

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti/Thn	Judul	Metode	Hasil
1	Eka Yunita/2017	Analisis Potensi dan Karakteristik limbah padat Fly Ash dan Bottom Ash hasil pembakaran Batubara Pada Pltu PT Semen Tonasa	Kuantitatif	Berdasarkan data sekunder yang diperoleh diketahui bahwa dalam seharinya PLTU ini menghasilkan $\pm 96,07$ ton fly ash dan $\pm 41,62$ ton bottom ash kemudian dilakukan pengujian di laboratorium dengan metode analisa kandungan unsur menggunakan metode XRF yang menunjukkan bahwa unsur tertinggi adalah silika dan besi sedangkan dari hasil perhitungan kadar LOI diketahui bahwa fly ash memiliki kadar karbon yang rendah sehingga baik digunakan sebagai pencampur semen sedangkan bottom ash mengandung kadar karbon tinggi sehingga cocok diaplikasikan ke bahan polimer. Kemudian dianalisa lebih lanjut dengan metode XRD dan diperoleh data bahwa fly ash dan bottom ash didominasi oleh fasa quartz dengan struktur kristal trigonal (hexagonal axes), selain itu juga terdapat fasa mullite dengan struktur kristal

				orthorombic dan mineral pembentuk senyawa besi yang dominan terdapat pada bottom ash yaitu maghemite dengan struktur cubic dan tetragonal.
2	Fadel Muhammad/ 2016	Analisa Sifat Mekanik Beton Ringan Non Autoclaved Aerated Concrete Dengan Substitution Fly Ash dan Bottom Ash	Kuantitatif	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik dari beton ringan non autoclaved aerated concrete (NAAC) dengan substitusi FA dan BA terhadap semen dan agregat halus, dan diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton. Beton ringan NAAC pada penelitian ini dibagi berdasarkan 4 kategori, yaitu beton ringan NAAC normal, substitusi dengan FA, substitusi dengan BA, dan gabungan FA dan BA dengan variasi 10%, 20%, dan 30%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder, yang diuji pada umur 28 hari, dengan benda uji silinder sebanyak 90 sampel dan terdiri dari 10 variasi, dan masing-masing variasi sebanyak 9 sampel. Berdasarkan hasil pengujian substitusi FA dan BA sebesar 10%, 20%, dan 30%, memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada persentase FA 30% yaitu sebesar 12,687 MPa, kuat tarik belah maksimum dicapai pada sampel FA 30% dengan nilai 1,540 MPa, dan absorpsi tertinggi pada NAAC normal yaitu sebesar 5,66%. Berdasarkan berat isi seluruh sampel dapat dikategorikan beton

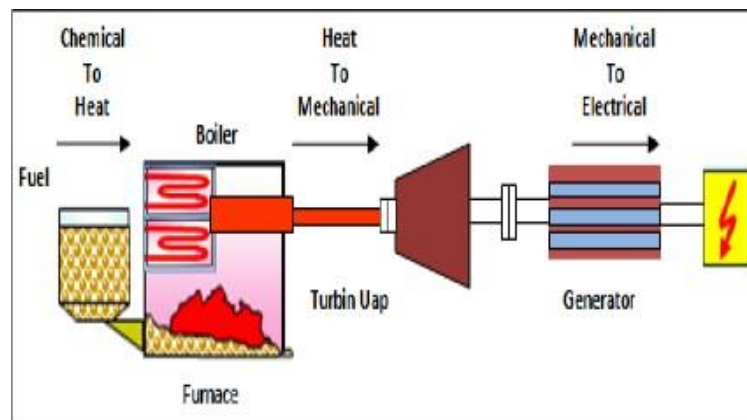
				ringan, karena berat isi kurang dari 1900 kg/m ³ , dan berdasarkan kuat tekan, seluruh sampel termasuk kekuatan beton ringan non struktural karena berada pada rentang 7-14 MPa
3	Paramita Tri Kurniasari/2017	Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolymer	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran terbaik menurut setting time adalah fly ash 12 M dengan perbandingan 1,5 yaitu 22,5 menit. Komposisi campuran viii terbaik menurut UPV dengan pengujian yang dilakukan pada umur 3, 28 dan 56 hari kualitas binder meragukan dikarenakan hasil UPV menunjukkan angka < 3000. Komposisi campuran terbaik menurut porosity adalah bottom ash 12 M perbandingan 1,5 umur 28 hari dengan nilai rata-rata mencapai 53,22%. Komposisi campuran terbaik menurut permeability terjadi pada semua komposisi campuran pada umur 56 hari. Sedangkan komposisi campuran terbaik menurut daya kuat tekan adalah komposisi BF12-1,5 mencapai 49,71 MPa dengan umur 56 hari sedangkan komposisi terendah terjadi pada BA12-1,5 umur 3 hari dengan nilai 0,07 MPa. Dari penelitian ini maka didapatkan kesimpulan akhir bahwa pemanfaatan limbah batubara menjadi komposisi campuran untuk beton

