

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PAVING BLOCK TANPA SEMEN MENGUNAKAN LIMBAH BOTOL PLASTIK

Dwifl Aprillia Karisma¹, Fauzie Nursandah¹, Fitri Rahmawaty¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kediri

Jl. Selomangleng No 1 Kediri 64115 Telp 0354 771649

Email: dwifl@unik-kediri.ac.id

Abstrak

Industri konstruksi menghadapi tantangan besar untuk berinovasi guna meningkatkan keberlanjutan. Berbagai inovasi material konstruksi telah muncul sebagai respons terhadap kebutuhan akan keberlanjutan. Penggunaan material daur ulang, seperti mengubah limbah menjadi sumber daya konstruksi, telah menjadi fokus yang sangat penting dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan industri konstruksi. Penelitian ini mengkaji dampak lingkungan dari produksi paving block konvensional dan paving block plastik tanpa semen yang memanfaatkan limbah plastik PET sebagai bahan baku utama. Metode Life Cycle Assessment (LCA) digunakan untuk mengevaluasi dampak dari tahap produksi hingga pembuangan paving block. Pengolahan data untuk menganalisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro 9.0.0.47. Hasil analisis menunjukkan bahwa paving block konvensional memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah pada beberapa kategori, termasuk carcinogens, radiation, ecotoxicity, dan minerals, dibandingkan dengan paving block plastik. Namun, paving block plastik menunjukkan kinerja lebih baik pada aspek seperti Resp organics, Resp inorganics, climate change, ozone layer, acidification, land use, dan fossil fuels.

Kata kunci: Life Cycle Assessment; Paving Block Plastik; SimaPro

Pendahuluan

Dalam era modern ini, industri konstruksi menghadapi tantangan besar untuk berinovasi guna meningkatkan keberlanjutan. Sekitar 39% dari total emisi gas rumah kaca dunia berasal dari sektor konstruksi dan bangunan (Fistcar 2020). Dengan populasi global yang terus meningkat dan urbanisasi yang pesat, permintaan akan infrastruktur yang berkelanjutan semakin mendesak. Pemerintah Indonesia saat ini telah berkomitmen untuk mengurangi emisi sebesar 29-41% atau sekitar 314 juta ton pada tahun 2030 (Hardianto, Widyastuti, and Arie Dipareza Syafei 2020). Penerapan inovasi dalam penggunaan bahan ramah lingkungan, seperti daur ulang limbah plastik untuk konstruksi paving block, menjadi salah satu langkah strategis untuk mengurangi dampak lingkungan sektor konstruksi.

Berbagai inovasi material konstruksi telah muncul sebagai respons terhadap kebutuhan akan keberlanjutan. Misalnya, pengembangan beton ramah lingkungan yang menggunakan bahan substitusi sebagian dari semen Portland dengan limbah industri atau bahan alami, telah menunjukkan potensi besar dalam mengurangi jejak karbon konstruksi (Zulco et al. 2020). Tahapan awal dari Proses produksi semen hingga tahap akhir turut menyumbang terjadinya pencemaran, khususnya pencemaran udara. Penelitian menunjukkan produksi semen melepaskan sekitar 0,8-ton CO₂ per ton semen ke dalamnya atmosfer. Sementara itu, dilaporkan ada satu ton Produksi semen Portland menghasilkan sekitar satu ton CO₂ emisi gas rumah kaca dan sekitar 2% hingga 8% konsumsi listrik global disebabkan oleh proses pembuatan semen. Sejak awal Revolusi Industri, CO₂ di atmosfer konsentrasi meningkat sebesar 47%. Fakta ini menyoroti urgensi untuk mengadopsi inovasi dan teknologi baru dalam industri konstruksi, terutama dengan fokus pada pengembangan material ramah lingkungan dan pengurangan penggunaan bahan-bahan yang memiliki dampak lingkungan tinggi (Parthasarathy and Narayanan 2014) (Colangelo et al. 2018). Upaya ini penting untuk mengurangi jejak karbon dan meminimalkan dampak negatif produksi semen terhadap kualitas udara dan perubahan iklim secara keseluruhan.

