

2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1. Kerangka Teoretik

Meningkatnya konsumsi semen hingga 6% di Indonesia akan meningkatkan konsumsi batubara. Perkembangan penggunaan BBA pada industri semen beberapa tahun terakhir adalah peluang penurunan GRK dengan prinsip alih teknologi melalui CDM. Biomassa ataupun limbah dari industri lain (melalui mekanisme pertukaran limbah) dapat digunakan sebagai bahan bakar jika memenuhi syarat-syarat BBA (Holcim, 2008). Tersedianya biomassa dan limbah industri yang cukup besar, potensial sebagai bahan bakar tambahan yang dapat digunakan untuk pembakaran selain menggunakan bahan bakar primernya.

Diversifikasi energi yang dilakukan beberapa industri semen bukanlah hal yang mudah karena instalasi industri biasanya bersifat spesifik, desain dan peralatan produksi disesuaikan dengan desain awal pabrik. Komitmen beberapa industri semen untuk melakukan diversifikasi energi adalah langkah awal untuk mengurangi konsumsi batubara dan sebagai bentuk partisipasi aktif upaya menurunkan emisi karbon.

2.1.1. Batubara

Industri semen Indonesia saat ini, menggunakan batubara sebagai bahan bakar primernya. Penggunaan batubara di industri semen dimulai sejak tahun 1980 (Duda, 1976), menggantikan gas alam dan bahan bakar minyak yang mulai melambung harganya. Kualitas batubara dipengaruhi berbagai faktor yaitu; nilai kalori (*caloric value*, CV), kandungan air, abu (*ash*) dan partikel yang mudah menguap (*volatile matter*). Batubara menurut Purnomo (2009) berdasarkan nilai kalorinya diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu batubara dengan nilai kalori tinggi ($CV > 6.200$ kkal/kg), batubara dengan kalori menengah ($CV = 5.800-6.000$ kkal/kg) dan batubara dengan nilai kalori yang rendah ($CV < 5.700$ kkal/kg).

Batubara mengandung bahan organik dan material. Bahan organik terdiri atas; karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Sulfur (S) dan abu adalah mineral. Material yang mudah menyala (*combustible material*), seperti C, H dan S

ketika pembakaran akan menghasilkan panas dengan oksigen yang diperoleh dari udara. Semakin besar komponen yang mudah menyala dalam bahan bakar, makin meningkat nilai kalornya.

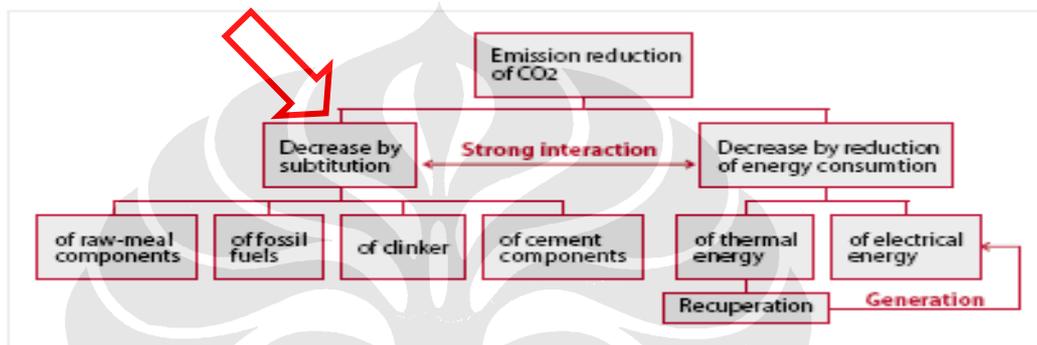
Kualitas batubara memiliki pengaruh kestabilan nyala dalam pembakaran (Kurniawan, 2008). Abu adalah konstituen yang tidak diinginkan pada bahan bakar. Selama proses pembakaran, abu diserap secara sempurna oleh klinker. Kandungan air dalam jumlah kecil diperlukan untuk menginisiasi pembakaran, karena pembakaran berawal dari serangkaian reaksi berantai. Karbon terlebih dulu bereaksi dengan radikal $-OH$ (gugus hidroksida) yang lebih aktif. Hal ini mengakibatkan dibutuhkan uap air dalam jumlah yang sedikit untuk menyalakan bahan bakar (Duda, 1976). Kemampuan batubara menghasilkan nyala yang stabil adalah faktor yang disukai dalam operasi, karena tidak stabilnya nyala mengakibatkan karbon tidak terbakar dan perubahan kecepatan pelepasan kalor.

Batubara terbentuk dari massa makhluk hidup yang tertimbun dalam kurun waktu yang cukup lama. Semakin lama waktu pembentukannya (dari sudut pandang geologi) maka komponen karbonnya semakin besar. Antrasit, bituminus dan lignit merupakan klasifikasi batubara dari sudut pandang geologi (UNEP, 2005). Penggunaan batubara sebagai bahan bakar proses akan menghasilkan CO_2 yang sebelumnya menjadi massa di dalam perut bumi dan CO jika terjadi pembakaran yang tidak sempurna.

Emisi CO_2 mengakibatkan meningkatnya temperatur lokal (Thayib, 2009) dan GRK. Jumlah karbon monoksida berlebih di lingkungan akan mengakibatkan terganggunya kualitas makhluk hidup. Gas CO akan masuk melalui saluran pernafasan dan masuk ke paru-paru dan berikatan dengan hemoglobin (Hb) dalam darah membentuk karboksi hemoglobin ($CO-Hb$). Terbentuknya $CO-Hb$ dalam darah akan mengakibatkan terhambatnya fungsi Hb untuk membawa oksigen ke paru-paru.

