yang digunakan boiler dengan tungku jenis *stoker coal furnace* akan diremuk menjadi butiran ukuran rata-rata 1-5 cm dan dibakar dalam suatu unggun bahan bakar (*fuel bed*) di atas suatu kisi yang bergerak (seperti *travelling chain grate stoker*). Pembakaran dengan tungku jenis ini mencapai suhu sekitar 600 °C.

Kebanyakan abu produk pembakaran batubara tetap tinggal di atas kisi dan dibuang sebagai abu dasar (*bottom ash*) sekitar 80%, sedangkan butiran partikel abu batubara yang lebih kecil ikut terbawa aliran gas pembakaran (*flue gas*) dan dipisahkan dengan penangkap abu sebagai abu terbang (*fly ash*) sekitar 20 %. Proses pembakaran biasanya menghasilkan abu batubara dengan kandungan *unburned carbon* atau yang sering disebut LOI (*loss on ignition*) tinggi dan ditandai dengan warna abu batubara yang kehitaman.

b. *Pulverized Coal Furnace*

Batubara yang digunakan boiler tungku jenis *pulverized coal furnace* berupa serbuk hasil penggilingan dengan ukuran butiran minimal 70% lolos saringan 150 mesh yang diumpankan dengan udara tekan (*pneumatically*). Suhu pembakaran di boiler dengan tungku jenis *pulverized* bisa mencapai 800 °C. Pembakaran yang terjadi relatif sempurna dan menghasilkan sekitar 60 – 80% *fly ash* sedangkan sisanya adalah *bottom ash* yang jatuh ke dalam *hopper* di dasar tungku. *Fly ash* diperoleh dari pemisahan abu di gas buang melalui *cyclon*, *bag filter*, atau *electrostatic precipitator (EP)*.

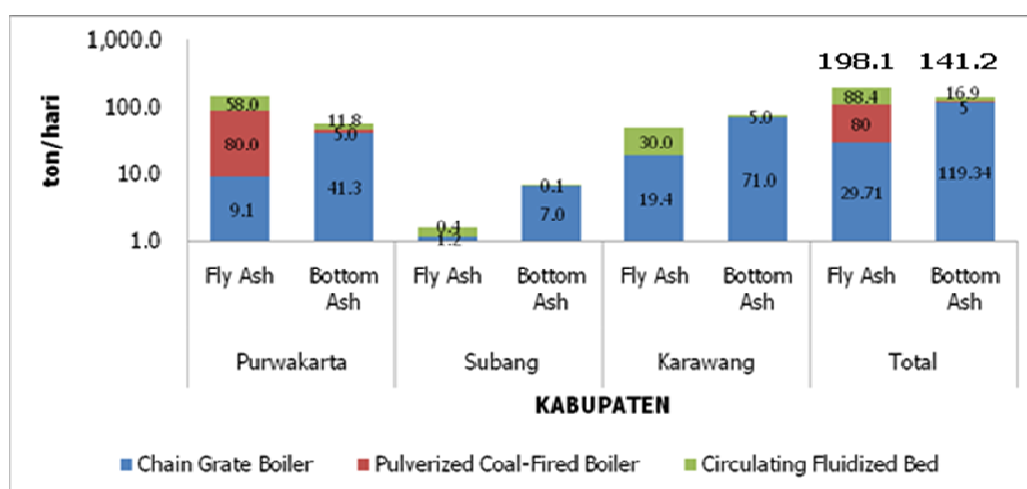
c. *Fluidized Bed Furnace*

Fluidized bed furnace menggunakan batubara halus yang tersuspensi dalam unggun terfluidakan (*fluidized bed*) sebagai akibat adanya semburan udara

pembakaran yang dialirkan ke atas menghasilkan suatu pencampuran turbulen udara pembakaran dengan partikel batubara. Ciri khas dari tipe tungku ini adalah batubara dicampur dengan bahan tidak reaktif (*inert material*) seperti pasir, silika, alumina dan suatu penyerap (*sorbent*) seperti batu kapur untuk pengendalian emisi SO₂. Suhu operasi sistem tungku ini berkisar 800–900 °C.