Penggunaan material daur ulang, seperti mengubah limbah menjadi sumber daya konstruksi, telah menjadi fokus yang sangat penting dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan industri konstruksi. Pemanfaatan limbah sebagai bahan baku alternatif tidak hanya membantu mengurangi jumlah limbah yang mencemari lingkungan, tetapi juga berperan dalam mengurangi kebutuhan akan bahan-bahan baru yang dapat merugikan ekosistem (Goyal, Kumar, and Mondal 2023). Dalam konteks konstruksi, material daur ulang dapat melibatkan penggunaan limbah plastik, logam, kertas, dan beton bekas untuk menciptakan produk konstruksi yang memiliki kinerja setara atau bahkan lebih baik daripada bahan konvensional. Plastik menjadi bahan utama dalam banyak produk di seluruh dunia. Plastik banyak digunakan sebagai kemasan makanan, botol air, mainan anak-anak, tas belanja dan berbagai produk lainnya. Pada awalnya, plastik diciptakan sebagai alternatif untuk bahan-bahan alami seperti kayu atau logam. Hal tersebut karena sifat plastik yang ringan, tahan lama, dan mudah diproduksi (Warlani 2019). Namun, seiring dengan berkembangnya zaman, penggunaan plastik mengalami peningkatan dan menyebabkan masalah besar di seluruh dunia

(Amato-Lourenço et al. 2020). Tercatat data tahun 2022 ada lebih 8 Miliar ton sampah plastic. Indonesia sendiri menjadi negara penghasil sampah plastik no. 5 di dunia sebanyak 9,13 ton.

Beberapa penelitian dan ulasan terbaru dilakukan pada penggunaan limbah plastik di industri konstruksi menunjukkan kemajuan dan hasil yang menjanjikan dalam hal daur ulang (Diana and Deshariyanto 2020)(Almeshal et al. 2020)(Awoyera and Adesina 2020). Peneliti malakukan uji kelayakan penggunaan PET ke dalam blok beton struktural untuk digunakan dalam konstruksi sipil. Hasilnya menunjukkan dari sudut pandang teknis adalah layak untuk menggunakan PET mikronisasi dalam memproduksi balok pasangan bata struktural. Disisi lain penelitian dan pengembangan telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi produksi paving block dari limbah plastik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan(Agyeman et al. 2019). Selain itu, manajemen limbah plastik, terutama melalui konversi multilayer metallized plastic packaging (MLP) menjadi paving blocks (PVB), juga telah menjadi fokus penelitian yang mencerminkan dampak lingkungan yang lebih positif dibandingkan dengan praktik pengelolaan limbah plastik konvensional (Sinaga et al. 2023).

Meskipun telah dilakukan sejumlah penelitian terkait pemanfaatan plastik sebagai bahan pembuatan paving block, sebagian besar penelitian masih terbatas pada aspek sifat fisik dan mekanik dari paving block tersebut. Kajian yang lebih mendalam mengenai *Life Cycle Assessment* (LCA) pada paving block tanpa semen menggunakan limbah plastik PET masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak lingkungan dari tahap produksi paving block tanpa semen yang mengintegrasikan limbah plastik PET sebagai bahan baku utama. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemahaman keberlanjutan konstruksi dan memberikan dasar untuk pengembangan paving block yang lebih ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah plastik.