2.1.2. Bahan Bakar Alternatif

Penggunaan BBA merupakan upaya untuk mengurangi konsumsi batubara yang merupakan sumberdaya yang tak terbarukan disamping menurunkan emisi karbon yang dihasilkan oleh batubara. Seperti yang terlihat dalam Gambar 2, penurunan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan substitusi bahan bakar. Bahan bakar primer yang berasal dari batubara dapat diturunkan konsumsinya dengan memanfaatkan BBA.



Source: Towards a Sustainable Cement Industry, Climate Change chapter. (World Business Council on Sustainable Development, 2002)

Gambar 2. Alternatif Penurunan Emisi Karbon
(Sumber: WBCSD dalam Danish CDM Project Development Facility , 2005)

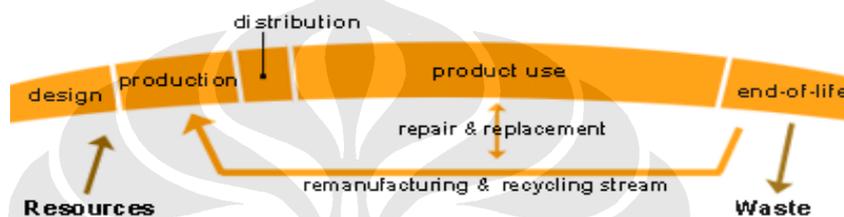
Perkembangan penggunaan AFR di luar negeri dimulai sejak 1970-an dan saat ini mengalami perkembangan yang cukup pesat hingga mencapai substitusi 30-40% (Tabel 3). Penggunaan BBA pada program AFR memanfaatkan biomassa, ban bekas, lumpur hidrokarbon (*hydrocarbon sludge*), limbah industri, deposit asam dan limbah plastik (Holcim, 2006). Penggunaan BBA adalah bagian dari hierarki pengolahan limbah yang terintegrasi dengan program pengelolaan limbah.

Tabel 3. Penggunaan AFR di Industri Semen

Lokasi	% Energi Panas yang digantikan oleh AFR	Tahun
Perancis	32	2003
Jerman	42	2004
Norwegia	45	2003
Switzerland	47	2002
USA	25	2003

(Sumber: Holcim (b), 2006)

Pengembangan penggunaan BBA menjadi hal yang cukup penting. Pertama, penggunaan BBA adalah jawaban atas besarnya volume limbah (limbah industri yang pengolahannya cukup mahal dan limbah pertanian). Kedua, penggunaan BBA termasuk langkah diversifikasi energi untuk menurunkan ketergantungan pada bahan bakar tradisional yaitu batubara. Ketiga, penggunaan limbah industri berbahan dasar fosil akan memperpanjang siklus penggunaan bahan (*life cycle*) yang pada akhirnya dapat mengurangi eksplorasi batubara sebagai bahan bakar utama, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Aliran Material
(Sumber: Anonimous, 2006)

2.1.2.1. Biomassa

BBA dari biomassa bersumber dari limbah pertanian, perkebunan dan industri pengolahan keduanya. Nilai kalor berbagai jenis limbah pertanian ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa biomassa yang berasal dari limbah pertanian menyimpan nilai kalori yang cukup besar yang potensial dimanfaatkan sebagai BBA. Semakin tinggi nilai kalor yang tersimpan dalam biomassa, maka akan semakin besar energi yang dapat menggantikan energi panas yang dihasilkan oleh batubara.

Tabel 4. Perbandingan Nilai Kalori Berbagai Jenis Biomassa

Bahan Bakar	Jumlah (ton) untuk menghasilkan energi yang ekuivalen dengan 1 ton batubara	Nilai Kalori (1 KJ/g)
Batubara	1	23
Sekam	1,5	15,6
Jerami	1,6	14,2
Cangkang sawit	1,1	20,5
Kayu karet	1,2	19,2
Serbuk gergaji	1,3	18
Cangkang kelapa	1,1	20,3
Ampas tebu	1,2	18,5

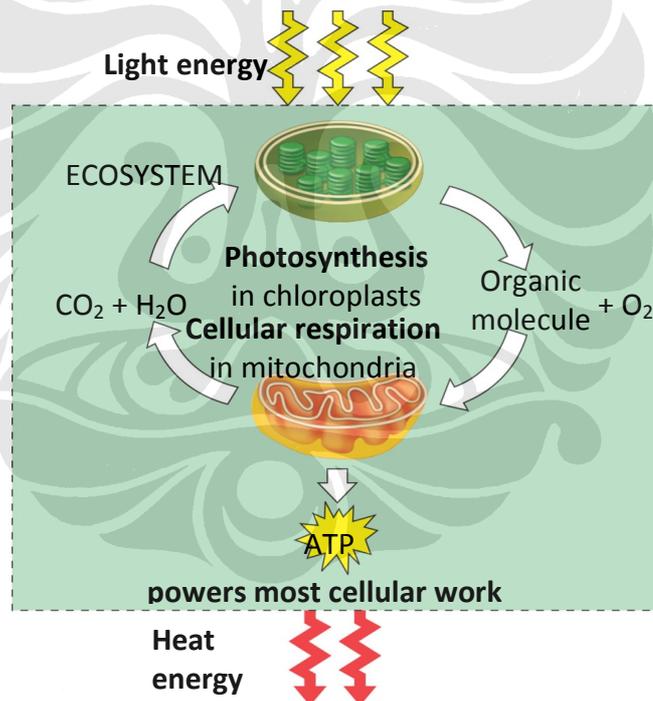
(Sumber: Indocement, 2004)

