

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

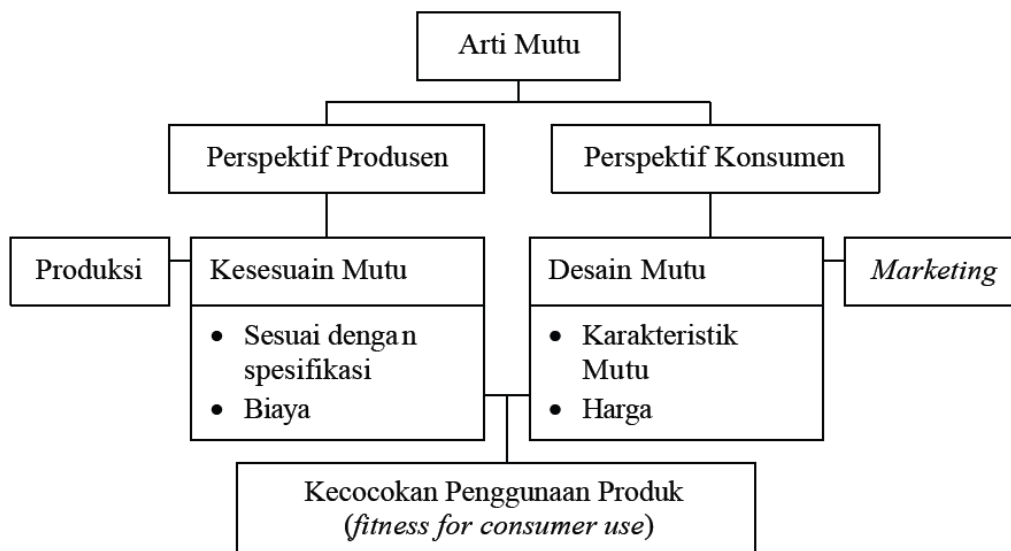
2.1 Konsep Mutu

Persaingan antar perusahaan yang satu dengan yang lain telah mendorong perusahaan untuk menciptakan produk yang bermutu, sehingga mutu menjadi perhatian lebih dari perusahaan untuk bisa memenangkan persaingan. Mutu mengandung arti bahwa produk yang diciptakan sesuai dengan keinginan konsumen. Untuk menciptakan sebuah produk yang bermutu diperlukan usaha perbaikan secara terus-menerus dan berkesinambungan yang tidak hanya dilakukan oleh departemen pengawasan mutu saja, melainkan harus dilakukan oleh semua pihak dalam perusahaan.

Mutu tidak hanya selalu diidentikan dengan produk akhir saja, melainkan mutu juga berhubungan dengan reputasi perusahaan, peningkatan pangsa pasar, serta penurunan biaya karena berkurangnya produk gagal. Menciptakan produk yang bermutu tidak selalu berkorelasi dengan penggunaan biaya yang tinggi. Untuk menghasilkan produk yang bermutu memang membutuhkan biaya, tetapi hal tersebut akan tertutupi oleh manfaat yang akan diperoleh perusahaan melalui penciptaan produk yang bermutu.

Banyak ahli yang mendefinisikan mutu yang secara garis besar orientasinya adalah kepuasan pelanggan yang merupakan tujuan perusahaan atau organisasi. Gilmore dalam Ariani (1999), mendefinisikan mutu sebagai suatu kondisi dimana produk sesuai dengan desain atau spesifikasi tertentu. Menurut Winchell *et al.* dalam Ariani (1999), mutu adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang berkaitan dengan kemampuannya memenuhi kebutuhan atau kepuasan.

Juran dalam Ariani (1999), mendefinisikan mutu adalah sesuai untuk digunakan. Menurut Russel dalam Ariani (1999), mutu mempunyai dua perspektif yaitu dari perspektif produsen dan dari perspektif konsumen. Jika kedua perspektif tersebut digabungkan maka akan dapat tercapai kesesuaian antara kedua sisi tersebut yang dikenal sebagai kesesuaian untuk digunakan oleh konsumen. Dua perspektif mutu bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.1 Dua Perspektif Mutu (Sumber: Russel dalam Ariani 1999)

Meskipun tidak ada definisi mengenai kualitas yang diterima secara universal, namun dari tiap definisi tersebut memiliki beberapa persamaan, yaitu dalam elemen-elemen sebagai berikut (Nasution dalam Silvana, 2004):

- a) Kualitas meliputi usaha memenuhi atau melebihi harapan pelanggan.
- b) Kualitas mencakup produk, jasa, manusia, proses dan lingkungan.

- c) Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalkan apa yang dianggap berkualitas saat ini mungkin dianggap kurang berkualitas pada masa mendatang).

2.2 Industri Berwawasan Lingkungan

Sektor industri manufaktur sudah saatnya memperluas tanggung jawabnya terhadap keseluruhan *stake holder* sepanjang siklus hidup produknya, karena selama ini industrilah yang memproduksi dan membuang limbah, menghasilkan emisi pollutant dan membuat sampah dari produk bekasnya.

Pasar cenderung memiliki preferensi yang lebih baik terhadap industri yang memiliki citra akrab terhadap lingkungan. Tekanan regulasi dan pasar global yang memberlakukan hambatan non tarif seperti *ecolabelling* EMAS (*Environmental Magement Auditing Scheme*), ISO 14001 dan sebagainya memaksa industri dan perusahaan untuk memasukkan pertimbangan lingkungan dalam strategi manajemennya.

Karenanya tanggung jawab industri yang berwawasan lingkungan sebaiknya diperluas dari peran dan tanggung jawab tradisionalnya yang hanya sebagai pembabrik (*manufacturer*) tetapi juga sebagai pendaur ulang produk dan mengurus limbah yang dihasilkan oleh produksinya supaya beban lingkungan akibat limbah industri bisa berkurang.

Di Jerman misalnya, Jovane (1995) melaporkan akibat umur produk (*lifetime*) yang semakin pendek dan tingkat "kadaluwarsa" (*obsolescence*) semakin tinggi membuat produksi limbah menjadi berlipat 2 kali dalam 20 tahun terakhir. Misalnya produksi limbah mobil bekas tercatat sebesar 3 Juta ton/tahun, peralatan rumah tangga menjadi 750 Ribu ton/tahun pada tahun 1993. Pada tahun yang sama di AS, biaya pengolahan dan pemusnahannya membesar dari 100\$ per ton menjadi 600-1000\$/ton. Tentunya trend ini menjadi gejala di Indonesia dikemudian hari

mengingat :(i) Ledakan pertumbuhan penduduk (ii) elastisitas peningkatan pendapatan masyarakat terhadap permintaan produk industri manufaktur (iii) ketidakmampuan pengendalian dampak lingkungan yang negatif akibat eksploitasi berlebihan terhadap sumber daya alam, material dan energi.

Seperti dipaparkan oleh Tolba (1992), "*The environment is a complex and dynamix system made up by multiple interactive component. Our knowledge about these components and the way they interact between themselves, human beings, natural resources and the environment has evolved in a significantly late*". Maka usaha manusia untuk bisa selaras dengan lingkungan dan sejahtera dalam planet bumi, masih memerlukan kesepakatan dan komitmen bersama seperti yang yang tertuang dalam Agenda 21 yang melahirkan konsep "*sustainable development*", inisiatif tumbuhnya komitmen baru dari berbagai industri dan perusahaan besar terhadap lingkungan seperti "*The World Business Council for Sustainable Development*" (WBCSD), "*World Industry Council for the Environment*"(WICE), dan the "*International Chamber of Commerce*"(ICC) dan sebagainya.

Aktivitas industri yang ada saat ini bisa dipandang sebagai suatu "ekosistem industri", karena melibatkan arus material dan energi yang berasal dari lingkungan. Sehingga industri yang menyebabkan percepatan aliran material dan energi dari sumbernya di ekosistem sekaligus mengancam keberadaan planet bumi.