Metode Penelitian

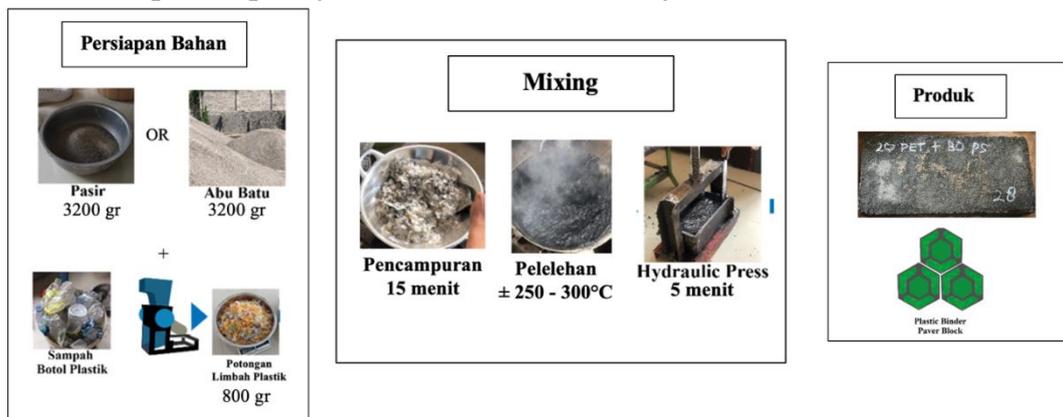
Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) yang memungkinkan penilaian menyeluruh terhadap dampak lingkungan dari tahap produksi hingga tahap pemrosesan akhir dan pembuangan paving block. Metode penelitian melibatkan pengumpulan data terkait produksi paving block, proses produksi limbah plastik, serta pembuatan paving block tanpa semen. Strategi penelitian difokuskan pada analisis dampak siklus hidup, mencakup pemanfaatan sumber daya alam, emisi gas rumah kaca, dan dampak lingkungan lainnya. Teknik analisis data melibatkan perhitungan dan pembobotan dampak lingkungan menggunakan metode LCA. Analisis kritis terhadap aspek-aspek lingkungan dari penggunaan limbah plastik sebagai bahan baku utama dan dampak keseluruhan paving block tanpa semen diintegrasikan dalam konteks LCA.

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini mencakup limbah plastik PET sebagai bahan baku utama untuk pembuatan paving block tanpa semen. Selain itu, penelitian juga mempertimbangkan material lain yang terlibat dalam proses produksi, yaitu agregat (pasir dan stone ash) sebagai bahan pengisi.

Produksi

Agregat yang telah disiapkan dipanaskan hingga mencapai suhu 200°C. Kemudian, limbah plastik PET dimasukkan dan diaduk hingga mencapai homogenitas dalam campuran dan mencapai suhu ± 250 - 300°C. Selama proses pencampuran panas, serpihan PET meleleh dan melapisi permukaan partikel agregat. Setelah pencampuran selesai, campuran cair dituangkan dengan cepat ke dalam cetakan dan dikompresi.



Gambar 1. Proses Produksi

Life Cycle Assessment (LCA)

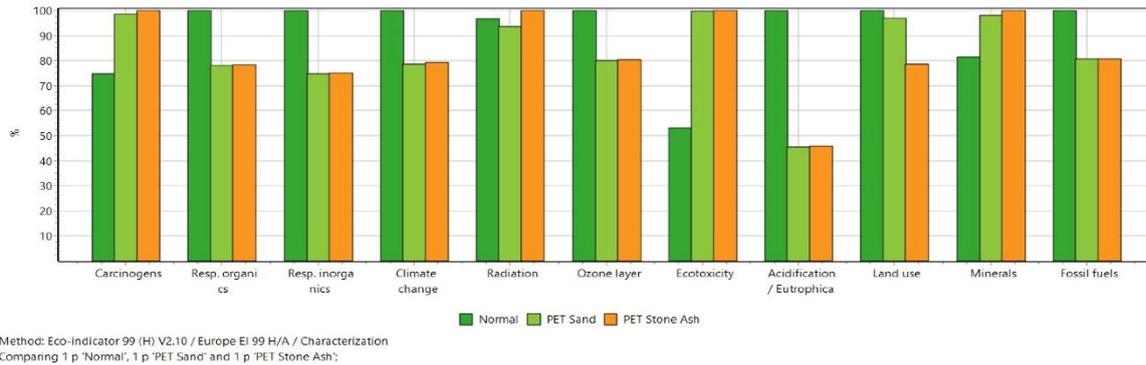
LCA merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang terkait dengan suatu produk(Rakhmawati, Devia, and Wijatmiko 2020)(Hossain et al. 2016). Langkah awal dalam LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan serta keluaran yang terkait dengan produk yang dihasilkan. Pendekatan "dari awal hingga akhir" dari LCA melibatkan seluruh siklus hidup produk, dimulai dari pengumpulan bahan baku hingga produk tercipta, dan berakhir pada saat semua bahan tersebut dikembalikan ke lingkungan. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif dari semua tahapan dalam siklus hidup produk, membantu mengidentifikasi bagian