Jenis biomassa yang digunakan sebagai BBA di industri semen yang telah menerapkan program ini adalah; serbuk gergaji, sekam dan cangkang kelapa sawit. Potensi biomassa berdasarkan wilayah ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Potensi Biomassa di Indonesia

Biomassa	Daerah Penghasil	Ketersediaan per Wilayah Tiap Tahun (Metrik Ton)
Cangkang kelapa sawit	Sumatra, Kalimantan, Maluku, Nusa Tenggara, Irian Jaya	1.200.000
Sekam padi	Jawa, Sumatera, Kalimantan, Irian Jaya, Maluku	12.000.000
Residu kayu (termasuk serbuk gergaji)	Jawa, Sumatera, Kalimantan, Irian Jaya, Maluku	7.300.000

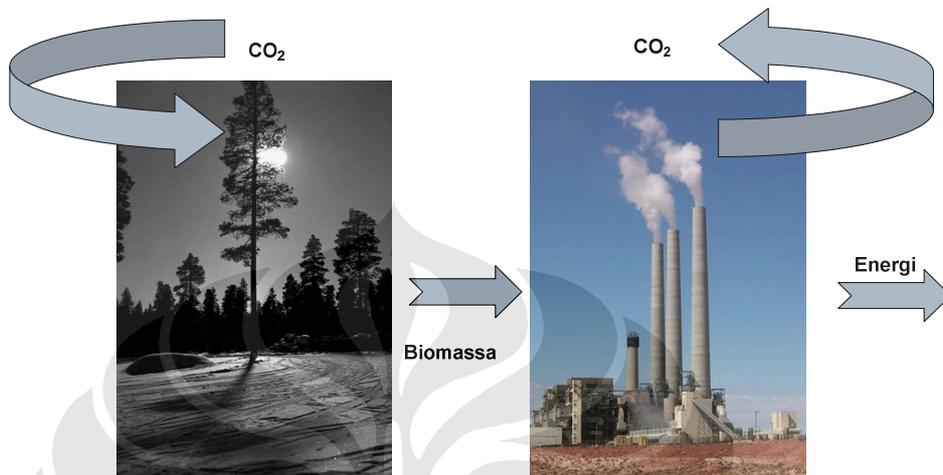
(Sumber: Indocement, 2004)



Gambar 4. Siklus Energi pada Tumbuhan
(Sumber: Anonimous, 2009)

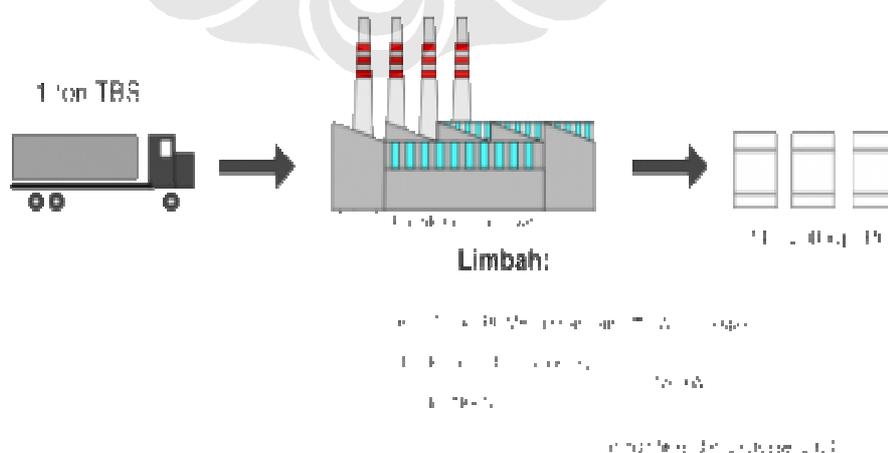
Biomassa mengkonsumsi CO_2 selama daur hidupnya melalui proses fotosintesis. Karbon dioksida dari lingkungan dan uap air akan bereaksi dengan bantuan sinar matahari menghasilkan senyawa organik (glukosa) dan oksigen. Gambar 4

menggambarkan penggunaan CO₂ pada saat fotosintesis dan terbentuknya CO₂ selama respirasi. CO₂ pada biomassa merupakan daur alami sehingga emisi CO₂ oleh penggunaan biomassa dalam pembakaran di tanur semen tidak diperhitungkan (*gross emission total*, Gambar 5).



Gambar 5. Transformasi CO₂ dalam Konversi Energi
(Sumber: Azar, 2009)

Potensi cangkang kelapa sawit bersumber dari perkebunan dan industri pengolahannya yang sebagian besar di luar Jawa (Tabel 5). Limbah pabrik *Crude Palm Oil* (CPO) antara lain tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat (mesokarp), dan cangkang kelapa sawit. Selama ini limbah sawit (pabrik dan kebun) dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler dan TKKS dimanfaatkan sebagai kompos untuk perkebunan (Goenadi, 2008). Pabrik Kelapa Sawit (PKS) nasional mencapai 205 buah dan 86% di antaranya berlokasi di luar Jawa (Goenadi, 2006).