Industri manufaktur memiliki kontribusi yang signifikan menghancurkan ekosistem dan merusak lingkungan disaat melakukan proses manufakturingnya, menggunakan atau saat membuang produk tersebut, bila tingkat percepatan pertumbuhannya melebihi kecepatan pemulihan sumber daya alam mensupply bahan baku industri.

Setelah revolusi industri, lebih 60 % sumber daya alam di planet bumi mengalami deplesi yang sangat kritis. Ini artinya tidak lebih dari 200 tahun, manusia dan aktivitas industrinya telah menghabiskan cadangan sumber daya alam produksi

sistem alami yang proses pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun, yang juga menjadikan bumi menjadi planet rapuh dengan kualitas lingkungan yang memburuk. Karenanya "*sustainability*" dari industri yang berwawasan lingkungan menjadi suatu "*condition sine quo none*" bagi mempertahankan kehidupan manusia di planet bumi.

Hentschel.[1993] menggagas konsep "*ecomanufacturing*" berdasarkan pada sistem produksi yang berkelanjutan (*sustainable production system*) untuk menghasilkan sebuah produk. Produk industri hasil proses manufacturing tersebut didisain, diproduksi, didistribusi, dimanfaatkan dan kemudian dibuang sebagai sampah yang dapat meminimalkan dampak kerusakan terhadap lingkungan dan kesehatan serta dengan mengkonsumsi sumber daya alam seminimalnya mungkin (material dan energi). Dalam sistem manufacturing semacam ini akan diperoleh performance industri/ organisasi yang *eco-efficiency*, secara ekologis aman dan secara ekonomis efisien (Lihat DeSimone dan Popoff,1998 juga Ulhoi, 1996).

2.2.1 Pergeseran Paradigma

Dalam sejarah industri manufactur beberapa evolusi teknologi maupun proses manufacturing terjadi perubahan mendasar yang ditemui. Misalnya dari mulai industri manufactur senjata api pada abad XV hingga sekarang menurut Tipnis (1995) terjadi pergeseran yang nyata. Perubahan industri manufactur ditemukan dalam hal pengerahan mesin yang dipergunakan, variasi jumlah komponen, perbandingan karyawan dan manajer, juga dalam proses manufacturing yang berbasis kerajinan menjadi *mass production (interchangability: go/no go)*, dari sistem Taylor (*Motion Time Study*) menjadi Sistem dinamis (pengendalian proses statistik) dan CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) dan seterusnya. Paradigma ini juga menggeser ethos kerja, pengendalian proses, standart kerja, kompetensi,

perilaku organisasi dan sebagainya. Bilamana paradigma berubah terlihat bahwa banyak hal atribut industri manufactur juga berubah.

Masyarakat yang sadar lingkungan melahirkan paradigma yang baru, sehingga menuntut “*green product*”, “*clean production*” serta perancangan produk yang tidak merusak dan membahayakan lingkungan, baik pada saat produk itu di dibuat, dipergunakan maupun setelah menjadi sampah. Tipnis (1995) mengajukan gagasan “*lean production*” dan “*robust design*” menjadi dasar yang penting dalam merealisasikan paradigma ini. Kemudian untuk memasukkannya kedalam strategi korporasi, perusahaan atau industri manufactur harus menjalankan dan memperhatikan prinsip paradigma “E” berikut ini:

- a) *Ecology* : bertindak selayaknya dalam relasi ekologis
- b) *Environment* : melindungi lingkungan
- c) *Energy* : meminimumkan limbah dan mengembangkan sumber energi alternatif yang bersih
- d) *Economy* : konsumsi lebih sedikit *resources*, menghasilkan produk yang paling ekonomis
- e) *Empowering* : pemberdayaan karyawan untuk mendapatkan performance yang terbaik
- f) *Education* : majukan aspek pendidikan, jauhkan prasangka buruk dan ketidakpedulian
- g) *Excellence* : berikan yang terbaik untuk ekologi

Perkembangan mutakhir sistem produksi memberikan pondasi yang kuat bagi percepatan realisasi paradigma “E” sedemikian juga dengan kerangka kerjanya untuk bisa menunjang konsep “eco-manufacturing” menjadi sistem operasional. Beberapa

pemaparan berikut dibawah mengindikasikan bahwa konsep mutakhir tentang sistem manufaktur bisa menjadi dasar / pijakan untuk pengembangannya.

1) *Lean Production*

Kelompok pendekatan ini misalnya meliputi JIT / TQC, *Toyota Production System*. Sistem manufaktur ini menggunakan prinsip "lebih sedikit", dari "*economy of waste*", modal, waktu, tenaga kerja, manajemen, rantai produksi, persediaan dan prinsip "lebih cepat" untuk melakukan respons terhadap pasar, memperkenalkan dan menghasilkan produk yang lebih memuaskan customer.

Lean Production juga terbukti memberikan persiapan lebih baik dalam mengadopsi perubahan paradigma yang lebih maju misalnya pendekatan dinamis (SQC/SPC), NC, juga CIM/FMS dan juga Sistem *Concurrent Engineering* dibandingkan sistem produksi missal (Tj^pnis,1995). Untuk meminimiasi penggunaan material dan energi, sistem *Lean Production* ini karenanya sangat kondusif sebagai langkah awal untuk mendukung konsep "*ecomanufacturing*".

2) *Robust Design* Untuk Produk dan Process.

Membuat produk yang hanya sekedar memenuhi spesifikasi sebagaimana yang difokuskan dalam sistem manufaktur masal jelas tidak menjamin kualitas yang diharapkan dan secara langsung belum menjamin kepuasan konsumen. Karenanya orientasi pada produk yang sesuai dengan kebutuhan pasar menjadi ciri sistem ini.

Bilamana suatu produk rusak atau cacat sampai ditangan konsumen maka diartikan sebagai kerugian yang melebihi biaya produksi, karena citra buruk ini akan mengarahkan ke hilangan pangsa pasar yang akan menghancurkan prospektif masa depan investasi yang dilakukan.

Robust design memberikan kemungkinan metodologis yang sistimatis untuk meminumkan kerugian bagi pengguna produk manufaktur terhadap dampak

negatif yang merugikan dan dapat dijadikan titik tolak bagi pengembangan konsep "*eco-manufacturing*".

3) Quality Function Deployment

Konsep ini mendefinisikan kebutuhan konsumen dan *bench mark* dari pesaing dalam suatu fungsi-fungsi teknis yang spesifik maupun dalam mencapai target rancangan estetika disain. Karenanya sangat berguna untuk bisa menangkap dan memotret aspirasi atau preferensi masyarakat dalam aspek kelestarian lingkungan dan pencegahan pencemaran atau yang sering didefinisikan sebagai "Green Quality Deployment".

4) Konsep Perancangan Siklus Hidup

Pengembangan suatu produk dimulai dari suatu penilaian yang didapat dari analisis kebutuhan di pasar. Kemudian pemilihan solusi teknis untuk merealisasikan produk sesuai kebutuhan pasar didasarkan pada kebijakan perusahaan, sifat produk dan sistem manufaktur serta biayanya.