				geopolimer cukup baik untuk dikembangkan dan aplikatif di masyarakat.
4	Rahmi Karolina/2017	Penggunaan Batu Apung Sebagai Substitusi Agregat Kasar dan Abu kulit kerang sebagai filler dalam pembuatan beton ringan	Kuantitatif	Menurut SNI 03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m ³ . Untuk membuat beton menjadi ringan, dalam penelitian ini batu apung digunakan sebagai substitusi agregat kasar dan abu kulit kerang digunakan sebagai filler dalam pembuatan beton ringan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan kadar penggunaan batu apung dan abu kulit kerang pada pembuatan beton ringan. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder yang diuji pada umur 28 hari dengan benda uji silinder sebanyak 36 sampel dan terdiri dari 4 variasi (0%, 5%, 10%, 15%) dan masing-masing variasi sebanyak 9 sampel. Berdasarkan hasil pengujian substitusi 50% batu apung dan abu kulit kerang sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada persentase 10% abu kulit kerang dan substitusi 50% batu apung sebesar 18.457 MPa, kuat tarik belah maksimum dicapai pada persentase 15% abu kulit kerang dan substitusi 50% batu apung sebesar 2.335 MPa, dan absorpsi terbesar terdapat pada beton ringan dengan

				menggunakan 10% abu kulit kerang dan substitusi 50% batu apung yaitu sebesar 15%. Berdasarkan berat isi seluruh sampel dapat dikategorikan beton ringan, karena berat isi kurang dari 1900 kg/m ³ .
--	--	--	--	--

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1, hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari boiler PLTU. Energi panas dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa boiler untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan didalam drum dari boiler. Uap dari drum boiler dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis untuk memutar generator, dan energi mekanis yang berasal dari generator dikonversikan menjadi energi listrik (Harris, 2013).



Gambar 2.1. Proses Perpindahan Energi pada PLTU (Sumber: Harris, 2013).

Boiler, Turbin, dan Generator yang biasa disingkat BTG yaitu unit pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga uap yang dihasilkan oleh boiler untuk menggerakkan