Gambar 6. Proses Produksi CPO dan Potensi Limbah
(Sumber: Goenadi, 2008)

Proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit menjadi CPO secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 6. Satu ton TBS yang diolah dapat diperoleh CPO sebanyak 140–220 kg. Proses pengolahan ini akan menghasilkan limbah padat, limbah cair dan gas. Limbah cair yang dihasilkan sebanyak 600–700 kg *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah padat yang dihasilkan adalah serat dan cangkang kelapa sawit sebanyak 190 kg (19% dari produksi TBS) dan 230 kg TKKS segar (kadar air 65%). Selain itu juga dihasilkan limbah emisi gas dari boiler dan insinerator.

Jumlah industri penggergajian yang tersebar di beberapa wilayah di Indonesia menghasilkan residu kayu seperti potongan kayu dan serbuk gergaji. Biomassa dari industri kayu berasal dari sektor: penggergajian, vinir/kayu lapis dan pulp/kertas. Ketiganya mengkonsumsi kayu dalam jumlah relatif besar. Selama ini serbuk gergaji yang memungkinkan untuk menjadi sumber pasokan BBA industri semen berasal dari industri penggergajian yang sering dibuang begitu saja atau bahkan dibakar (*open burning*). Potensi limbah yang terbentuk dari industri kayu penggergajian mencapai 50,8% dari produksi kayu total (Setyawati, 2003).

Selain kedua jenis biomassa yang telah disebutkan di atas, sekam dikategorikan jenis biomassa yang potensi cukup tinggi dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit dan serbuk gergaji. Indonesia sebagai negara agraris menjadi sumber kontinyu produksi sekam. BPS menyatakan bahwa produksi beras nasional pada tahun 2006 kurang lebih sebanyak 54,7 juta ton dari 11,9 juta hektar sawah. Isroi (2008) menyebutkan bahwa rasio jerami/panen adalah 1,4 (berdasarkan pada berat kering massa). Artinya setiap produksi 1 ton akan menghasilkan jerami 1,4 ton. Misal produksi rata-rata beras di Jawa Barat adalah 6 ton maka jeraminya kurang lebih sebanyak 8,4 ton (berat kering). Potensi ketersediaan sekam yang digunakan pada bab selanjutnya adalah, 20% dari total produksi (Indocement, 2004). Kandungan silika pada sekam mencapai 17% (Deptan, 2008) dapat digunakan sebagai penyumbang unsur silika yang merupakan penyusun tanah liat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebagai bahan baku dalam pembuatan semen.

2.1.2.2. Limbah Industri

Potensi limbah yang berasal dari jenis industri tertentu seperti: *pulp* dan kertas, ketenagalistrikan, kilang minyak, dll juga mulai diujai sebagai BBA. Limbah B3 misalnya seperti lumpur minyak, yang semula dianggap menyedot biaya yang cukup tinggi untuk pengolahan pada perusahaan pengolahan LB3 (PPLI dan semacamnya), saat ini mulai dimanfaatkan oleh Holcim dan Indocement sebagai BBA.

Proses penyulingan minyak mentah (*crude oil*) dalam industri perminyakan menghasilkan limbah padat seperti lumpur minyak. Pada industri perminyakan, minyak hasil penyulingan dari minyak mentah biasanya disimpan dalam tangki penyimpanan. Proses oksidasi yang terjadi akibat kontak antara minyak, udara dan air menimbulkan sedimentasi pada dasar tangki penyimpanan dan inilah yang disebut lumpur minyak. Sugiarto (2004) menyatakan, lumpur minyak terdiri atas minyak (*hydrocarbon*), air, abu, karat tangki, pasir dan bahan kimia lainnya. Kandungan hidrokarbon antara lain benzen, toluen, etilbenzen, *xylene* dan logam berat seperti timbal (Pb) yang dikategorikan LB3. Komposisi penyusun lumpur minyak secara garis besar terdiri atas minyak mentah (10-60%), air (30-90%) dan partikel padat lainnya (5-40%) dalam proporsi yang berbeda-beda sesuai asalnya. Selain berasal dari industri perminyakan, lumpur minyak juga dihasilkan dari kapal (*marine tanker*) dan utilitas industri. Adanya minyak pada lumpur minyak inilah yang dapat dimanfaatkan kalorinya sebagai energi pada proses pembakaran pada tanur semen.

Lumpur minyak sebelumnya, dibiarkan menumpuk, dianggap sebagai limbah yang harus dimusnahkan. Pengolahan lumpur minyak dan LB3 lainnya membutuhkan biaya yang tinggi. Terlihat pada Gambar 7, bahwa lumpur minyak yang tidak terkelola dengan baik. Meningkatnya volume lumpur minyak yang tidak terkelola akan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan dan manusia. Penumpukan pada kolam-kolam penampung tanpa pengolahan berpotensi mengemisikan sejumlah impuritas yang terkandung di dalamnya, selain mencemari air tanah. Pemanfaatan lumpur minyak sebagai BBA pada tanur semen

dapat meminimalkan volume LB3 yang tidak terkelola lantaran tingginya biaya pengolahan pada instansi pengolah limbah yang telah ada.