Selama ini aspek lingkungan belum diintegrasikan dalam proses ini, misalnya ongkos pemusnahan sampah dari produk industri dibebankan melalui pajak dan ditanggung oleh konsumen-nya. Dimasa depan azas "*polluter pays principle*" memaksa industry / pabrikan untuk melakukan internalisasi biaya eksternal yang berkaitan dengan pencemaran, kalau tidak industri akan bermasalah dengan citra-nya sebagai tidak akrab lingkungan. Karenanya perubahan disain diperlukan untuk memungkinkan produk yang dibuat ekonomis saat diproduksi, didistribusi, dipergunakan maupun saat di buang sebagai sampah. (Alting, 1995)

Konsep perancangan Siklus Hidup menambah dimensi baru yaitu dimensi lingkungan pada proses perancangannya. Konsep ini menurut Jovane (1995) merupakan perkembangan dari konsep "*concurrent engineering*" dan memperhatikan secara simultan mulai dari saat tahap konsepsi perancangan disain sampai tahap disain detail untuk keseluruhan tahapan siklus perancangan

(analisis kebutuhan, pengembangan, produksi, distribusi, utilisasi, pembuangan limbah atau daur ulang).

Keseluruhan problematik dalam satu siklus hidup sebaiknya dipertimbangkan dalam tahap konsepsi, karena ditahap tersebut perubahan bisa dilakukan dengan lebih ekonomis. Setiap tahapan selalu mempertimbangkan faktor lingkungan hidup, keselamatan dan kesehatan kerja, optimasi penggunaan sumber daya serta biaya keseluruhan siklus produk.

Dalam kaitannya dengan pencegahan pencemaran beberapa metodologis semestinya harus dikembangkan untuk bisa mengevaluasi dampak lingkungan dari setiap tahapan siklus produknya. Misalnya saja diperlukan prosedur untuk menetapkan standart spesifikasi lingkungan sebelum aktivitas dilakukaan, model untuk menilai dampak lingkungan, aliran material dan neraca input-outputnya, analisis resiko untuk mengatasi kebocoran dan kemungkinan terjadi kontaminasi dan sebagainya.

Dari studi di Denmark yang dilaporkan oleh Alting dan Jorgensen [1995] telah mengidentifikasi tiga persoalan utama dalam merealisasikan konsep "*life cycle design*" dalam implementasi di industri manufaktur yaitu :(i) Persoalan strategi daur hidup, ekonomisasi dan pengendaliannya (penilaian *life cycle cost*, konsep bisnis dan aktivitasnya); (ii) proses dan teknologi produksi perancangan produk yang diorientasikan pada aspek lingkungan dan sumber daya); (iii) teknologi yang berwawasan lingkungan berbasis kepada sumber daya (diperlukannya produksi bersih dan teknologi bersih).

5) Life Cycle Cost

Secara ekonomis sistem industri manufaktur yang berwawasan lingkungan juga harus layak sehingga akhir diharapkan memperoleh performance yang paripurna "*eco-efficiency*". Dalam konsep biaya termasuk didalamnya denda, biaya kerusakan lingkungan dan biaya *opportunity* diperhitungkan secara

komprehensif untuk keseluruhan daur hidup produk tersebut baik yang menjadi beban industry / pabrik, masyarakat maupun ekosistem.

Karena setiap produk berada dalam pasar yang kompetitif dan selalu memiliki positioning tersendiri dalam target kualitas dan harga untuk suatu periode waktu tertentu, karenanya keseluruhan biaya "life cycle cost" harus lebih kecil dari anggaran ditargetkan. Target biaya ini yang dikeluarkan harus lebih kecil dari target perolehan dari hasil penjualan dikurangi dengan keuntungan yang diinginkan.

Batas efisiensi kelayakan ekonomis mengarahkan kepada pilihan-pilihan serangkaian alternatif produk untuk suatu periode tertentu bervariasi. Aspirasi pasar dan target kualitas maupun tingkat pencapaian objektif perlestarian lingkungan yang dikehendaki bisa didefinisikan melalui QFD dan benchmark dari pesaingnya yang paling kompetitif. Dengan demikian perusahaan atau industri manufaktur ini dapat membuat positioning terhadap pesaing yang lain dalam pasar.

Beberapa studi evaluasi dan aplikasi konsep "life cycle cost" ini dalam industri manufaktur misalnya dilaporkan oleh Remich [1994] di Departemen Industrial and Manufacturing University of Rhode Island, juga du Züst dan Wagner [1994] di *Swiss Federal Institut of technology, Zurich*.

6) Eco-factory

Konsep ini bisa dipandang sebagai pijakan filosofis yang seide dengan pengembangan konsep "*eco-manufacturing*". Konsep eco-factory tidak lain sebagai implementasi konsep perancangan daur hidup dalam industri manufacturing dalam suatu struktur organisasi tertentu.

Struktur organisasi manufakturnya mendistribusikan pekerjaan antara sistem produksi sebagai penanggung jawab perancangan dan menciptakan produk yang akrab lingkungan dan aman, serta sistem restorasi yang bertanggung

jawab untuk melakukan proses *disassembly*, mendaur ulang, dan memanfaatkan kembali material limbah maupun bekas kedalam sistem produksi.

Bila konsep perancangan daur hidup dibuat dengan baik, maka perancang tentu saja akan dapat merancang rancangan produk baru dengan memanfaatkan pengetahuan mengenai dampak lingkungan pada setiap tahap keputusan disain.

2.3 Life Cycle Management

Life cycle management merupakan salah satu metode perancangan produk dengan memberikan pendekatan pada penilaian dampak lingkungan dan penilaian ekonomi daur hidup suatu produk dalam mempertimbangkan konsep dasar desain teknis produk. Ruang lingkup dari metode ini adalah seluruh tahap dari daur hidup suatu produk, mulai dari produk diproduksi, digunakan oleh konsumen, sampai dengan saat produk menjadi limbah dan dilakukannya daur ulang.

Penilaian dampak lingkungan ditentukan dari hasil *Life Cycle Assesment* (LCA), sedang untuk penilaian ekonomi yang ditimbulkan ditentukan melalui pendekatan *Life Cycle Costiing*. Batasan lingkup analisis sangat diperlukan, mengingat terbatasnya ketersediaan data yang diperlukan pada penelitian.

2.3.1 Life Cycle Assesment

Isu lingkungan dan pemanasan global merupakan hal yang sering dibicarakan dan didiskusikan dalam berbagai forum baik di tingkat nasional maupun internasional. Berbagai pendekatan dan pembuatan sistem yang ditujukan untuk mengurangi resiko pemanasan global maupun kerusakan alam sudah dihasilkan dan dilaksanakan oleh berbagai pihak yang memiliki perhatian serius pada permasalahan tersebut.

ISO 14000 merupakan standar pengelolaan lingkungan yang berlaku bagi perusahaan, industri, konsultan, pendidikan, pemasok jasa atau produk untuk meminimumkan dampak negatif dari kegiatan operasional terhadap lingkungan. Secara umum ISO 14000 merupakan seri enam standar berdasarkan enam isu lingkungan yang berbeda. Tiga standar berhubungan dengan evaluasi organisasi, yaitu ISO 14001 (Sistem Manajemen Lingkungan), ISO 14010-12 (Audit Lingkungan) dan ISO 14031 (Evaluasi Kinerja Lingkungan). Sedangkan tiga standar yang berkaitan dengan evaluasi produk adalah ISO 14020-24 (Label Lingkungan), ISO 14040-43 (Penentuan Siklus Hidup atau Life Cycle Assessment) dan Aspek Lingkungan dalam Standar Produk.

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metoda pengujian pengaruh penyediaan suatu bahan atau produk secara lengkap, mulai dari penyediaan bahan dasar, proses pengolahan, distribusi sampai dengan penjualan ke konsumen, terhadap lingkungan. Sedangkan LCA yang lengkap termasuk juga pengaruh terhadap kondisi sosial ekonomis. Teknik ini dilakukan dengan menggunakan kompilasi dan analisis data input dan output pada sistem produksi, evaluasi efek lingkungan potensial yang berkaitan erat dengan input dan output serta melakukan interpretasi dari hasil kompilasi dan analisis serta hasil penilaian efek-efek yang berhubungan dengan tujuan LCA ini.