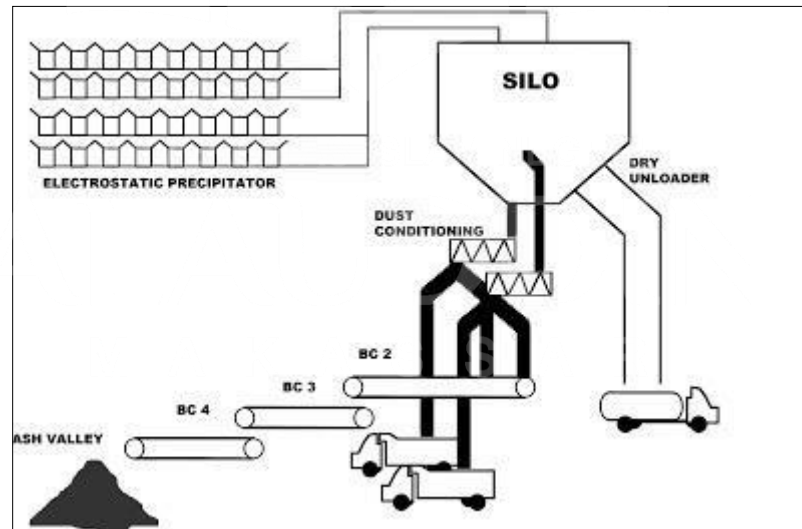
sudu-sudu turbin. BTG *Power plant* dikecamatan Bungoro Kabupaten Pangkep, pada dasarnya merupakan pembangkit tenaga uap dengan menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. BTG *Power plant* mempunyai kapasitas sebesar 2×10 MW (Muhammad Taufik dkk, 2014).

Secara umum pada BTG *Power plant* terdapat enam unit proses yaitu; Unit penyiapan Batubara, Unit Pengolahan Air, Unit Penyiapan Udara, Unit Penyiapan *Diesel Oil* (Solar), Unit Penghasil Uap dan Pembangkit Listrik dan Unit Penangan *slag* dan abu. *Slag* adalah sisa dari batubara yang terbakar dalam boiler, dimana ukuran partikel dari *slag* ini agak besar, sehingga tidak dapat terbang oleh gas buang. Dengan demikian *slag* ini akan berkumpul di dasar boiler, yang kemudian akan jatuh ke *slag remover* yang berisi air. *Slag remover* berisi air, dengan maksud untuk mendinginkan *slag* yang panas. Supaya air pada *slag remover* dapat berfungsi dengan baik sebagai pendingin, maka air tersebut akan mengalami sirkulasi dimana air itu akan disaring dan kemudian akan disalurkan ke *cooling tower*. Dari *cooling tower*, air dingin dan bersih ini kemudian disalurkan kembali ke *slag remover*. Endapan *slag* pada *slag remover* akan diangkat oleh rail baja pada *slag remover*. *Slag* tersebut kemudian akan diangkat melalui *belt conveyor*. Dengan *belt conveyor* ini, *slag* diangkat ke *fixed slag bunker* dan selanjutnya diangkat ke *slag hopper* melalui *slag remover*. Sebelum masuk ke *slag hopper* terlebih dahulu akan dihaluskan melalui *slag crusher*. Kemudian *slag* dapat dikirim langsung ke tonasa II, III, IV dengan menggunakan dump truk untuk pencampuran *Portland Pozzolan Cement* (PPC) (Muhammad Taufik dkk, 2014).

Ash atau debu adalah bubuk halus yang juga merupakan sisa pembakaran batubara dalam boiler, dimana ukuran lebih kecil dibandingkan dengan *slag* sehingga *ash* dapat terbawa bersama gas buang yang akan dikeluarkan di cerobong. Supaya kondisi lingkungan tetap terjaga, maka syarat kandungan material/debu yang keluar dari cerobong

adalah 150 mg/m^3 . Karena gas buang bercampur dengan *ash*, maka untuk memenuhi syarat di atas harus diadakan penyaringan terhadap gas buang dimana penyaringan tersebut dilakukan melalui dua tahap yaitu pada *cyclone deduster* dan *electric precipicator* (EP). Gas buang yang bercampur dengan *ash* dihisap oleh ID Fan yang kemudian dikeluarkan melalui cerobong.