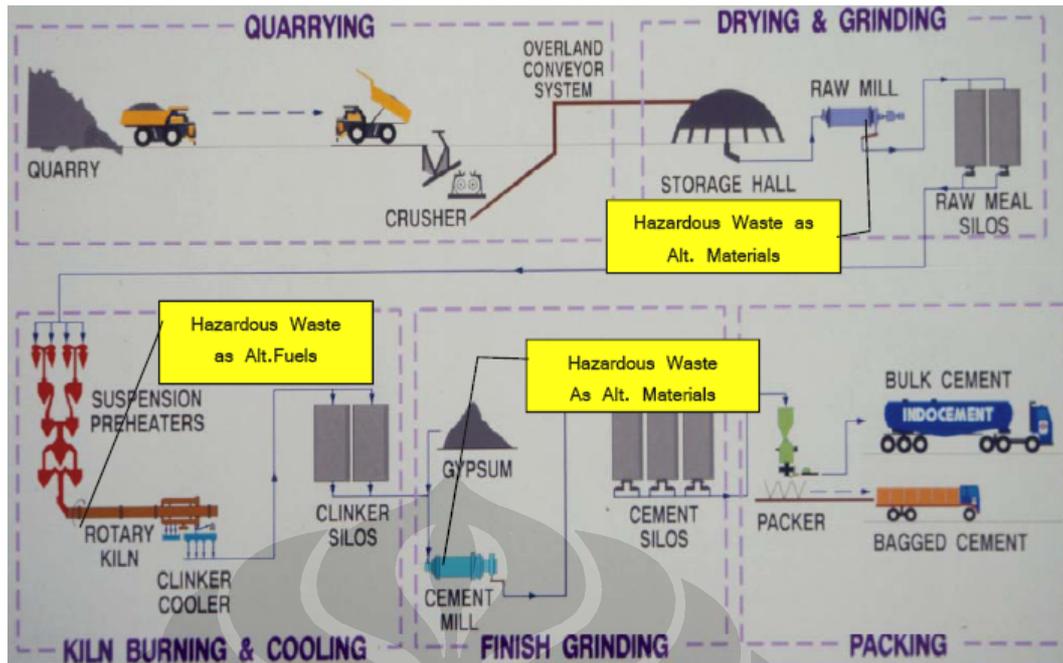


Gambar 7. Kolam Penampungan Lumpur Minyak
(Sumber: KLH, 2006)

Pemanfaatan BBA yang tergolong LB3 memerlukan analisis mendalam karena karakteristik limbah yang memerlukan penanganan secara khusus serta pengaruh penggunaannya pada kualitas semen. Kandungan logam berat, serta unsur-unsur seperti golongan halogen yang ada di dalam limbah harus dapat dikelola dengan benar agar penggunaan BBA ini tidak menghasilkan limbah baru (*perpetuate the waste production*). Dari sisi pengangkutan limbah, pengangkutan dari industri penghasil ke lokasi pengolahan melibatkan alur yang cukup panjang yang memungkinkan terjadinya ceceran/kebocoran (*leakage*). Penanganan di lapangan sebelum pengumpanan mengharuskan pekerja menggunakan alat keselamatan untuk menghindari terjadinya bahaya kerja yang diakibatkan pemanfaatan LB3. Hal lain yang cukup penting adalah pemantauan emisi dari; tempat penyimpanan LB3, tempat pencampuran LB3 dengan jenis BBA lainnya, serta emisi pembakaran LB3 apakah menghasilkan pencemar berbahaya atau tidak.

2.1.3. Proses Pembuatan Semen

Untuk menghasilkan produk semen, ada beberapa tahapan proses yang harus dilalui, yaitu: penambangan, pengeringan dan penggilingan, pembakaran di tanur & pendinginan, penggilingan akhir, dan pengemasan.



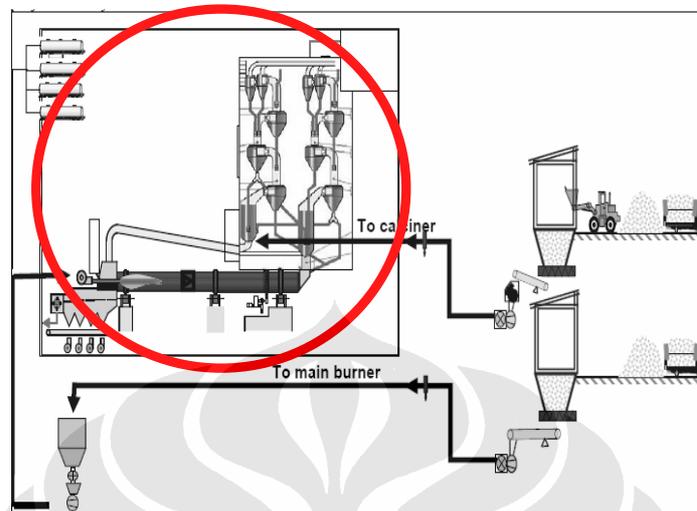
Gambar 8. Tahapan Proses Pembuatan Semen
(Sumber: Indocement (a), 2006)

Tahapan pembuatan semen dapat dilihat dari Gambar 8. Penggunaan BBA diaplikasikan pada *kiln unit* (unit *kiln*) yang terdiri dari pemanas awal (*suspension preheater*), tanur dan pendingin (*cooler*). Proses pembuatan semen meliputi tahapan berikut:

Proses pertama adalah penyiapan bahan. Bahan baku utama adalah batu kapur dan tanah liat, pasir besi, pasir silika, gipsium dan trass. Batu kapur dan tanah liat biasanya digali di tambang-tambang milik perusahaan. Batu kapur tersebut kemudian dihancurkan dalam mesin penghancur batu kapur sehingga berukuran maksimum 2,5 inci. Setelah dihancurkan batu kapur tersebut disimpan dalam gudang penimbunan batu kapur.

