
ANALISIS *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) “GATE TO GRAVE” PROSES PRODUKSI SEMEN

Nosa Syifa Yurinda dan Aulia Ulfah Farahdiba

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: auliaulfah.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Proses produksi semen Pabrik Semen Tuban hingga digunakannya produk semen melewati beberapa proses, yaitu *quarry* (pertambangan), *raw mill*, *pre heater*, *kiln & cooler*, *finish mill*, *packaging*, dan *distribution* (*land transportation* dan *shipping*). Berdasarkan kegiatan yang dilakukan pada produksi semen tersebut, dapat menghasilkan dampak terhadap lingkungan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terkait proses dan akhir dari produk tersebut menggunakan analisa *Life Cycle Assessment* (LCA). Cakupan pada analisis ini menggunakan pendekatan *gate to grave* dengan *software* SimaPro. *Impact category* terbesar dari hasil analisis ini, yaitu *respiratory inorganics*, *climate change* dan *fossil fuels*. Alternatif pengelolaan dampak lingkungan sebagai program perbaikan yang dapat dilakukan adalah optimalisasi *maintanance* penggunaan *bag filter*, mengurangi penggunaan batubara sebagai bahan bakar dan mengganti dengan *refuse derived fuel* (RDF) dan menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar truk distribusi.

Kata kunci: *Life Cycle Assessment* (LCA), *gate to grave*, SimaPro

ABSTRACT

The cement production process of the Tuban Cement Plant until the use of cement products goes through several processes, namely quarry (mining), raw mill, pre heater, kiln & cooler, finish mill, packaging, and distribution (land transportation and shipping). Based on the activities carried out in cement manufacturing, it could have an impact on the environment. Therefore, it is necessary to conduct research related to the process and end of the product using Life Cycle Assessment (LCA) analysis. The scope of this analysis uses a gate to grave approach with SimaPro software. The largest impact categories from the results of this analysis are inorganic respiration, climate change and fossil fuel. Alternative environmental management as an improvement program that can be carried out are optimizing the use of bag filter maintenance, reducing the use of coal as fuel and replacing it with derivative fuels (RDF) and using biodiesel as fuel for distribution trucks.

Keywords: *Life Cycle Assessment* (LCA), *gate to grave*, SimaPro

PENDAHULUAN

Peranan penting dalam pembangunan nasional ialah perkembangan teknologi infrastruktur, salah satunya pada industri semen. Salah satu negara di ASEAN dengan konsumsi dan produsen semen terbesar, yaitu Indonesia (Devia dkk., 2017). Pada data Asosiasi Semen Indonesia (2021) tahun 2018, konsumsi semen domestik tahun 2018 sebesar 30 juta ton. Menurut data, kontribusi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang terbesar pada sektor industri semen, yaitu sebesar 27,97% (Kementerian Perindustrian, 2012). GRK merupakan beberapa gabungan gas yang membentuk lapisan sehingga menahan panas matahari yang masuk ke bumi. Karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen dioksida (N₂O), *perfluorocarbon* (PFCS), hidrofluorokarbon (HFCS), sulfurheksafluorida (SF₆) dan uap air (H₂O) merupakan gas yang berkontribusi dalam GRK.

Pabrik Semen Tuban merupakan salah satu pabrik produksi semen yang berlokasi di Tuban. Produk semen yang diproduksi mencapai ± 1.000.000 ton/tahun. Proses produksi semen Pabrik Semen Tuban hingga digunakannya semen melewati beberapa proses, yaitu *quarry* (pertambangan), *raw mill*, *pre heater*, *kiln & cooler*, *finish mill*, *packaging*, dan *distribution*.