Adapun proses penyaringan gas buang pada *cyclone deduster* adalah dengan sistem mekanik, yaitu dengan menggunakan gaya sentrifugal yang dihasilkan dari kipas yang dipasang di dalam *cyclone deduster*. Gaya sentrifugal ini akan memutar debu yang bercampur dengan gas buang sehingga debu yang berat akan jatuh. Dari *cyclone deduster* gas buang diteruskan ke EP. Pada EP ini, gas buang yang bercampur dengan gas buang akan disaring dengan menggunakan sistem elektrik, dimana pada alat ini dipasang sebuah alat yang bertegangan listrik yang berfungsi untuk menangkap *ash*. Setelah itu digunakan alat penggetar yang akan menggetarkan alat bertegangan listrik tersebut sehingga debu yang melekat akan jatuh ke tempat yang diinginkan. Setelah melewati EP, maka gas buang itu diteruskan ke *stack* untuk dikeluarkan. Adapun *ash* yang tersaring pada *cyclone deduster* dan EP akan dicampur dan kemudian ditampung pada silo *ash* I dan II yang disalurkan melalui *ash handling* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, dimana *ash* tersebut dihisap dengan menggunakan *rotary fan*. Dengan menggunakan *pneumatic conveyor* kemudian di kirim ke Tonasa II, III, IV. *Slag* dan debu tersebut digunakan lebih lanjut dalam proses pembuatan semen (Muhammad Taufik dkk, 2014).



Gambar 2.2. Sistem *Fly ash* (Sumber: Arif, 2012)

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sebagai penyuplai energy listrik untuk masyarakat dan Negara saat ini mulai dikembangkan oleh pemerintah Indonesia, mengingat kebutuhan akan listrik cenderung meningkat dari tahun ke tahun. PLTU merupakan unit pemasok energi yang bahan bakarnya berasal dari batubara. Indonesia adalah salah satu negeri yang memiliki sumber daya batubara yang melimpah, oleh karena itu sistem ini *feasible* untuk dilakukan. Selain itu biaya operasional penggunaan batubara paling murah dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik lainnya. Batubara merupakan bahan tambang yang berasal dari fosil makhluk hidup jutaan tahun yang lalu, yang berarti bahwa batubara ini bersifat organik. Terdapat dua jenis batubara, yaitu yang berkualitas baik, dimana akan sedikit sekali menghasilkan unsur berbahaya sehingga tidak mencemari lingkungan. Kemudian batubara yang berkualitas rendah, maka akan menghasilkan berbagai macam unsur berbahaya yang dapat mencemari lingkungan, seperti gas Sulfur, Nitrogen dan Sodium.

Inilah permasalahan yang banyak terjadi di Indonesia akibat dari pemanfaatan batubara. Dan pula jika pembakaran pada batubara tersebut tidak sempurna, akan menghasilkan gas beracun CO (*karbon monoksida*). Batubara digunakan dalam PLTU dengan cara dibakar dalam suatu ruang pembakaran boiler. Dari proses pembakaran ini akan dihasilkan pencemar udara dan padat, yaitu gas SO_x (sulphur oksida), NO_x (nitrogen oksida), CO₂ (karbon dioksida), dan CO (karbon monoksida), serta limbah padat berupa debu (*bottom ash*) dan partikulat logam berat seperti SiO₂ (silikat).

2.3 Limbah Padat Pembangkit Listrik Tenaga Uap

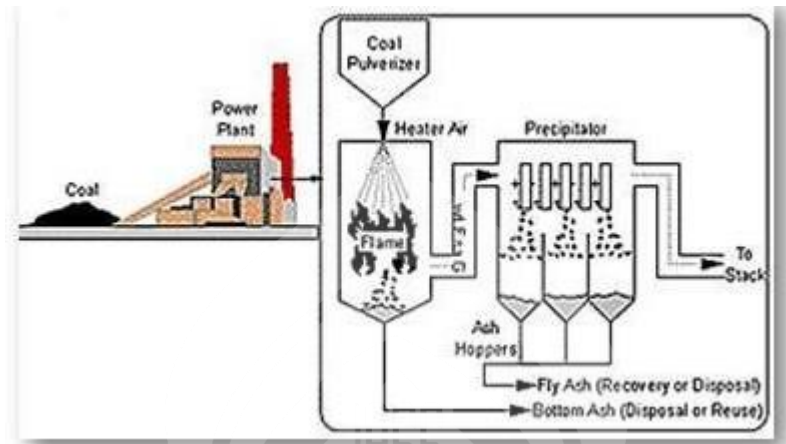
Batubara dan minyak merupakan bahan bakar utama untuk menghasilkan tenaga listrik. Banyak keuntungan yang diperoleh dari penggunaan bahan bakar tersebut, yaitu biayanya relatif murah dan mudah didapatkan karena produknya berlimpah. Di lain pihak, batubara ini dapat menimbulkan masalah serius dalam lingkungan (Darmono, 2001).