Proses kedua adalah penggilingan bahan. Sekitar 80% batu kapur ditambah 15% tanah liat ditambah 4% pasir silika serta 1% pasir besi ditimbang sesuai proporsinya kemudian dimasukkan ke penggilingan bahan mentah (*Roller mill* atau *Horizontal mill*) untuk digiling sampai halus dan sekaligus dikeringkan. Selanjutnya bahan yang telah berbentuk halus disimpan dalam silo pencampur (*Homegenizing Silos*). Pada silo tersebut terjadi pencampuran sehingga terbentuk

campuran yang homogen. Campuran yang telah homogen tersebut diumpankan ke dalam silo pengumpanan untuk selanjutnya diumpankan ke pemanas awal.



Gambar 9. Proses Pembakaran pada Unit *Kiln* Semen
(Sumber: Indocement, 2004)

Proses ketiga adalah pembakaran (Gambar 9). Dari silo-silo pengumpanan, bahan diumpankan ke dalam *preheater* selanjutnya bahan tersebut mengalir dari pemanasan awal masuk ke tanur putar (*rotary kiln*). Pada tanur putar bahan dibakar hingga suhu mencapai $1.350\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1.450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada langkah inilah digunakan bahan bakar campuran (batubara dan BBA). Bahan yang telah terbentuk kemudian didinginkan secara mendadak sehingga terbentuk klinker. Klinker tersebut disimpan di tempat penyimpanan.

Proses keempat adalah penggilingan akhir. Sekitar 96% klinker ditambah 4% gipsum kemudian digiling bersama-sama di mesin penggilingan akhir (*Tube Mill*) dan akan menghasilkan *Portland Cement* jenis I. Untuk menghasilkan *Portland Pozzolan Cement* (PPC) diperlukan sekitar 76% klinker serta 20% bahan trass dan 4% gipsum yang digiling bersama-sama dalam mesin penggilingan akhir.

Proses kelima adalah pengantungan dan pengangkutan. Semen dimasukkan ke dalam kantong menggunakan mesin pengantungan. Kantong ini terbuat dari kertas kraft atau *polypropylene woven*. Kantong yang telah terisi semen kemudian

diangkut dengan truk, kereta api, dan kapal laut untuk diekspor atau disalurkan kepada konsumen dalam negeri melalui distributor, subdistributor, pengecer dan sebagainya. Pengiriman semen juga dilakukan dalam bentuk curah dengan menggunakan truk tangki semen dan kapal laut.

2.1.4. Co-processing

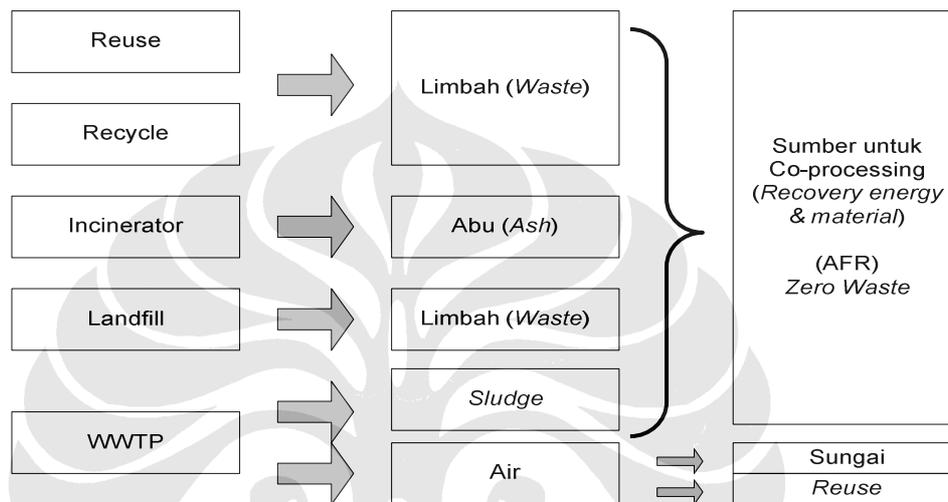
Proses pemanfaatan limbah sebagai BBA di industri semen dilakukan dengan teknologi *co-processing*. *Co-processing* adalah teknologi pemanfaatan limbah dalam proses industri semen dengan pemanfaatan kembali (*recovery*) energi dan material yang terdapat di dalam limbah tersebut. *Co-processing* memanfaatkan kemampuan pembakaran kiln yang mencapai suhu 1450°C, sehingga material yang masuk di dalam tanur akan terdestruksi secara sempurna.



Gambar 10. Hierarki Manajemen Pengelolaan Limbah
(Sumber: Indocement (a), 2008)

Prinsip hierarki pengelolaan limbah yang terlihat pada Gambar 10 memberikan urutan tahapan pengelolaan limbah mulai dari yang lebih diprioritaskan hingga yang tidak prioritas. Hierarki penanganan limbah awal adalah menghindari terbentuknya limbah, dilanjutkan dengan minimisasi jika tetap dihasilkan limbah. Prinsip selanjutnya adalah penggunaan kembali limbah ke dalam proses produksi (*recycle* dan *reuse*). Berbagai peraturan lingkungan internasional dan nasional seperti Konvensi Basel, Stockholm, Undang-undang Nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Sampah dan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 18/1999 jo

PP 85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dan Permen LH Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menjunjung prinsip di atas. *Co-processing* dilakukan sebagai pilihan keempat setelah tiga teknik pengelolaan limbah telah dilakukan namun masih menghasilkan limbah. Limbah yang masih mengandung nilai kalori, dimanfaatkan kalorinya sebagai panas pembakaran.