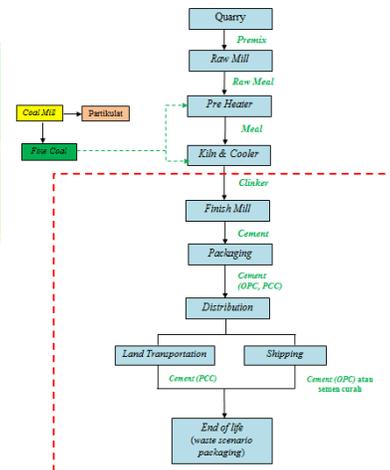
Produksi semen berasal dari campuran batu kapur, tanah liat dan pasir, serta membutuhkan empat bahan utama lainnya, yaitu kapur, silika, alumina dan besi. Bahan-bahan produksi semen tersebut dicampur menggunakan mesin pemanas. Lalu, bahan-bahan yang telah meleleh dan melalui proses reaksi kimia menghasilkan butiran yang disebut klinker. Kumpulan klinker yang telah didinginkan akan ditambahkan bahan tambahan, seperti gipsum dan bahan mineral lainnya. Klinker dan bahan tambahan yang telah dicampur, digiling hingga menjadi bubuk semen yang halus (García-Gusano et al., 2015). Silo semen merupakan tempat untuk menyimpan produk semen yang telah terhomogenisasi dan setelah itu, semen di *packing* dalam kantong semen (Gaharwar et al., 2016). Semen didistribusikan dalam bentuk kantong maupun dalam bentuk curah, melalui transportasi darat maupun laut. Adapun pada batasan sistem yang digunakan pada *product*

category rules (PCR), *end of life* termasuk pada batasan *Grave* yang merupakan tahap akhir dari siklus produk yang berupa tahap pembuangan atau pemanfaatan kembali suatu produk sebagai fungsi utamanya telah habis terpakai (Asosiasi Semen Indonesia, 2021).

Metode dengan cara mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan berdasarkan proses produksi yang menghasilkan emisi dan dampak emisi dalam interval waktu tertentu disebut metode *Life Cycle Assessment* (LCA) (OBorn, 2012).

METODE PENELITIAN

Lingkup penelitian ini pada proses produksi semen Pabrik Semen Tuban, yaitu *finish mill*, *packaging*, *distribution* (*land transportation* dan *shipping*) dan *end of life* (*waste packaging*). Dengan cakupan analisis yang digunakan adalah “*gate to grave*”.



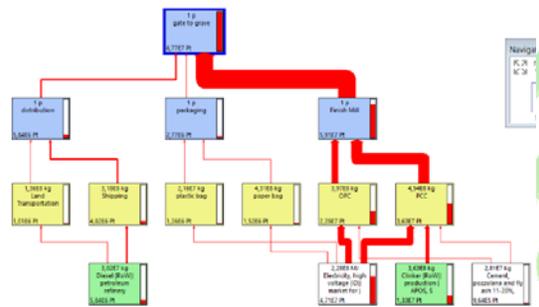
Gambar -1: scope yang dianalisis pada Pabrik Semen Tuban

Pengambilan data dilakukan pada produksi semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Composite Cement* (PCC). Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari pabrik semen, yaitu data kebutuhan bahan baku, bahan campuran, bahan bakar, energi, produk dan produk samping (limbah) yang dihasilkan dari proses produksi semen Pabrik Semen Tuban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

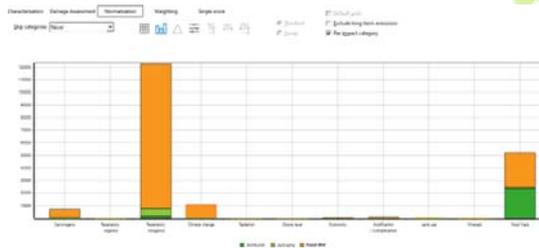
Pengolahan data untuk menganalisis dampak lingkungan menggunakan software SimaPro 9.0.0.47. Pada pengaplikasiannya dilakukan beberapa tahapan, yaitu menentukan *goal and scope*, , LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*), dan *data interpretation*.

Pada tahap LCI dilakukan input data berupa data bahan baku dan energi saat kegiatan produksi maupun pasca produksi dan emisi atau limbah yang dikeluarkan serta produk yang dihasilkan. Selanjutnya, LCIA merupakan tahapan penentuan dampak lingkungan dengan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap *characterization*, *normalization*, *weighting* dan *single score*.



Gambar -2: Network Result Characterization

Characterization merupakan tahapan proses pemilihan kategori dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat proses produksi. Perhitungan pada tahap ini disesuaikan dengan data inventori yang diinputkan.