2.2.2 Karakteristik Abu Batubara

Abu batubara merupakan limbah dari proses pembakaran bahan bakar batubara yang dapat berupa abu terbang, abu dasar, dan lumpur *flue gas desulfurization*. Abu terbang (*fly ash*) adalah produk dari pembakaran batubara di boiler yang dipisahkan dari *exhaust gases* dengan cyclon, *electrostatic precipitators*, *bag houses*, atau sistem *scrubber*. Abu dasar (*bottom ash*) adalah aglomerasi partikel abu yang terbentuk di tungku batubara yang terlalu berat untuk terbawa gas buang. *Bottom ash* biasanya menempel di dinding *furnace* atau jatuh ke *ash hopper* di dasar *furnace*. Berdasarkan Studi Kelayakan Pengelolaan Limbah Batubara secara Terpadu di Kabupaten Purwakarta, Subang, dan Karawang, Provinsi Jawa Barat (2008), limbah abu batubara di 3 kabupaten tersebut sebanyak 339 ton/hari, terdiri dari 198 ton *fly ash* dan 142 ton *bottom ash* seperti terlihat di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Potensi Abu Batubara di Purwakarta, Subang, dan Karawang (BPLHD Jabar, 2008)

Fly ash sebagian besar dihasilkan dari boiler tungku jenis *pulverized* untuk PLTU sedangkan *bottom ash* lebih banyak dihasilkan oleh boiler tungku *chain grate* yang banyak digunakan oleh industri menengah seperti tekstil dan kertas. Jumlah abu batubara diperkirakan sekitar 10% dari batubara yang digunakan.

a. Karakteristik Fisik dan Kimia

Secara fisik, *fly ash* dari PLTU merupakan partikel sangat halus, material serbuk, komposisi terbesar silika, dan bentuknya hampir bulat, berwarna putih kecoklatan dengan densitas curah 800 kg/m^3 . Ukuran *fly ash* dari PLTU paling kecil adalah $11 - 25 \text{ }\mu\text{m}$ dan yang kasar bervariasi antara $40 - 150 \text{ }\mu\text{m}$. Karakteristik *bottom ash* biasanya berwarna hitam abu-abu, mempunyai struktur permukaan *porous*, dengan bentuk tak beraturan.

Karakteristik abu batubara dari boiler tungku *chain grate* di industri tekstil atau kertas biasanya mempunyai ukuran yang agak besar antara $2 - 5 \text{ mm}$, warna agak kehitaman karena masih banyak kandungan karbon tidak terbakar.

Karakteristik abu batubara yang dihasilkan dari pembakaran berbagai jenis batubara disajikan dalam Tabel 2.3. Senyawa dominan di abu batubara adalah SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Kandungan Al_2O_3 di abu tersebut hampir setengah kandungan Al_2O_3 di bahan baku bauksit ($50 - 62 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$).

Kandungan silika yang tinggi akan menyulitkan pemungutan kembali alumina di abu batubara jika abu batubara tersebut akan digunakan sebagai alternatif bahan baku industri aluminium (Selma Turkey). *Fly ash* mengandung $10 - 15 \%$ fraksi yang mempunyai sifat magnetik (dominan Fe_2O_3) dan memungkinkan dipisahkan dari fraksi nonmagnetik dengan separator magnet (Dobbins, 1983). Pemisahan komponen pengotor yang terkandung di abu batubara akan dapat memudahkan proses pemanfaatan abu seperti pengambilan fraksi alumina atau komponen silika.

Tabel 2.3 Komposisi (%) *Fly ash* Batubara (Bruce Ramme, 2004)

Senyawa	Jenis Batubara		
	<i>bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>
SiO ₂	20 - 60	40 - 60	15 - 45
Al ₂ O ₃	5 - 35	20 - 30	10 - 25
Fe ₂ O ₃	10 - 40	4 - 10	4 - 15
CaO	1 - 12	5 - 30	14 - 40
MgO	0 - 5	1 - 6	3 - 10
K ₂ O	0 - 3	0 - 4	0 - 4
Na ₂ O	0 - 4	0 - 2	0 - 6
SO ₃	0 - 4	0 - 2	0 - 10
LOI	0 - 15	0 - 3	0 - 5

Karakteristik abu batubara juga tergantung dari teknologi pembakaran boiler yang diterapkan. Pembakaran dengan teknologi *chain grate* akan menghasilkan abu batubara yang masih banyak mengandung karbon tidak terbakar (LOI). Karakteristik abu batubara dari dua jenis teknologi pembakaran boiler disajikan di Tabel 2.4.