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 batubara dimulai dengan proses pembusukan timbunan tanaman dalam tanah dan membentuk lapisan gambut kadar karbon tinggi. Pembentukan batubara dari gambut (*coalification*) dipengaruhi oleh faktor; material pembentuk, temperatur, tekanan, waktu proses, dan berbagai kondisi lokal seperti kandungan O₂, tingkat keasaman dan kehadiran mikroba (Bambang, 2011).

Batubara, sebagai sumber penghasil *fly ash*, berdasarkan ASTM D.388 dikelompokkan menjadi 4, yaitu: batubara *Lignitic*, batubara *Sub-bituminous*, batubara *Bituminous* dan batubara *Antrachite*.

- a. *Lignite* adalah kategori terendah dari batubara, mempunyai kemampuan menghasilkan panas terendah dan kadar air tertinggi, sering disebut "brown coal" karena bersifat agak lunak dan berwarna coklat atau hitam, dan pada umumnya digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Mempunyai kemampuan menghasilkan panas kurang dari 8300 British Thermal Units per pound batubara, mempunyai kadar karbon antara 60% - 70% dalam abu kering.
- b. *Sub-bituminous coal* adalah kategori menengah (intermediate) di antara lignite dan bituminous coal, mempunyai kemampuan membangkitkan panas, pembakaran dan kadar kelembaban sedang, digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Mempunyai kadar karbon 71% - 77% dalam abu kering dan kemampuan membangkitkan panas antara 8.300 - 13.000 British Thermal Units per pound batubara.
- c. *Anthracite coal* adalah jenis batubara yang mempunyai kadar karbon tertinggi dan kadar air dan abu terendah dan bersifat lambat terbakar. Kadar karbon di atas 87% dalam abu kering dan kemampuan membangkitkan panas tertinggi.
- d. *Bituminous coal* adalah jenis batubara yang paling umum, disebut juga batubara hitam (*black coal*), pada umumnya batubara jenis ini mempunyai kemampuan menghasilkan panas yang tinggi dan kelembaban yang rendah, dapat digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik atau melebur bijih besi. Mempunyai kadar karbon antara 77% - 87% dalam abu kering, kemampuan membangkitkan panas di atas 13.000 British thermal Unit per pound batubara.

Fly ash dan *bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga type pembakaran batubara pada industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace*. Apabila batubara dibakar dengan type *dry bottom boiler*, maka kurang lebih 80% dari abu meninggalkan pembakaran sebagai *fly ash* dan masuk dalam corong gas. Apabila batubara dibakar dengan *wet-bottom boiler* sebanyak 50% dari abu tertinggal di pembakaran dan 50% lainnya masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, di mana potongan batubara digunakan sebagai bahan bakar, 70%-80 % dari abu tertahan sebagai boiler *slag* dan hanya 20%-30% meninggalkan pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas. Tipe yang paling umum untuk pembakaran batubara adalah pembakaran *dry bottom* seperti dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.3. *Electrostatic Precipitator* (Sumber: Alisastromijoyo, 2012)

Dahulu *fly ash* diperoleh dari produksi pembakaran batubara secara sederhana, dengan corong gas dan menyebar ke atmosfer. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena *fly ash* hasil dari tempat pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* dan *bottom ash* ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem (Alisastromijoyo,

2012).