Tahapan pelaksanaan LCA adalah sebagai berikut:

1) Penentuan tujuan dan cakupan kajian (Goal and Scope Definition)

Fase pertama dalam LCA adalah penyusunan definisi tujuan dan cakupan penerapan LCA. Dalam fase ini juga dilakukan penentuan unit fungsional. Misalnya menentukan produk susu dalam kemasan 1 liter yang siap dikonsumsi atau 1 kg daging sapi yang siap dikonsumsi. Penentuan cakupan sistem LCA misalnya sistem produksi tahu (mulai penyiapan bahan mentah, proses produksi,

distribusi dan sampai pasar), selanjutnya yang dibandingkan adalah skala industri tahu tersebut.

Tujuan LCA ini berbeda untuk setiap kelompok pengguna. Tujuan ini antara lain adalah perbandingan produk, proses, kemasan, kegiatan atau pemilihan tempat dan teknologi, perbaikan dan pengembangan produk, pengurangan dan pencegahan pencemaran, optimasi proses, penggunaan LCA sebagai piranti penyelesaian masalah. Ruang lingkup atau cakupan LCA harus ditetapkan saat awal kajian dan ranahnya bisa sangat spesifik dan global. Tujuan penggunaan LCA akan mempengaruhi lingkup dan isi kajian LCA. Scoping atau penentuan batas kajian, asumsi dan keterbatasan suatu LCA. Scoping akan menetapkan jenis kegiatan dan dampak yang dicakup serta alasan yang digunakan. Lebih lanjut penentuan batasan ini berhubungan dengan tujuan kajian, jenis data yang dihimpun dan wilayah dampak yang dinilai. Cakupan kajian harus ditetapkan sebelum kegiatan penilaian dimulai, untuk meyakinkan bahwa 1) luas dan kedalaman analisis sesuai dan memadai dengan tujuan, 2) semua batas, metodologi, klasifikasi data dan asumsi telah diterapkan secara menyeluruh dan jelas.

2) Analisis Inventarisasi (Inventory Analysis)

Analisis inventarisasi adalah identifikasi dan kuantifikasi input dari lingkungan pada sistem produk dan emisi serta limbah yang dibuang sistem ke lingkungan. Analisis ini berisi kesetimbangan materi dan energi secara detail pada sistem yang didefinisikan sebelumnya. Hasil dari analisis inventarisasi ini adalah tabel inventaris yang menunjukkan sumber daya yang digunakan dan emisi yang terkumpul untuk menyediakan satu unit fungsional.

SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) mengembangkan kerangka kerja teknis untuk fase kedua ini atau *Life Cycle Inventory* (LCI). Tahapan yang ada LCI ini adalah; a) pengambilan bahan baku,

b) pengolahan, formulasi, c) distribusi dan pengangkutan, d) penggunaan/penggunaan ulang/perawatan, e) daur ulang dan f) pengelolaan limbah. Setiap tahapan menerima masukan bahan baku dan energi serta mengeluarkan energi dan bergerak ke arah fase selanjutnya serta mengeluarkan limbah ke lingkungan.

3) Penilaian dampak (Impact Assessment)

Penilaian dampak ini dimulai dengan identifikasi banyaknya emisi yang dikeluarkan sistem ke lingkungan serta kontribusinya terhadap dampak lingkungan. Selanjutnya juga dikenal istilah “*stressor*” atau kondisi yang mengarah pada gangguan kesehatan manusia, kerusakan ekologis atau penyusutan sumber daya. Data inventarisasi dalam *Life Cycle Inventory* yang terdiri dari limbah yang dikeluarkan sistem ke lingkungan dianalisis dampaknya dalam fase ini, yang selanjutnya dikenal dengan istilah *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA). Analisis dampak ini dapat menghubungkan timbulnya suatu dampak berkaitan dengan penggunaan atau pembebanan terhadap lingkungan produk tertentu atau daur hidup produk.

Dalam LCA terdapat empat kelompok dampak yang relevan yaitu, a) Kesehatan ekologi, b) kesehatan manusia, c) penyusutan sumber daya dan d) kesejahteraan sosial (sosio-ekonomik).

4) Interpretasi (Interpretation)

Interpretasi adalah teknik yang sistematis untuk melakukan identifikasi, melakukan kualifikasi, pengecekan, serta mengevaluasi informasi dari hasil LCI dan LCIA pada sistem dan menjawab tujuan dan cakupan LCA yang telah ditetapkan. Interpretasi juga termasuk cara komunikasi untuk memberikan kredibilitas hasil analisis LCI dan LCIA dalam format yang komprehensif sehingga mempermudah untuk mengambil keputusan. Secara umum elemen dalam fase interpretasi adalah identifikasi isu lingkungan berdasarkan LCI dan

LCIA, evaluasi kelengkapan, sensitivitas dan cek konsistensi, kesimpulan yang berisi rekomendasi dan isu yang signifikan untuk diselesaikan. Semua hasil yang diperoleh dalam LCA ini hanya berlaku pada kondisi yang ditetapkan pada fase scoping.

5) Penulisan laporan, critical review dan penerapan LCA

Hasil penilaian LCA ini dapat digunakan untuk berbagai kepentingan, misalnya pengembangan dan perbaikan produk, optimasi dan perbaikan proses, maupun merencanakan kebijakan publik tentang lingkungan. Selanjutnya penerapan LCA ini diharapkan dapat memberikan keuntungan bagi industri dan lingkungan.

Salah satu contoh penerapan LCA dalam industri pangan misalnya apakah produksi daging di luar Eropa akan menggunakan energi dan memberikan emisi CO₂ lebih banyak dibandingkan dengan produksi dalam negeri mereka? Schlich (2011) memberikan gambaran tentang kondisi tersebut dengan membandingkan memproduksi daging sapi di Argentina kemudian diekspor ke Jerman serta produksi daging sapi di Jerman sendiri. Energi yang diperlukan untuk memproduksi 1 kg daging sapi siap jual di supermarket adalah 2,9 – 7,9 kWh/kg. Sedangkan energi untuk transport daging sapi produksi Jerman sebesar 1,4 – 2,0 kWh/kg sedangkan untuk transport global dari Argentina ke Jerman sebesar 1,8 kWh/kg. Untuk emisi CO₂ adalah sebagai berikut; daging sapi produksi Jerman mengeluarkan 1,4 – 2,2 kg CO₂/kg dan untuk daging sapi dari Argentina hanya mengeluarkan 0,8 – 1,0 kg CO₂/kg. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh jumlah daging yang diproduksi di dua lokasi tersebut. Biasanya semakin banyak produk pangan yang diproduksi maka sistem akan memberikan beban dan emisi lebih rendah kepada lingkungan.

Penelitian tentang LCA berkembang dengan pesat untuk memberikan rekomendasi dari permasalahan yang timbul dari setiap kegiatan. Hampir semua

di negara-negara industri berdiri pusat kajian dan penelitian tentang LCA. Jurnal-jurnal ilmiah telah dipublikasikan untuk kepentingan perkembangan ilmu pengetahuan.

Tabel 2.1 Menunjukkan beberapa karya ilmiah tentang LCA yang dipublikasikan baik dalam skala lokal, regional maupun internasional.