Beberapa senyawa penyusun abu batubara seperti; Na₂O, K₂O, dan CaO merupakan senyawa yang larut di dalam air membentuk senyawa NaOH, KOH, dan Ca(OH)₂. Pencampuran 10 g *fly ash* dalam 200 ml air setelah pengadukan 10 menit menghasilkan suspensi dengan nilai pH 11,47. Komponen Ca²⁺, K⁺, dan Na⁺ merupakan konstituen terlarut yang ditemukan dalam suspensi *fly ash* di air yang memberikan pH ke arah kondisi basa (Landman, 2003).

Tabel 2.4 Karakteristik Abu Batubara Boiler (Munir, 2006)

Parameter	<i>Chain Stoker Boiler Furnace</i>		<i>Fluidized Bed Furnace</i>	
	<i>Bottom ash</i>	<i>Fly Ash</i>	<i>Bottom ash</i>	<i>Fly Ash</i>
Fe ₂ O ₃	7,32	8,52	7,22	9,02
CaO	2,14	2,76	0,13	2,21
MgO	0,89	1,13	0,18	0,96
K ₂ O	0,25	0,21	0,32	0,30
Na ₂ O	0,03	0,078	0,01	0,013
TiO ₂	0,76	0,75	0,52	1,12
Mn ₂ O ₃			0,15	0,17
P ₂ O ₅			0,16	0,35
SO ₃	Nil	1,72	0,36	1,30
LOI	32,8	31,80	3,23	8,90

b. Karakteristik Mineralogi

Struktur mineralogi *fly ash* terdiri dari beberapa fasa mineral yaitu: *glass*, *mullite*, *quartz*, *magnetite*, *haematite*, dan *anhydrite*. Fasa *Glass* merupakan bagian paling besar dari *fly ash*, sedangkan *mullite* dan *quartz* adalah fraksi *non magnetic* yang merupakan sumber daya alam untuk industri keramik. Fasa mineral abu batubara ini sangat mempengaruhi karakteristik pelarutan silika dalam larutan alkali. Analisis mineralogi *fly ash* dari PLTU Ekibastuz, Rusia disajikan di Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Analisis Mineralogi *Fly ash* PLTU Ekibastuz (Shcherban, 1995)

No	Jenis Mineral	Senyawa	Bentuk	Komposisi (%)
1	<i>Mullite</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Kristal	30 – 35
2	<i>Glassy phase</i>	Campuran SiO_2	<i>Amorphous</i>	48 – 51
3	<i>Quartz</i>	SiO_2	Kristal	2 – 10
4	Silika suhu tinggi	SiO_2	Kristal	0 – 4,5

Komposisi campuran *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Wisconsin *Electric Coal Combustion* menunjukkan kadar *amorphous* silika 20-60 % sedangkan *crystalline* silika 0-10 % (Bruce, 2004). Silika dalam bentuk *amorphous* dapat diubah menjadi bentuk kristal dengan cara pemanasan. Sebagai contoh, silika di abu sekam padi pada awalnya berbentuk *porous* dan *amorphous* tetapi bisa berubah menjadi bentuk kristal jika pembakaran dilakukan pada suhu lebih dari 650 °C dengan waktu lama atau hanya beberapa menit jika dipanaskan pada 1.100 °C (Ramezaniapour, 2009). Silika dalam bentuk *amorphous* mempunyai kereaktifan kimia yang tinggi dibandingkan bentuk kristalnya. Kereaktifan kimia yang tinggi akan memudahkan terjadinya reaksi komponen dalam abu seperti silika dengan senyawa alkali.