Abu batubara sebagai limbah tidak seperti gas hasil pembakaran, karena merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya. Apabila jumlahnya banyak dan tidak ditangani dengan baik, maka abu batubara tersebut dapat mengotori lingkungan terutama yang disebabkan oleh abu yang beterbangan di udara dan dapat terhisap oleh manusia dan hewan juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga dapat mematikan tanaman. Akibat buruk terutama ditimbulkan oleh unsur-unsur Pb, Cr dan Cd yang biasanya terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus (0,5–10 μm). Butiran tersebut mudah melayang dan terhisap oleh manusia dan hewan, sehingga terakumulasi dalam tubuh manusia dengan konsentrasi tertentu dapat memberikan akibat buruk bagi kesehatan (Putra,D.F. et al, 1996).

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *ash lagoon* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam (Putra,D.F. et al, 1996).

2.3.1 Sumber Limbah Padat

Menurut Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (2007), sumber limbah padat yang dihasilkan dari pengoperasian PLTU batubara :

a. Selama penampungan dan pemindahan batubara menghasilkan debu batubara,

- b. Sisa pembakaran batubara yang terbawa bersama sama gas buang menghasilkan abu terbang (*fly ash*),
- c. Sisa pembakaran batubara yang terakumulasi di bawah tungku pembakaran, menghasilkan abu dasar (*bottom ash*),
- d. Di dasar kolam pengendapan, air larian permukaan, lapangan penumpukan batubara, dan kolam instalasi pengolahan air limbah lainnya terkumpul endapan lumpur (*sludge*).

2.3.2 Karakteristik Limbah Padat

PLTU berbahan bakar batubara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik tersebut dapat berupa abu terbang, abu dasar dan lumpur *flue gas desulfurization*. Limbah B3 yang dihasilkan oleh pembangkit antara lain: *fly ash*, *bottom ash*, *sludge cake* (lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah), oli bekas, bahan terkontaminasi, *glasswool*, serta limbah laboratorium yang berupa botol kemasan bahan kimia dan bahan kimia kadaluwarsa (Samijo, 2010).

Jumlah abu batubara yang dihasilkan per hari dapat mencapai 500-1000 ton. Partikulat debu melayang (*fly ash*) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengandiameter yang sangat kecil, mulai dari <1 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan (Pasaribu, 2010).

Fly ash dan *bottom ash* adalah terminologi umum untuk abu terbang yang ringan dan abu relatif berat yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahanyang lazimnya

menghasilkan abu. *Fly ash* dan *bottom ash* dalam konteks ini adalah abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. *Fly ash/bottom ash* yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh= 1 lubang/inch²). Ukuran ini relatif kecil dan ringan, sedangkan *bottom ash* berukuran 20-50 mesh. Secara umum ukuran *fly ash* dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan trass dengan memasukkannya pada *cement mill* menggunakan udara tekan (*pneumatic system*).

Persoalan lingkungan muncul dari *bottom ash* yang menggunakan *fixed bed* atau *grate system*. Bentuknya berupa bongkahan-bongkahan besar dan masih mengandung *fixed carbon* (catatan: *fixed carbon* dalam batubara dengan nilai kalori 6500-6800 kkal/kg sekitar 41%-42%). Jika *bottom ash* ini langsung dibuang ke lingkungan maka lambat laun akan terbentuk gas Metana (CH₄) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya (*self burning dan self exploding*). Di sisi yang lain, jika akan dimanfaatkan di pabrik semen maka akan merubah desain *feeder*, sehingga pabrik semen tidak tertarik untuk memanfaatkan *bottom ash* tersebut (Kementrian Negara dan Lingkungan Hidup, 2006).

2.3.3 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/m³. Ukuran *fly ash* dari PLTU paling kecil adalah 11–25 µm dan yang kasar bervariasi antara 40–150 µm. 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 mm, warna agak

kehitaman karena masih banyak kandungan karbon tidak terbakar (Bambang, 2011).

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm–0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2–2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan mampu kerja yang lebih baik (Antoni, 2007).