Judul	Penulis	Tahun	Nama Jurnal
<i>A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies</i>	Deborah N. Huntzinger, Thomas D. Eatmon	2009	<i>Journal of Cleaner Production</i>
<p>Pada jurnal di atas diuraikan bahwasannya dilakukan suatu komparasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan yang dilakukan, antara proses manufacturing semen secara tradisional (OPC) dan proses manufacturing semen dengan teknologi alternative, dengan pendekatan LCA.</p>			
<i>Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation</i>	C. Chen, G. Habert, Y. Bouzidi, A. Jullien	2010	<i>Journal of Cleaner Production</i>
<p>Jurnal diatas menguraikan bahwasannya dilakukan suatu penelitian pada beberapa tipe teknologi proses manufacturing semen. Penelitian difokuskan pada dampak lingkungan yang ditimbulkan dari masing-masing teknologi yang digunakan. Dengan mengkomparasikan antara teknologi lama dengan teknologi alternative, didapatkan suatu gambaran dari pendekatan penentuan dampak lingkungan dari masing-masing teknologi yang digunakan.</p>			
<i>Portland cement: an application of life cycle assessment</i>	Elbert Muller Nigri, Sonia Denise Ferreira Rocha, Eduardo Romeiro Filho	2010	<i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i>

<p>Jurnal di atas menguraikan dari penggunaan metode Life Cycle Assesment pada proses manufacturing semen. Didapati bahwasannya dari penggunaan metode tersebut memberikan suatu pendekatan baik secara kualitatif maupun kuantitatif dari dampak lingkungan akibat teknologi yang digunakan dari proses produksi semen.</p>			
<p><i>Life Cycle Assessment of Concrete Building</i></p>	<p>Lionel Lemay</p>	<p>2011</p>	<p><i>Journal of National Ready Mixed</i></p>
<p>Jurnal ini menguraikan dari penggunaan metode Life Cycle Assesment guna menentukan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pengerjaan suatu bangunan menggunakan bahan beton. Pada penelitian ini didapati bahwasannya dari penggunaan Life Cycle Assesment, dapat memberikan suatu pendekatan baik secara kualitatif maupun kuantitatif dalam melakukan suatu penilaian dampak lingkungan dari kegiatan yang dilakukan.</p>			
<p><i>Effect of binder content, pozzolanic admixtures and SiO₂ nanoparticles on thermal properties and capillary water absorption of high performance concrete</i></p>	<p>Mostafa Jalal, Ali Noorzad</p>	<p>2012</p>	<p><i>Journal of American Science</i></p>
<p>Jurnal diatas menguraikan bahwasannya dilakukan suatu penelitian yang melibatkan teknologi alternative proses manufacturing semen, salah satunya adalah dengan digunakannya material pozzolan berukuran nano sebagai bahan alternative pereduca clinker. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapati bahwasannya dari pengujian fisika kimia pada masing sampel beton yang mewakili berbagai macam pozzolan, dengan mengkomparasikannya dengan tipe semen teknologi tradisional, terdapat adanya suatu perbaikan yang sangat signifikan dari sifat thermal dan kekedapan pada beton normal, dibandingkan dengan OPC (teknologi tradisonal).</p>			
<p><i>Environmental Assests Management Method in Assessment of Infrastructure Provisions: Application to Light Rail Transit Development</i></p>	<p>Naoki Shibahara and Hirokazu Kato</p>	<p>2012</p>	<p><i>Journal of Life Cycle Assessment, Japan</i></p>

Jurnal di atas menguraikan bahwasannya dilakukan penggunaan metode Environmental Asset Management pada alat alat infrastruktur, dikaitkan dengan adanya suatu pembangunan Light transit. Dari dilakukannya metode ini, memberikan suatu langkah maju dalam hal manajemen dampak lingkungan.

2.3.2 Analisis Biaya (Life Cycle Costing)

Secara ekonomis sistem industri manufaktur yang berwawasan lingkungan juga harus layak sehingga akhir diharapkan memperoleh performance yang paripurna "*eco-efficiency*". Dalam konsep biaya termasuk didalamnya denda, biaya kerusakan lingkungan dan biaya *opportunity* diperhitungkan secara komprehensif untuk keseluruhan daur hidup produk tersebut baik yang menjadi beban industri / pabrik, masyarakat maupun ekosistem.

Karena setiap produk berada dalam pasar yang kompetitif dan selalu memiliki positioning tersendiri dalam target kualitas dan harga untuk suatu periode waktu tertentu, karenanya keseluruhan biaya "life cycle cost" harus lebih kecil dari anggaran ditargetkan. Target biaya ini yang dikeluarkan harus lebih kecil dari target perolehan dari hasil penjualan dikurangi dengan keuntungan yang diinginkan.

Batas efisiensi kelayakan ekonomis mengarahkan kepada pilihan-pilihan serangkaian alternatif produk untuk suatu periode tertentu bervariasi. Aspirasi pasar dan target kualitas maupun tingkat pencapaian objektif perlestarian lingkungan yang dikehendaki bisa didefinisikan melalui QFD dan benchmark dari pesaingnya yang paling kompetitif. Dengan demikian perusahaan atau industri manufaktur ini dapat membuat positioning terhadap pesaing yang lain dalam pasar.

A. Pengertian Biaya

Menurut Buffa dan K.Sarin (1996) biaya adalah variabel yang dapat memungkinkan harga lebih rendah namun tetap memungkinkan, sedangkan menurut prinsip akuntansi Indonesia (PAI) biaya atau cost adalah pengorbanan yang dilakukan untuk memperoleh barang atau jasa yang diukur dengan nilai uang, baik itu pengeluaran berupa uang, melalui tukar menukar ataupun melalui pemberian jasa.

Menurut Mulyadi (1993) dalam arti luas biaya adalah pengorbanan sumber ekonomi, yang diukur dalam satuan uang, yang telah terjadi atau yang kemungkinan akan terjadi untuk tujuan tertentu. Ada empat unsur pokok dalam definisi biaya tersebut yaitu biaya merupakan pengorbanan sumber ekonomi, diukur dalam satuan uang, yang telah terjadi atau yang secara potensial akan terjadi, dan pengorbanan tersebut untuk tujuan tertentu.

B. Klasifikasi Biaya

Pengelompokan biaya meliputi penentuan, akumulasi, peringkasan, pencatatan, dan penginterpretasian terhadap biaya-biaya yang terjadi, dan kemudian biaya-biaya tersebut diklasifikasikan, dalam perusahaan industry pengklasifikasian dari biaya terbagi atas dua bagian yaitu biaya-biaya produksi atau pabrik, dan biaya-biaya distribusi (Sembiring 1991).

Biaya-biaya pabrik meliputi, bahan baku langsung, tenaga kerja langsung, beban-beban biaya overhead pabrik yang terjadi secara langsung dalam memproduksi suatu jenis produk. Seluruh biaya-biaya lainnya dari sebuah perusahaan industri dapat meliputi biaya overhead pabrik atau biaya yang ada hubungannya dengan pendistribusian produk. Menurut Mulyadi (1993) dalam akuntansi biaya, biaya digolongkan dengan berbagai macam cara, umumnya penggolongan biaya ini ditentukan atas dasar tujuan yang hendak dicapai dengan penggolongan tersebut, karena dalam akuntansi biaya dikenal konsep *different cost for different purposes*, berdasarkan hal tersebut biaya digolongkan menurut; (1) objek pengeluaran, (2)

fungsi pokok dalam perusahaan, (3) hubungan biaya dengan sesuatu yang dibiayai, (4) perilaku biaya dalam hubungannya dengan perubahan volume kegiatan, dan (5) Jangka waktu manfaatnya.

Menurut Mulyadi (1993) dalam perusahaan manufaktur biaya dapat digolongkan menurut fungsi pokoknya yaitu fungsi produksi, fungsi pemasaran, serta fungsi administrasi dan umum. Oleh karena itu dalam perusahaan manufaktur, biaya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu:

a) Biaya Produksi.