Gambar 11. Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Sumber: Indocement (a), 2008)

Co-processing seperti tampak pada Gambar 11, dapat menggunakan residu/limbah yang dihasilkan dari teknik pengelolaan limbah seperti pemanfaatan kembali (*reuse, recycle*), insinerasi, penimbunan di tempat terbuka (*landfill*) dan lumpur dari *Waste Water Treatment Plant* (WWTP). *Co-processing* dapat berfungsi sebagai teknik pemanfaatan energi (*energy recovery*) yang berasal dari limbah dan dapat pula berfungsi untuk destruksi limbah. Destruksi limbah dengan *co-processing* pada tanur dapat dilakukan jika tidak ada teknologi lain yang lebih baik. Pada saat ini, pemanfaatan BBA di industri semen ditujukan untuk melakukan pemanfaatan kembali nilai kalori yang tersimpan dalam limbah untuk mengurangi konsumsi batubara. Keunggulan *co-processing* dalam pengelolaan limbah antara lain:

1. Mengelola limbah secara tuntas. Proses pembakaran pada tanur semen berlangsung pada suhu yang tinggi dengan waktu tinggal yang lama serta tidak meninggalkan residu (Tabel 6).

Tabel 6. Keuntungan dan Kerugian Beberapa Teknologi Pengolahan Limbah

Fokus Utama	<i>Co-processing</i>	Bioremediasi	Insinerasi	<i>Landfill</i>
Ijin	Ya	Ya	Ya	Ya
Emisi gas berbahaya	Tidak	Ya	Ya	Ya
Pemanfaatan kembali mineral dan energi	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Biaya	Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Kewajiban penghasil terhadap limbah	Cepat	≈ 2 tahun	Berlanjut	Berlanjut
Residu	Tidak	Ya	Ya	Ya
<i>Leachate</i> (Lindi)	Tidak	Ya	Ya	Ya

(Sumber: Indocement, 2008)

- Mengurangi biaya pengelolaan limbah. Teknologi *co-processing* merupakan pemanfaatan limbah yang masih mengandung energi sebagai bahan bakar tanur, sehingga orientasinya bukan pada keuntungan secara materi. Limbah B3 misalnya biaya pengelolaannya lebih rendah dibandingkan dengan teknologi lainya semisal insinerasi dan bioremediasi.
- Mempercepat alur kewajiban penghasil LB3 dalam proses destruksi, karena pemanfaatan LB3 dalam tanur semen akan mendestruksi limbah secara sempurna. Teknologi ini tidak menghasilkan residu (*zero waste*), sehingga kewajiban penghasil limbah selesai setelah limbah masuk unit pembakaran (Tabel 6).

Pengolahan limbah dengan *co-processing* selain lebih ramah lingkungan dengan tidak dihasilkannya residu, juga mengurangi terbentuknya emisi karbon dari proses insinerasi. Biaya pengolahan LB3 yang harus dikeluarkan penghasil limbah pun lebih rendah dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan jika LB3 diolah dengan jasa instansi pengolah LB3 yang telah ada sebelumnya. Hal ini disebabkan karena industri semen bukan sebagai pemanfaat utama LB3 dalam kegiatan ekonominya.

Alur LB3 dari penghasil hingga ke industri semen terlihat dari Gambar 12. Limbah B3 dari penghasil diangkut oleh transporter dan dilanjutkan dengan proses penanganan awal untuk *co-processing*. Selain cara pertama, LB3 dapat diperoleh dari industri pengolah LB3.



Gambar 12. Alur Transfer Limbah B3
(Sumber: *Center for Research on Energy Policy- ITB*, 2008)

2.1.5. Energi Berkelanjutan

Energi sangat penting peranannya dalam perekonomian Indonesia, baik sebagai bahan bakar untuk proses industrialisasi, sebagai bahan baku untuk proses produksi, dan sebagai komoditas ekspor. Sumber energi yang digunakan untuk keperluan domestik meliputi energi fosil (minyak bumi, gas bumi, dan batubara) serta energi terbarukan (tenaga air dan biomassa).

Tabel 7. Status Energi Indonesia

Energi Fosil	Sumber Daya	Rasio Cadangan/Produksi (tanpa eksplorasi) Tahun
Minyak	86,9 miliar barel	18
Gas	384,7 TSCF	61
Batubara	57 miliar ton	147
Energi Non Fosil	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang
Tenaga Air	75,67 GW	4.200 MW
Panas Bumi	27,08 GW	800 MW
Mini/ <i>Micro Hydro</i>	458,75 MW	84 MW
Biomassa	49,81 GW	302,4 MW
Tenaga Surya	4,8 kWh/m ² /hari	8 MW
Tenaga Angin	9,29 GW	0,5 MW
Nuklir	3 GW	-

(Sumber: Departemen ESDM, 2005)

Cadangan energi fosil akan terus berkurang seiring dengan penggunaannya. Tabel 7 menunjukkan cadangan batubara pada tahun 2004 diperkirakan masih mampu

menyuplai kebutuhan hingga 147 tahun mendatang sedangkan gas bumi dan minyak bumi masing-masing masih tersedia untuk jangka waktu sekitar 61 tahun dan 18 tahun dengan tingkat produksi seperti saat ini dan bila tidak ditemukan cadangan baru. Ketergantungan pada bahan bakar fosil mengakibatkan potensi energi terbarukan kurang dieksplorasi pemanfaatannya. Cetak biru kebijakan energi Indonesia pada Tabel 7 menggambarkan betapa banyak energi nonfosil yang belum dioptimalkan penggunaannya, termasuk di dalamnya adalah biomassa.