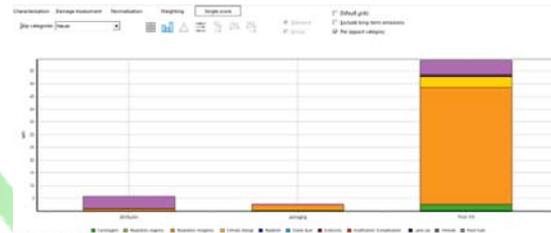
Gambar -3: Normalization

Normalization, yaitu tahapan menjadikan satuan unit yang digunakan untuk semua dampak lingkungan sama, yaitu dengan mengalikan hasil karakterisasi dengan faktor normalisasi. Sehingga dapat mengetahui tiga dampak lingkungan terbesar yang ditimbulkan.

Impact category	Unit	Total	distribution	packaging	Finish Mill
Total	Pt	6,77E7	5,84E6	2,77E6	5,91E7
Carcinogens	Pt	2,81E6	7,73E4	1,41E5	2,99E6
Respiratory organics	Pt	5,79E3	1,90E3	101	3,73E3
Respiratory inorganics	Pt	4,91E7	7,26E5	2,33E6	4,68E7
Climate change	Pt	4,34E6	1,43E5	4,95E4	4,15E6
Radiation	Pt	1,27E4	6,91E3	299	5,5E3
Ozone layer	Pt	1,57E3	977	15,5	578
Ecotoxicity	Pt	2,96E5	2,29E4	1,34E4	2,6E5
Acidification/ Eutrophication	Pt	3,87E5	2,81E4	7,65E3	3,51E5
Land use	Pt	2,35E5	6,46E4	7,03E4	9,97E4
Minerals	Pt	3,78E4	2,77E3	1,02E3	3,4E4
Fossil fuels	Pt	1,05E7	4,76E6	1,61E5	5,58E6

Gambar -4: Weighting

Weighting merupakan tahapan pengkalian hasil dari *impact category indicator* pada normalisasi dengan *weighting factor* (faktor pembobotan). Akumulasi dari hasil perkalian akan berupa *total score*.



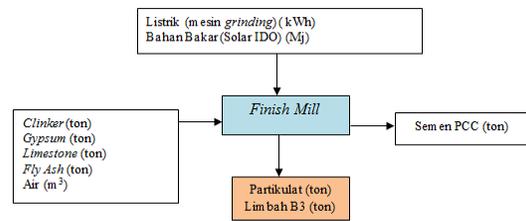
Gambar -5: Single score

Setelah dilakukan *weighting*, tahap selanjutnya, yaitu mengonversikan semua dampak yang berpotensi pada lingkungan ke *single score* atau nilai tunggal. *Single score* dari nilai *impact category* diklasifikasikan berdasarkan pada setiap proses produksi. Hasil analisis *single score* akan memperlihatkan proses produksi yang berkontribusi besar terhadap dampak lingkungan.

Penelitian ini menggunakan data input dan *output* yang diperoleh dari Pabrik Semen Tuban.

Finish Mill

Finish mill merupakan rangkaian akhir pada proses produksi semen. Proses ini dilakukan setelah klinker telah dingin yang selanjutnya, akan digiling menggunakan mesin *grinding* pabrik semen dan mencampurkan dengan sedikit gipsium dan batu kapur. Semen yang sudah jadi memiliki tekstur yang sangat halus dan selanjutnya akan ditampung pada *cement silo*. Diagram alir dan data inventori *finish mill* dapat dilihat pada Gambar -6 dan Gambar -7.

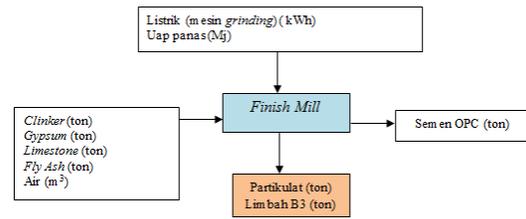


Keterangan :

= Proses

= Emisi atau limbah sampingan

Gambar -6: Diagram alir input dan output proses *finish mill* semen PCC



Keterangan :