Biaya produksi merupakan biaya yang terjadi untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi yang siap dijual. Menurut objek pengeluarannya, secara garis besar biaya produksi ini dibagi menjadi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik. Biaya bahan baku dan biaya tenaga kerja langsung disebut pula dengan istilah biaya utama (prime cost), sedangkan biaya tenaga kerja langsung dan biaya overhead pabrik sering pula disebut dengan istilah biaya konversi, yang merupakan biaya untuk mengkonversi (mengubah) bahan baku menjadi produk jadi.

b) Biaya Pemasaran.

Biaya pemasaran merupakan biaya-biaya yang terjadi untuk melaksanakan kegiatan pemasaran yang biasanya meliputi biaya iklan, biaya promosi, biaya angkutan dari perusahaan ke gudang pembeli, biaya gaji karyawan bagian-bagian yang melaksanakan kegiatan pemasaran, serta biaya contoh (sample).

c) Biaya Administrasi dan Umum.

Biaya administrasi dan umum merupakan biaya-biaya untuk mengkoordinasi kegiatan produksi dan pemasaran produk. Biaya administrasi ini biasanya meliputi biaya gaji karyawan bagian keuangan, akuntansi, personalia,

dan bagian hubungan masyarakat, biaya pemeriksaan akuntan, serta biaya fotocopy.

2.4 Pengertian Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku: batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Bila semen dicampurkan dengan air, maka terbentuklah beton. Beton nama asingnya, *concrete*-diambil dari gabungan prefiks bahasa Latin *con*, yang artinya bersama-sama, dan *crescere* (tumbuh), yang maksudnya kekuatan yang tumbuh karena adanya campuran zat tertentu.

Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: silika oksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃) dan magnesium oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

Dalam pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeras dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Abu vulkanis dan batu bata yang dihancurkan yang ditambahkan pada batu kapur yang dibakar sebagai agen pengikat untuk memperoleh suatu pengikat hidrolik yang selanjutnya disebut sebagai "*cementum*". Semen yang digunakan dalam konstruksi digolongkan kedalam semen hidrolik dan semen non-hidrolik.

Semen hidrolik adalah material yang menetap dan mengeras setelah dikombinasikan dengan air, sebagai hasil dari reaksi kimia dari pencampuran dengan

air, dan setelah pembekuan, mempertahankan kekuatan dan stabilitas bahkan dalam air. Pedoman yang dibutuhkan dalam hal ini adalah pembentukan hidrat pada reaksi dengan air segera mungkin. Kebanyakan konstruksi semen saat ini adalah semen hidrolik dan kebanyakan didasarkan pada semen Portland, yang dibuat dari batu kapur, mineral tanah liat tertentu, dan gypsum, pada proses dengan temperatur yang tinggi yang menghasilkan karbon dioksida dan berkombinasi secara kimia yang menghasilkan bahan utama menjadi senyawa baru. Semen non-hidrolik meliputi material seperti batu kapur dan gypsum yang harus tetap kering supaya bertambah kuat dan mempunyai komponen cair. Contohnya adukan semen kapur yang ditetapkan hanya dengan pengeringan, dan bertambah kuat secara lambat dengan menyerap karbon dioksida dari atmosfer untuk membentuk kembali kalsium karbonat.

Penguatan dan pengerasan semen hidrolik disebabkan adanya pembentukan air yang mengandung senyawa-senyawa, pembentukan sebagai hasil reaksi antara komponen semen dengan air. Reaksi dan hasil reaksi mengarah kepada hidrasi dan hidrat secara berturut-turut. Sebagai hasil dari reaksi awal dengan segera, suatu pengerasan dapat diamati pada awalnya dengan sangat kecil dan akan bertambah seiring berjalannya waktu. Setelah mencapai tahap tertentu, titik ini diarahkan pada permulaan tahap pengerasan. Penggabungan lebih lanjut disebut penguatan setelah mulai tahap pengerasan.

2.4.1 Jenis-jenis Semen

- 1) Semen Abu atau semen *Portland*, adalah bubuk/*bulk* berwarna abu kebiru-biruan, dibentuk dari bahan utama batu kapur/gamping berkadar kalsium tinggi yang diolah dalam tanur yang bersuhu dan bertekanan tinggi. Semen ini biasa digunakan sebagai perekat untuk memplester. Semen ini berdasarkan

prosentase kandungan penyusunannya terdiri dari 5 tipe, yaitu tipe I sampai tipe V.

- 2) Semen Putih (*white cement*), adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), seperti sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.
- 3) Oil Well Cement atau semen sumur minyak, adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai.
- 4) Mixed & Fly Ash Cement, adalah campuran semen abu dengan *Pozzolan* buatan (*fly ash*). *Pozzolan* buatan (*fly ash*) merupakan hasil sampingan dari pembakaran batubara yang mengandung *amorphous* silica, aluminium oksida, besi oksida dan oksida lainnya dalam variasi jumlah. Semen ini digunakan sebagai campuran untuk membuat beton, sehingga menjadi lebih keras.

2.4.2 Proses Pembuatan Semen

Secara garis besar tahap-tahap proses manufacturing semen diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap penambangan bahan baku (Mining and Quarrying Raw Material)

Pada tahap ini, terdiri dari proses ekstraksi empat macam raw material sebagai bahan baku, diantaranya:

- a. Batu kapur (Limestone)
- b. Tanah liat (Clay)
- c. Pasir silica (Silica sand)
- d. Pasir Besi (Iron ore)

2. Tahap Penghancuran Bahan Baku (Crushing Raw Material)

Merupakan tahap dimana bahan baku dalam bentuk bongkahan besar dihancurkan sampai dengan ukuran yang ditentukan.

3. Tahap Penggilingan Awal (Raw Grinding)

Merupakan tahap kelanjutan dari penghancuran bahan baku. Pada tahap ini keempat bahan baku dicampur sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan dan digiling sampai dengan kehalusan 90% lolos 100 mikron.

4. Tahap Homogenizing (Blending)

Pada tahap ini, produk hasil penggilingan rawmill masuk ke dalam silo, didalamnya material yang telah halus diblending sehingga menghasilkan produk yang homogen.

5. Tahap Pemanasan Awal (Preheating)

Merupakan kelanjutan dari tahap sebelumnya. Pada tahap ini material yang telah halus dan homogeny dipanaskan sampai dengan suhu 900°C secara bertahap, sehingga terjadi proses kalsinasi pada material.

6. Tahap Pembakaran (Burning)

Setelah melalui proses kalsinasi debu material dialirkan menuju kiln untuk dilakukan pembakaran sampai dengan suhu 1400°C secara bertahap. Terjadi perubahan fasa material awal, sehingga terbentuk suatu susunan mineral pembentuk clinker, yaitu : C3S, C2S, C3A dan C4AF.

7. Tahap Pendinginan (Colling)

Clinker yang telah terbentuk didinginkan secara mendadak, sehingga terbentuk suatu bongkahan material (granulasi).