Karakteristik abu batubara yang dihasilkan dari pembakaran berbagai jenis batubara disajikan dalam Tabel 2.2 oleh Bruce Ramme (2004) dimana senyawa dominan di abu batubara adalah SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. Kandungan Al₂O₃ di abu tersebut hampir setengah kandungan Al₂O₃ di bahan baku bauksit (50–62 % Al₂O₃). Kandungan silika yang tinggi akan menyulitkan pemungutan kembali alumina di abu batubara jika abu batubara tersebut akan digunakan sebagai alternatif bahan baku industri aluminium. *Fly ash* mengandung 10–15 % fraksi yang mempunyai sifat magnetik (dominan Fe₂O₃) dan memungkinkan dipisahkan dari fraksi nonmagnetik dengan separator magnet menurut Dobbins (1983). Pemisahan komponen pengotor yang terkandung di abu batubara akan dapat memudahkan proses pemanfaatan abu seperti pengambilan fraksi alumina atau komponen silika (Bambang, 2011).

Tabel 2.2 Komposisi (%) *Fly ash* Batubara

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	0-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
LOI	0-15	0-3	0-5

Sumber: Bambang, 2011.

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 menurut Munird alam Bambang (2006) disajikan di Tabel 2.3.

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 2.3 Karakteristik Abu Batubara Boiler

Parameter	<i>Chain Stoker Boiler Furnance</i>		<i>Fluidized Bed Furnance</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 ₃	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

Sumber: Bambang, 2011.

2.3.4 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, Rusiadisajikan di Tabel 2.4 menurut Shcherban, 1995.

Tabel 2.4 Analisis Mineralogi *Fly ash* PLTU Ekibastuz

N0	Jenis Mineral	Senyawa	Bentuk	Komponen (%)
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

Sumber: Bambang, 2011.

2.3.5 Pengolahan Limbah Padat

Pengolahan limbah padat dapat dilakukan melalui proses sebagai berikut:

a. Pemisahan

Pemisahan perlu dilakukan karena dalam limbah terdapat berbagai ukuran dan kandungan bahan tertentu. Proses pemisahan dapat dilakukan dengan cara- cara sebagai berikut :

1. Sistem Balistik: pemisahan cara ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang lebih seragam, misalnya atas berat dan volumenya.
2. Sistem Gravitasi: pemisahan dilakukan berdasarkan gaya beratnya, misalnya terhadap bahan yang terapung dan bahan yang tenggelam dalam air yang karena gravitasi akan mengendap.
3. Sistem Magnetis: bahan yang bersifat magnetis akan menempel pada magnet yang terdapat pada peralatan sedangkan yang tidak mempunyai akan langsung terpisah

b. Penyusutan Ukuran

Ukuran bahan diperkecil untuk mendapatkan ukuran yang lebih homogen sehingga mempermudah pemberian perlakuan terhadap pengolahan berikutnya, dengan

maksud antara lain :

1. Ukuran bahan menjadi lebih kecil
 2. Volume bahan lebih kecil
 3. Berat dan volume bahan lebih kecil
- c. Pengomposan, bahan kimia yang terdapat di dalam limbah diuraikan secara biokimia.
- d. Pembuangan limbah.

Limbah B3 dapat dilakukan dengan cara thermal dengan mengoperasikan insinerator dengan spesifikasi sesuai dengan karakteristik dan jumlah limbah B3 yang diolah, dapat memenuhi efisiensi pembakaran minimal 99,99% dan efisiensi penghancuran dan penghilangan. Hirarki pengelolaan limbah B3 dimaksudkan agar limbah B3 yang dihasilkan masing-masing unit produksi sesedikit mungkin dan bahkan diusahakan sampai nol, dengan mengupayakan reduksi pada sumber dengan pengolahan bahan, substitusi bahan, pengaturan operasi kegiatan, dan digunakannya teknologi bersih. Bilamana masih menghasilkan limbah B3 maka diupayakan pemanfaatan limbah B3 (PP RI No. 18 tahun 1999).

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

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