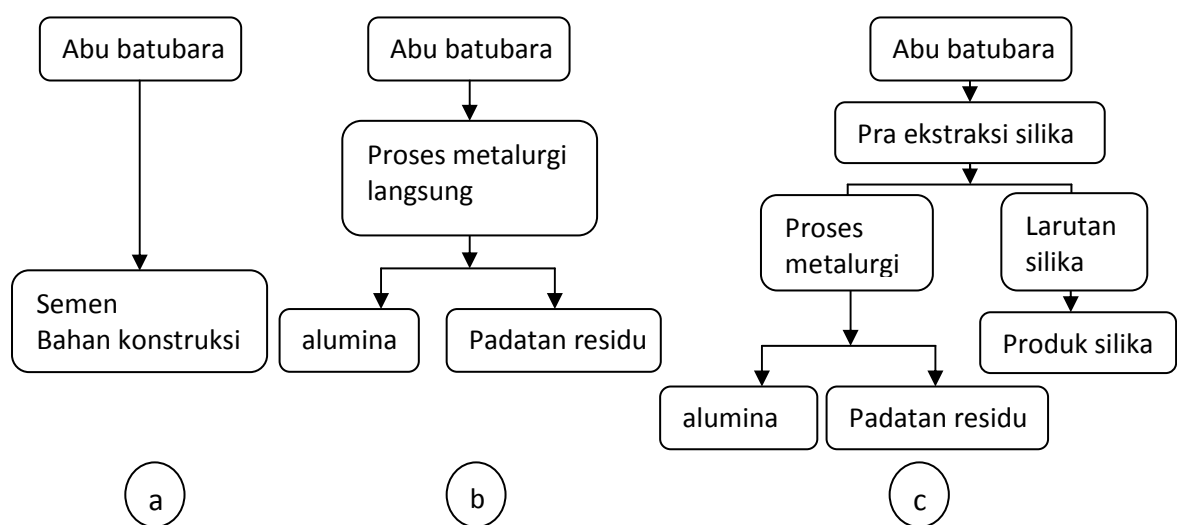
Kelarutan abu batubara dalam larutan alkali tergantung dari jenis mineral di abu batubara. Shcherban (1996) menyebutkan kelarutan *mullite* dan *quartz* di larutan alkali relatif kecil. Sementara mineral *glassy phase* mempunyai kelarutan cukup tinggi yaitu dalam 5 jam proses pengolahan sebanyak 50 % lebih silika di cairan produk (Shcherban, 1995).

2.2.3 Pemanfaatan Abu Batubara

Pola pemanfaatan abu batubara menurut Shcherban (1996) terdiri dari 3 macam, yaitu:

- abu dimanfaatkan tanpa merecovery komponen berguna (penggunaan untuk semen dan bahan konstruksi),
- pemanfaatan untuk produksi alumina secara langsung tanpa pemungutan kembali silika terlebih dulu
- pengolahan abu dengan pemungutan kembali silika.

Gambar pola pemanfaatan abu batubara disajikan di Gambar 2.2. Pemanfaatan abu batubara tak dapat diproduksi secara menguntungkan sebagai bahan baku monomineral jika hanya untuk melakukan produksi aluminium saja. Oleh karena itu agar produksi aluminium menjadi kompetitif, perlu upaya memanfaatkan atau memungut kembali silika.



Gambar 2.2 Pola Pemanfaatan Abu Batubara (Solomon Shcherban, 1995)

Di Indonesia, abu batubara yang dihasilkan dari PLTU banyak yang sudah dimanfaatkan sebagai campuran bahan baku semen atau sebagai campuran bahan konstruksi seperti beton. Abu batubara PLTU dengan boiler tungku jenis *pulverized* khususnya *fly ash* bisa dijual dengan harga sekitar Rp 60.000/ton abu. Sementara itu, abu batubara dari industri yang menggunakan boiler tungku jenis *chain grate* sebagian digunakan sebagai bahan baku bahan bangunan seperti batako (untuk keperluan internal). Sebagian lain diserahkan ke pihak ketiga dengan mengeluarkan biaya Rp 50.000 – 200.000 /ton (tergantung lokasi pabrik), dan sisanya diduga masih dibuang di beberapa lokasi yang berbahaya bagi lingkungan.