8. Tahap Penggilingan akhir (Finish Grinding)

Pada tahap ini material clinker, gypsum, trass dan limestone dicampur dan dilakukan penghancuran sampai dengan kehalusan blaine 370 m²/kg. Proses ini mengkonsumsi sebagian besar energy listrik dari seluruh proses

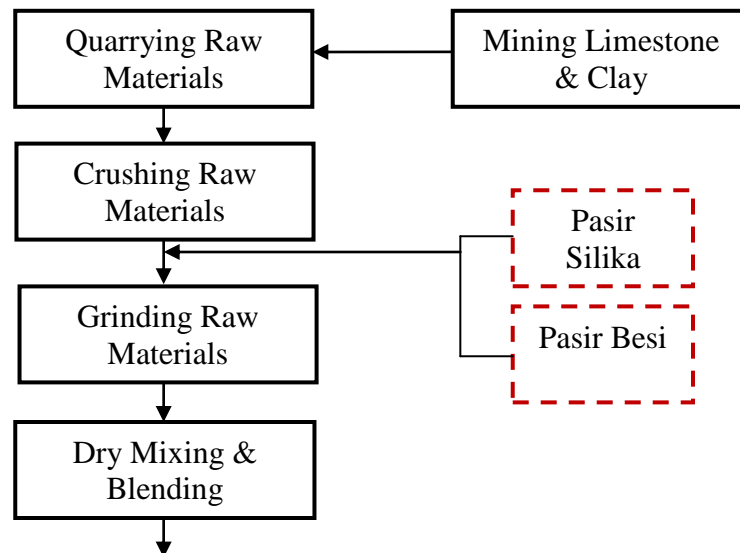
9. Tahap storage dan Homogenizing

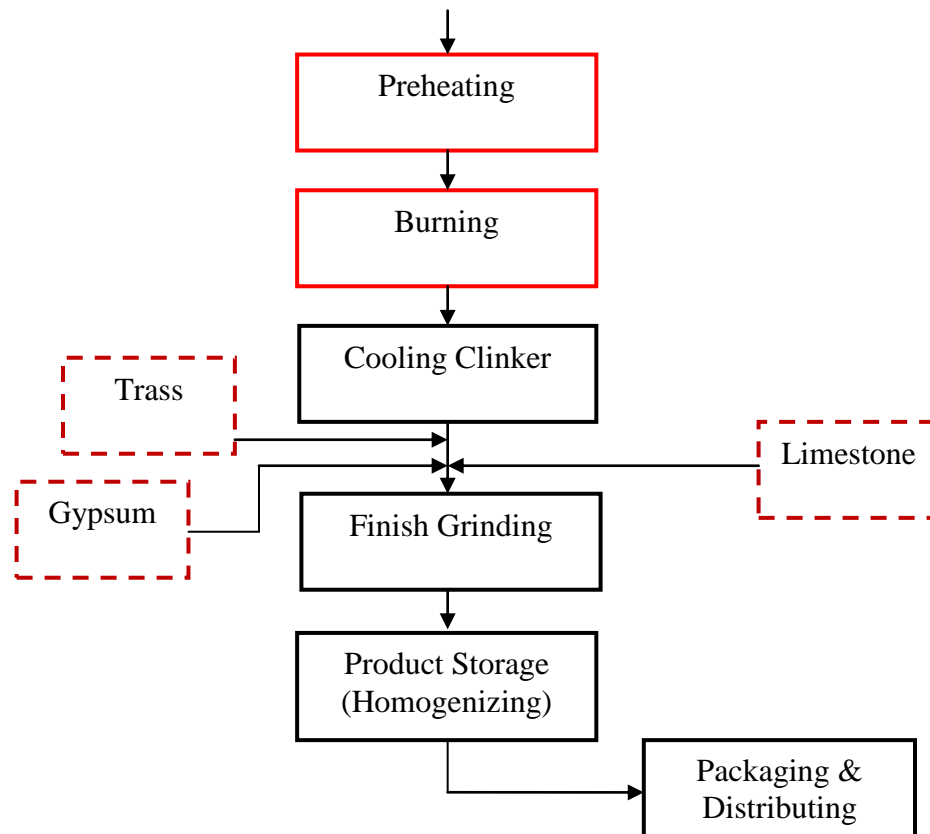
Semen yang telah dihasilkan dari proses raw grinding, disimpan disilo dan dilakukan pencampuran sampai dengan homogeny.

10. Tahap Packaging dan Distributing

Pada tahap ini semen dikemas dalam sak kertas atau dalam bentuk curah yang kemudian didistribusikan kepada konsumen

Gambar 2.2 merupakan skema yang menggambarkan proses manufacturing semen, dari awal penambangn bahan baku sampai dengan semen didistribusikan ke tangan konsumen:





Gambar 2.2 Skema Proses manufacturing semen

2.4.3 Dampak Industri Semen terhadap Lingkungan

Berdasarkan bahan baku dan bahan bakar yang digunakan serta proses produksi, industri semen menyebabkan dampak lingkungan sebagai berikut :

1) Lahan

Penurunan kualitas kesuburan tanah akibat penambangan tanah liat. Perubahan tata-guna tanah akibat kegiatan penambangan dan penyerapan lahan serta pembangunan fasilitas lainnya, menyebabkan penurunan kapasitas air tanah yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kuantitas air sungai di sekitarnya. Hal ini akan menyebabkan keimbangan lingkungan setempat.

2) Air

Kualitas air menurun akibat limbah cair dari pabrik dalam bentuk minyak dan sisa air dari kegiatan penambangan. Menimbulkan lahan kritis yang mudah terkena erosi dan pendangkalan dasar sungai, yang pada akhirnya akan menimbulkan banjir pada musim hujan.

Kuantitas air atau debit air menjadi berkurang karena hilangnya vegetasi pada suatu lahan akan mengakibatkan penyerapan air hujan oleh tanah di tempat itu berkurang, sehingga persediaan air tanah menipis. Sungai menjadi kering pada musim kemarau dan banjir pada musim hujan karena tanah tidak mampu lagi menyerap air.

3) Udara

Debu yang dihasilkan pada waktu pengadaan bahan baku dan selama proses pembakaran dan debu yang dihasilkan selama pengangkutan bahan baku ke pabrik dan bahan jadi ke luar pabrik, termasuk pengantongannya. Debu yang secara visual terlihat di kawasan pabrik dalam bentuk kabut dan kepulan debu menimbulkan pencemaran udara serius. Suhu udara di sekitar pabrik naik. Gas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar minyak bumi dan batu bara, berupa gas CO, CO₂, SO₂, NO₃ dan gas lainnya yang mengandung hidrokarbon dan belerang.

2.4.4 Penemuan Semen Terbaru berbasis lingkungan

1) Ecocement

Jepang telah berhasil mengubah sampah menjadi produk semen yang kemudian dinamakan ekosemen. Kata ekosemen sendiri diambil dari penggabungan kata “ekologi” dan “semen”. Diawali penelitian di tahun 1992, para peneliti Jepang (yang tergabung dalam NEDO) telah meneliti kemungkinan abu hasil pembakaran

sampah dan endapan air kotor sebagai bahan semen. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa abu hasil pembakaran sampah mengandung unsur yang sama dengan bahan dasar semen pada umumnya. Pada tahun 2001, pabrik pertama di dunia yang mengubah sampah menjadi semen resmi beroperasi di Chiba.

Di Jepang, sampah terbagi menjadi tiga macam, salah satunya adalah sampah terbakar (terdiri atas sampah organik, kertas, dll) dan sampah tidak terbakar (plastik, dll). Setiap tahunnya, penduduk Jepang membuang sekitar 37 juta ton untuk sampah terbakar. Kemudian sampah tersebut dibakar (diinsenerasi) dan menghasilkan abu (inceneration ash) mencapai 6 ton/tahunnya. Dari abu inilah kemudian dijadikan sebagai bahan dari pembuatan ekosemen. Abu ini dan endapan air kotor mengandung senyawa-senyawa dalam pembentukan semen biasa yaitu senyawa-senyawa oksida seperti CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Oleh karena itu, abu insenerasi ini dapat berfungsi sebagai pengganti clay (tanah liat) yang digunakan dalam pembentukan semen biasa.

Dengan adanya perubahan sampah menjadi semen, menambah alternatif pengolahan sampah yang lebih bernilai ekonomis, dan biaya pengolahan sampah di Jepang menjadi lebih murah. Selain itu, teknologi ekosemen juga ramah lingkungan. Pada pembuatan ekosemen, sebagian CaO diperoleh dari abu insenerasi sehingga mengurangi penggunaan batu kapur yang selama ini menjadi polusi gas CO_2 .