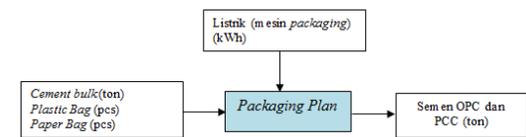
= Proses

= Emisi atau limbah sampingan

Gambar -7: Diagram alir input dan output proses *finish mill* semen OPC

Packaging

Packaging merupakan tempat pengemasan semen yang sudah ditampung pada semen silo. Pada proses *packaging* dibagi menjadi beberapa macam, yaitu untuk semen PCC (*portland composite cement*) menggunakan *paper bag* dan *plastic bag*. Persentase penggunaan *plastic bag* bisa dikatakan hanya 5% dari penggunaan *paper bag*. Selain itu, semen curah atau OPC langsung dimasukkan ke *cement bulk truck*. Diagram alir dan data inventori *packaging* dapat dilihat pada Gambar -8.



Keterangan :

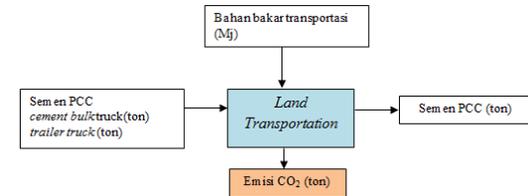
= Proses

Gambar -8: Diagram alir input dan output proses *packaging*

Distribution

Sistem distribusi semen dapat melalui dua jalur, yaitu jalur darat dan laut. Pengiriman semen curah pada tempat pengemasan

dilakukan menggunakan jalur laut (Yunirman, 2010). Distribusi produk semen Pabrik Semen Tuban menggunakan jalur darat pada wilayah antar Jawa dan jalur laut untuk luar pulau. Pada jalur darat menggunakan truk *trailer* berkapasitas 30 ton dan *cement bulk* berkapasitas 28 ton. Diagram alir dan data inventori *distribution* dapat dilihat pada Gambar -9 dan Gambar -10.

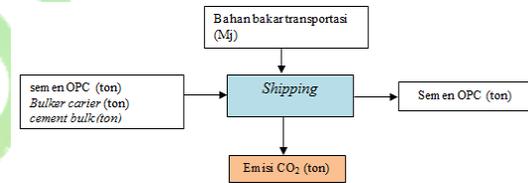


Keterangan :

= Proses

= Emisi atau limbah sampingan

Gambar -9: Diagram alir input dan output proses *distribution (land transportation)*



Keterangan :

= Proses

= Emisi atau limbah sampingan

Gambar -10: Diagram alir input dan output proses *distribution (shipping)*

Alternatif skenario sebagai upaya perbaikan didapatkan melalui hasil dari interpretasi data analisis dampak dari sebuah proses. Kategori dampak yang diteliti pada Pabrik Semen Tuban dikategorikan menjadi 11 kategori dampak lingkungan.

Penyebab dan kontributor penyumbang dampak lingkungan dapat diketahui setelah mengetahui hasil LCIA. Menurut Hasil LCIA, dampak terbesar dari proses produksi Pabrik Semen Tuban adalah *respiratory inorganics*, *climate change* dan *fossil fuels*. Sedangkan proses dengan dampak terbesar terletak pada proses *finish mill* dan *distribution*. Selanjutnya, dilakukan pemberian rekomendasi program perbaikan dari dampak lingkungan yang ditimbulkan agar kualitas lingkungan Pabrik Semen Tuban meningkat. Usulan alternatif program perbaikan antara lain :

a. Optimalisasi Maintenance Penggunaan Bag Filter

Emisi udara yang ditimbulkan dari proses pembuatan *clinker* sebelum masuk pada *finish mill* adalah partikulat, CO₂ dan SO₂. *Bag filter* memiliki peran penting dalam sistem pengoleksi debu (*dust collection system*) di sebuah pabrik. Penggunaan *bag filter* efisiensi pengumpulannya tinggi. *bag filter* diletakkan pada unit yang membutuhkan. Perawatan *bag filter* wajib dilakukan berkala dikarenakan kain yang digunakan mudah rusak dan lembab. Maka dari itu, diperlukan penggantian secara berkala agar *bag filter* tetap dapat beroperasi. Rata-rata efisiensi *bag filter* menyisihkan partikel 0-10 µm menurut EPA adalah 99-99,5%. Adanya perawatan secara berkala diharapkan dapat mengurangi dampak *respiratory inorganic*.