Pemungutan kembali silika dari limbah abu batubara bisa dimanfaatkan untuk berbagai produk kimia berbasis silika, seperti adsorbent berbasis silika dan sodium silikat. Sodium silikat merupakan nama lain dari sodium metasilicate ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$) dan juga dikenal dengan nama *water glass* atau *liquid glass*. Sodium silikat tersedia dalam bentuk larutan encer maupun padatan. Sodium silikat padatan mempunyai densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$ dan merupakan serbuk putih yang larut dalam air membentuk larutan alkali. Sifat fisik larutan sodium silikat yang penting adalah ratio berat $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ yang secara komersial berkisar antara 1,5 hingga 3,2 (Sodium silicate online, 2010).

Sodium silikat pertama kali diproduksi secara komersial pada tahun 1818 dengan cara mereaksikan pasir silika (SiO_2) dengan sodium karbonat (Na_2CO_3) pada suhu $1.100 - 1.200 \text{ }^\circ\text{C}$. Alur proses produksi ini dianggap mengeksploitasi sumber daya alam dan memerlukan energi yang cukup banyak untuk mencapai suhu reaksi lebih dari $1.100 \text{ }^\circ\text{C}$. Sodium silikat digunakan sebagai bahan baku untuk berbagai produk seperti produksi silika gel, *silicate based binders*, aditif semen khusus, koagulan pengolahan air limbah, gasket dan aditif air pendingin kendaraan, katalis, tinta, substrat pertumbuhan alga, komponen deterjen, dan sabun (Breuer, 1998).

2.3 Proses Leaching Silika Dari Abu Batubara

Pemisahan silika dari abu batubara dapat dilakukan dengan proses leaching silika dalam larutan alkali dan mereaksikan dengan NaOH membentuk natrium silikat. Reaksi tersebut merupakan reaksi ionik yang biasanya berlangsung sangat cepat dan tidak membutuhkan katalis sehingga bisa dikelompokkan sebagai reaksi non katalitik.

2.3.1 Proses Leaching

Leaching merupakan proses ekstraksi senyawa tertentu (*solute*) dalam suatu padatan dengan bantuan pelarut. Jika *solute* terdispersi secara merata dalam padatan, material yang berada di permukaan padatan akan lebih dulu terlarut meninggalkan struktur pori padat. Pelarut akan melakukan penetrasi melalui lapisan padatan terluar untuk mencapai *solute* yang berada di struktur padatan yang lebih dalam. Proses ini lebih sulit dan lama dibandingkan proses leaching di permukaan padatan, sehingga laju ekstraksi menjadi menurun. Proses leaching terdiri dari 5 tahapan:

- a. difusi massa pelarut dari bulk pelarut ke permukaan padatan
- b. difusi pelarut ke dalam pori padatan
- c. perubahan fasa *solute* menjadi terlarut dalam pelarut,
- d. difusi melalui pelarut di dalam pori padatan ke lapisan luar padatan
- e. transfer *solute* dari lapisan luar padatan ke *bulk* pelarut

Kecepatan ekstraksi akan tergantung dari tahapan yang paling lambat, dan biasanya tahap pertama berlangsung secara cepat sehingga bisa diabaikan pengaruhnya dalam laju ekstraksi total. Laju difusi *solute* melalui pelarut di dalam pori padatan ke lapisan luar padatan sering menjadi faktor utama penentu nilai laju proses leaching secara keseluruhan.