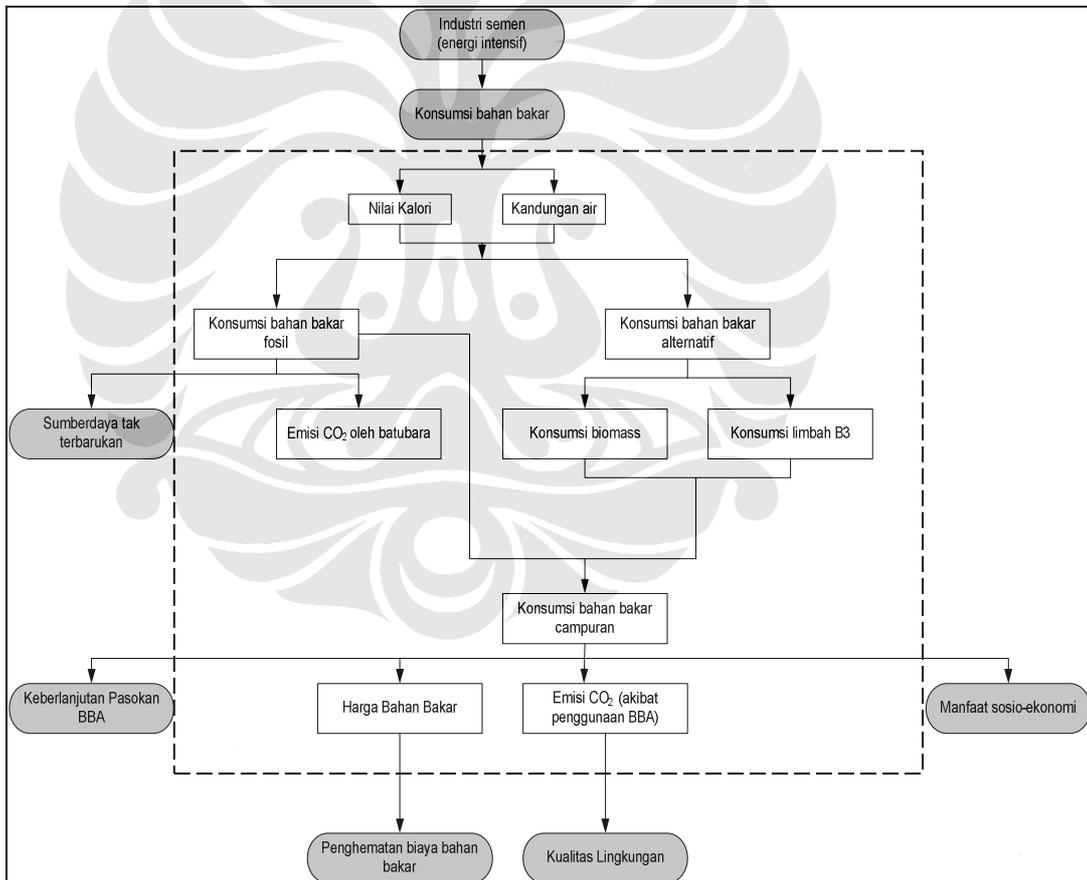
Berkembangnya industri dan populasi manusia semakin mengancam ketersediaan energi dari bahan bakar fosil. Ketergantungan terhadap jenis-jenis energi tak terbarukan merupakan masalah serius yang harus segera ditanggulangi dengan pengoptimalan pemanfaatan energi terbarukan. Seiring dengan berkembangnya konsep pembangunan berkelanjutan dikenal pulalah definisi energi berkelanjutan, yaitu pemanfaatan energi di masa sekarang tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya. Energi berkelanjutan terdiri dari dua komponen utama:

1. Peningkatan efisiensi energi berupa pengurangan kebutuhan energi dengan perbaikan efektivitas penggunaan.
2. Peningkatan penggunaan energi terbarukan.

Kemampuan berlanjut (*sustainability*) dalam pemenuhan energi meliputi aktivitas penghematan energi, pengurangan bahaya pencemaran dan kesehatan akibat pemanfaatan energi. Penghematan energi di industri pada beberapa tahun terakhir dilakukan dengan efisiensi energi, sementara pengurangan pencemaran dilakukan dengan mengurangi konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Pengembangan energi terbarukan sebagai pengganti energi konvensional (migas dan batubara) selain berorientasi pada penurunan pencemar juga dilakukan untuk menjaga kualitas lingkungan. Selain itu, pemanfaatan limbah industri yang masih berbahan dasar fosil akan memperpanjang siklus materi dan pada akhirnya akan mengurangi konsumsi bahan bakar primer.

2.2. Kerangka Berpikir

Industri semen tergolong industri yang mengkonsumsi energi yang cukup besar termasuk di dalamnya konsumsi batubara sebagai bahan bakar tanur. Emisi CO₂ yang berasal dari konsumsi batubara sebagai energi pembakaran mengakibatkan ancaman ekologis jika tidak segera ditanggulangi dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan (biomassa) dan pengoptimalan nilai kalori limbah industri. Penggunaan batubara akan menurunkan kualitas lingkungan karena kontribusi emisi CO₂. Sementara pengembangan limbah sebagai BBA selain akan mengurangi volume limbah, penurunan biaya pengolahan limbah juga memberikan penurunan emisi karbon. Secara skematik kerangka konsep penelitian dapat dijelaskan seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Kerangka Konsep Penelitian

2.3. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan adalah:

1. Penggunaan biomassa sebagai BBA di perusahaan semen berkontribusi pada penurunan emisi CO₂.
2. Penggunaan limbah industri (kategori LB3) sebagai BBA memberikan energi yang cukup besar pada bahan bakar tanur semen.