b. Mengurangi Penggunaan Batubara Sebagai Bahan Bakar dan Mengganti dengan Refuse Derived Fuel (RDF)

Pada proses produksi Pabrik Semen Tuban menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk pemanasan pada proses pembuatan *clinker*. Untuk mengurangi penggunaan batubara ini salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan, yaitu RDF (*Refuse Derived Fuel*). RDF merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari proses pemilahan limbah padat sampah yang dapat dimanfaatkan industri pembangkit listrik dan industri semen sebagai bahan bakar sekunder. Dalam penggunaannya, RDF mampu mensubstitusi 3% batubara sebagai bahan bakar pembakaran proses pembuatan *clinker* (Nugraha et al., 2018). Adanya penggunaan RDF sebagai bahan bakar alternatif diharapkan dapat mengurangi dampak *climate change*.

c. Menggunakan Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Truk Distribusi

Alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi bahan bakar yang berlebih pada kegiatan distribusi produk semen ialah mengganti pemakaian solar diesel pada proses distribusi menjadi menggunakan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif, terutama untuk mesin diesel. Penggunaan biodiesel lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan solar. Pengaplikasian biodiesel dapat dilakukan dalam bentuk 100% (B100) atau mencampurkan solar

dengan biodiesel pada tingkat konsentrasi tertentu, seperti B20 dan B30 (Permen ESDM, 2015). Jangkauan penggunaan B100, yaitu 1 liter untuk 13,1 km. Adanya pengurangan dan penggantian bahan bakar diesel diharapkan dapat mengurangi dampak *fossil fuels*.

KESIMPULAN

1. Dampak lingkungan terbesar yang ditimbulkan pada proses produksi semen Pabrik Semen Tuban, yaitu *respiratory inorganics*, *climate change*, dan *fossil fuels*.
2. Dampak *respiratory inorganics* berasal dari proses *finish mill*. Penyebab adanya dampak *climate change* berasal dari pembakaran pada pembuatan *clinker*. Sedangkan dampak *fossil fuels* terjadi karena adanya penggunaan batubara pada proses pembakaran *clinker* dan bahan bakar solar diesel pada proses distribusi (*shipping*) produk semen.
3. Alternatif pengelolaan dampak lingkungan sebagai program perbaikan yang dapat dilakukan pada Pabrik Semen Tuban adalah optimalisasi *maintanance* penggunaan *bag filter*, mengurangi penggunaan batubara sebagai bahan bakar dan mengganti dengan *refuse derived fuel* (RDF) dan menggunakan Biodiesel sebagai bahan bakar truk distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Semen Indonesia. (2021). Product Category Rule (PCR) Produk Semen.
- Devia, D., Lestari, P., & Sembiring, E. (2017). Life Cycle Assessment (Lca) Produk Semen Portland Komposit (Studi Kasus: Pt X). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(2), 1-10.
- Gaharwar, A. S., Gaurav, N., Singh, A. P., Gariya, H. S., & Bhoora. (2016). A Review Article on Manufacturing Process of Cement, Environmental Attributes, Topography and Climatological Data Station: IMD, Sidhi M.P. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4(4), 47-53.
- García-Gusano, D., Herrera, I., Gerraín, D., Lechón, Y., & Cabal, H. (2015). Life cycle assessment of the Spanish cement industry: Implementation of environmental-friendly solutions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17, 59-73.

- Nugraha, A. Z., Wiloso, E. I., & Yani, M. (2018). Pemanfaatan Serbuk Gergaji Sebagai Substitusi Bahan Bakar Pada Proses Pembakaran - Kiln Di Pabrik Semen Dengan Pendekatan Life Cycle Assesment (Lca). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 188-198.
- OBoorn, R. (2012). *From Ground to Gate: A Lifecycle Assessment of Petroleum Processing Activities in the United Kingdom*. Norwegian University of Science and Technology.
- Permen ESDM. (2015). *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 12 Tahun 2015*.
- Yunirman, J. A. (2010). Model Transportasi Jalur Laut untuk Distribusi Semen Curah. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 9(2), 65-74.