2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Leaching

Pemilihan peralatan leaching antara lain ditentukan oleh faktor-faktor yang menjadi penentu laju leaching total. Jika proses difusi *solute* melalui struktur pori padatan menjadi faktor pengendali, maka material yang akan diekstraksi harus mempunyai ukuran yang kecil. Sebaliknya jika laju transfer *solute* dari lapisan luar padatan ke *bulk* pelarut cukup rendah sehingga menjadi faktor pengendali maka kecepatan pengadukan dalam proses ekstraksi akan mempunyai peran yang besar. Laju ekstraksi dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu;

a. Ukuran Partikel

Partikel berukuran kecil akan mempunyai permukaan kontak yang besar antara padatan dengan pelarut sehingga akan mempercepat transfer massa. Selain itu, ukuran partikel yang kecil menjadikan proses difusi *solute* menjadi lebih cepat. Tetapi, semakin kecil ukuran partikel bisa menimbulkan permasalahan dalam pemisahan produk larutan dengan residu padatan.

b. Pelarut

Pelarut yang dipilih harus mempunyai selektifitas yang baik terhadap bahan yang akan diambil dan mempunyai viskositas yang rendah agar memudahkan untuk resirkulasi pelarut.

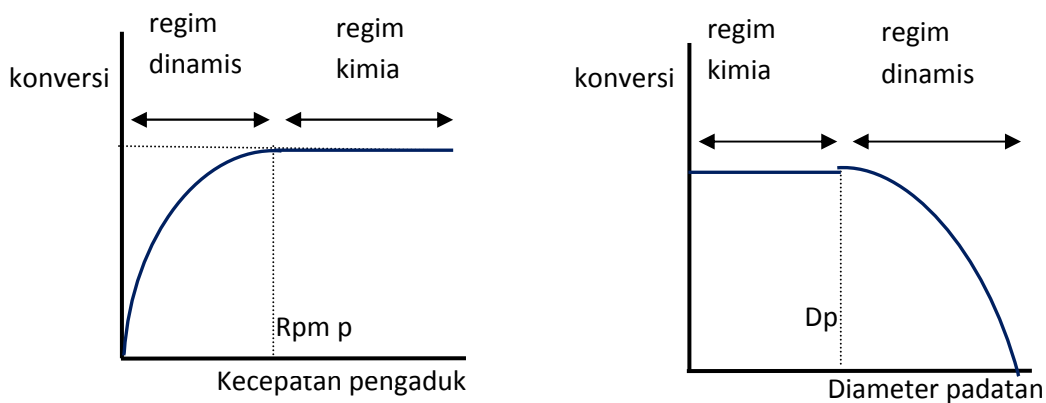
c. Suhu

Dalam banyak hal, kelarutan material yang akan diekstrak akan meningkat pada suhu lebih tinggi sehingga kecepatan ekstraksi juga meningkat.

d. Pengadukan

Pengadukan pelarut akan meningkatkan difusi edy sehingga akan meningkatkan transfer atau difusi massa dari permukaan padatan ke *bulk* larutan. Pengadukan juga berperan untuk mencegah sedimentasi dari sistem suspensi proses ekstraksi.

Proses leaching yang disertai dengan reaksi kimia akan tergantung dari sifat fisika dan kimia dari reaktan yang terlibat. Dalam sistem reaksi heterogen padat-cair isothermal, laju reaksi keseluruhan tidak hanya dipengaruhi oleh laju reaksi kimia di permukaan padatan (kinetika kimia) dan laju pindah massa melalui lapisan tipis (difusi masa), tetapi juga dipengaruhi oleh ukuran partikel, reaktifitas padatan, karakter permukaan, dan pengotor. Rejim dinamis adalah suatu kondisi jika laju difusi lebih banyak berpengaruh terhadap laju reaksi secara keseluruhan. Sementara dalam rejim kimia, laju reaksi secara keseluruhan lebih banyak ditentukan oleh kecepatan reaksi kimia. Pengaruh diameter partikel padatan dan laju putaran pengaduk dalam konversi suatu reaksi bisa dijadikan cara untuk menentukan dominasi pengaruh laju difusi dan laju reaksi kimia terhadap laju reaksi secara keseluruhan, seperti terlihat di Gambar 2.3. Kondisi rejim kimia akan diperoleh jika menggunakan partikel padatan dengan diameter lebih kecil dari D_p dan kecepatan pengaduk lebih tinggi dari $R_{pm\ p}$.



Gambar 2.3 Pengaruh Laju Pengadukan dan Diameter Partikel (Subagyo, 1991)