2) Semen Pozzolan (Portland Pozzoland Cement)

Jenis semen alternatif yang harganya relatif murah dan teknologi proses pembuatannya sederhana adalah *semen pozolan*. Semen ini dibuat dari campuran bahan pozolan dengan tidak melalui proses pemanasan. Bahan pozolan berasal dari batuan produk gunung api dan biasanya batuan tersebut telah mengalami pelapukan baik pelapukan fisik maupun kimia. Pozzolan merupakan bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif (

Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, PUBI-1982). Penggunaan Pozzolan dalam mortar maupun beton bertujuan agar kapur bebas ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang tersisa dari reaksi antara air dan semen, dapat bereaksi dengan unsur yang terkandung dalam Pozzolan dan akan membentuk gel yang mempunyai sifat seperti semen.

Berdasarkan definisi SNI 15-0302-2004

“suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen Portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan”.

Tipe PPC dari terbagi menjadi empat yaitu:

1. Jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
2. Jenis IP-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis P-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis P-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Berdasarkan definisi di atas maka yang membedakan PPC dengan semen biasa (I s.d V) adalah banyaknya bahan pozzolan yang ditambahkan pada proses akhir

(finish mill). Dengan penambahan bahan pozzolan akan mengakibatkan meningkatnya kualitas struktur beton, diantaranya:

1. Meminimalisir porositas pada beton, dengan adanya reaksi pozzolan dan Ca(OH)_2 , dimana akan menghasilkan CSH atau CAH yang akan mengisi pori penyebab porositas.
2. Curing time (umur 90 hari) laju reaksi pozzolanic (pengikatan Ca) meningkat sehingga jumlah Ca(OH)_2 yang akan berinteraksi dengan CO_2 berkurang karenanya karbonasi terhambat.
3. Menurunkan alkalinitas beton yang merupakan penyebab terjadinya korosi pada besi beton.

Kriteria ini akan meningkatkan ketahanan (Durability) concrete (beton) terhadap oksidasi akibat lingkungan yang bersifat asam (utamanya daerah rawa).

3) Geopolimer Semen

Merujuk pada besarnya sumbangan industri semen terhadap total emisi karbon dioksida, perlu segera dicarikan upaya untuk bisa menekan angka produksi gas yang mencemari lingkungan ini. Tampaknya perbaikan teknologi produksi semen tidak terlalu bisa diharapkan dapat menekan produksi karbon dioksida secara signifikan. Penggantian sejumlah bagian semen dalam proses pembuatan beton, atau secara total menggantinya dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan menjadi pilihan yang lebih menjanjikan.

Pakar teknologi beton yang bermukim di Kanada, VM Malhotra, memelopori riset penggunaan abu terbang (fly ash) dalam proporsi cukup besar (hingga 60-65 persen dari total semen Portland yang dibutuhkan) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan beton. Sebelumnya banyak peneliti menggunakannya hanya dalam proporsi kecil.

Abu terbang adalah abu sisa pembakaran batu bara yang dipakai dalam banyak industri. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Adanya kalsium hidroksida dalam beton selama ini ditengarai sebagai sumber perusak beton sebelum waktunya, khususnya bila beton berada di lingkungan yang agresif. Karenanya, penambahan atau penggantian sejumlah semen dengan abu terbang berpotensi menambah keawetan beton tersebut.

Selama ini abu terbang tidak dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, sehingga memiliki potensi mencemari lingkungan. Upaya yang dipelopori Malhotra dan kawan-kawan ini tampaknya memberikan hasil menjanjikan. Beton yang dihasilkan ternyata menunjukkan tenaga tekan tinggi serta memiliki sifat keawetan (durability) lebih baik dibanding beton biasa yang sepenuhnya menggunakan semen Portland. Upaya ini dikembangkan lebih lanjut dengan pemanfaatan bahan-bahan sisa lainnya yang mempunyai kandungan oksida silika tinggi seperti silica fume, slag atau bahkan abu sekam dan jerami.

Dari konferensi Concrete 2001 yang diselenggarakan di Perth, Australia, belum lama ini, dilaporkan penggunaan HVFA (high volume fly ash) concrete atau beton dengan kandungan abu terbang tinggi pada sejumlah proyek infrastruktur, demikian pula penggunaan bahan buangan lain seperti slag. Beton tersebut dilaporkan menunjukkan hasil memuaskan di lapangan. Dalam waktu singkat di masa mendatang, penggunaan beton jenis ini diperkirakan akan meningkat dengan cepat. Selain lebih ramah lingkungan, mengurangi jumlah energi yang diperlukan karena berkurangnya pemakaian semen, lebih awet dan lebih murah, bahan ini juga tetap menunjukkan perilaku mekanik memuaskan.

Perkembangan mutakhir yang menjanjikan adalah penggunaan abu terbang sepenuhnya sebagai pengganti semen lewat proses yang disebut polimerisasi

anorganik (kadang disebut geopolimer) yang dipelopori oleh seorang ilmuwan Prancis, Prof. Joseph Davidovits, sekitar 20 tahun lalu.

Geopolimer semen, demikian nama yang diberikan, menjadi harapan utama mereduksi penggunaan semen untuk keperluan pembangunan infrastruktur. Setidaknya untuk pembuatan beton pracetak. Walaupun tahapan yang harus dilalui untuk memasalkan penggunaan teknologi ini masih jauh, setidaknya hasil riset yang ada selama ini menunjukkan hasil menjanjikan. Saat ini, riset beton geopolimer giat dilakukan di sejumlah lembaga riset atau universitas khususnya di Prancis, Amerika Serikat dan Australia.

Tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Cina (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton) dan India (40 miliar ton). Produksi abu ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Cina sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu di tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton.

Tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Abu terbang ini sendiri, kalau tidak dimanfaatkan juga bisa menjadi ancaman bagi lingkungan. Karenanya dapat dikatakan, pemanfaatan abu terbang akan mendatangkan efek ganda pada tindak penyelamatan lingkungan, yaitu penggunaan abu terbang akan memangkas dampak negatif kalau bahan sisa ini dibuang begitu saja dan sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland dalam pembuatan beton.

Mengingat terbatasnya bahan baku dan kondisi lingkungan hidup yang makin merosot, maka diperlukan inovasi untuk menghasilkan material konstruksi yang

murah, hemat energi dalam proses produksinya, memiliki sifat keawetan yang tinggi serta sedikit menghasilkan karbon dioksida atau bahan-bahan berbahaya lainnya.

Pembuatan semen geopolimer dapat mereduksi hingga 80 persen jumlah karbon dioksida yang dihasilkan dari proses pembuatan semen biasa (semen Portland). Bahkan para peneliti dari Universitas Melbourne, Australia, di bawah pimpinan Prof. J Van Deventer mengemukakan hasil riset mereka bahwa beton geopolimer dapat dimanfaatkan untuk memasung („*immobilise*“) bahan-bahan berbahaya yang mengandung radioaktif maupun bahan-bahan beracun lain, seperti tailing. Dalam laporan penelitian disebutkan hampir semua bahan buangan industri yang mengandung unsur-unsur silika dan alumina bisa dibuat menjadi semen geopolimer.

Kenyataan bahwa semen geopolimer dapat diproduksi dari bahan-bahan buangan atau limbah industri, mengurangi emisi karbon dioksida secara amat signifikan, memiliki sifat keawetan unggul dan mampu memasung bahan-bahan beracun, mengukuhkannya sebagai material konstruksi masa depan.

Saat ini belum semua sifat fisik dan mekaniknya dipahami dengan baik. Sehingga para peneliti berupaya mengenali perilakunya lewat sejumlah riset yang dilakukan. Bila perilaku fisik dan mekaniknya telah dikenali dengan baik, produk-produk aplikasinya di bidang infrastuktur dapat diwujudkan dengan mudah.