mana yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan. Komposisi PET yang digunakan 800 gr (20%) dengan agregat pasir/abu batu 3200gr (80%).

Pengolahan data untuk menganalisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro versi 9.0.0.47. Dalam aplikasinya, proses ini melibatkan beberapa tahapan, mulai dari menetapkan tujuan dan lingkup (goal and scope), Analisis Dampak Siklus Hidup (Life Cycle Impact Assessment/LCIA), hingga interpretasi data. Pada tahap LCI (Life Cycle Inventory), dilakukan penginputan data yang mencakup informasi mengenai bahan baku, energi yang digunakan selama produksi dan pascaproduksi, emisi atau limbah yang dihasilkan, serta produk yang dihasilkan. Selanjutnya, tahap LCIA melibatkan penilaian dampak lingkungan dengan melalui serangkaian tahapan, seperti karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan penghitungan skor tunggal (Yurinda, Aulia, and Farahdiba 2022).

Hasil dan Diskusi

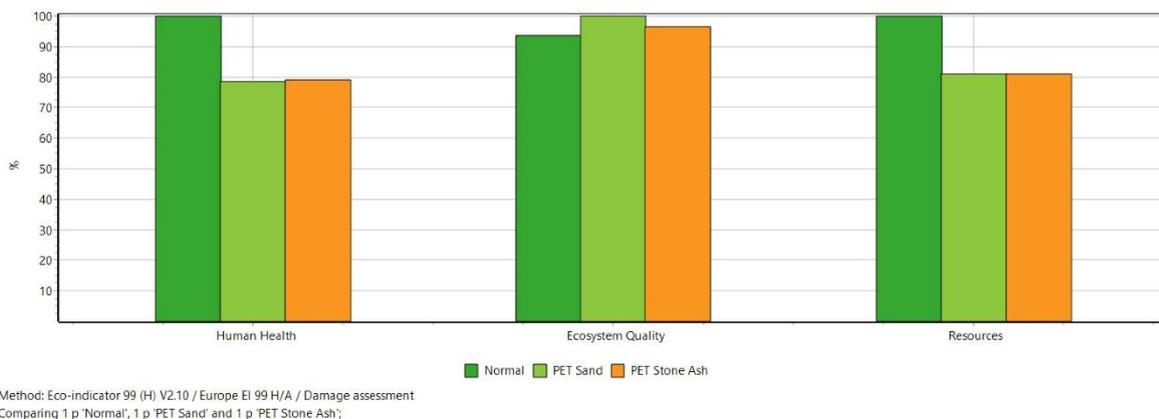
Dampak lingkungan dari produksi paving block konvensional dan paving block plastik dinilai dan dibandingkan dengan teknik LCA. Hasil evaluasi mengenai Characterization dan Weighting dalam gambar 2 dan 3



Gambar 2. Characterization

Gambar 2 memberikan perbandingan dampak dari tiga campuran paving, khususnya dalam aspek dampak terhadap berbagai kategori lingkungan. Analisis tersebut menunjukkan bahwa paving konvensional memiliki dampak yang lebih besar dalam beberapa kategori, sementara paving block plastik menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam beberapa parameter tertentu. Dampak pada carcinogens, radiation, ecotoxicity, dan minerals menunjukkan bahwa paving block konvensional memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan paving block plastik. Hal ini mungkin terkait dengan penggunaan bahan konvensional yang kurang toksik dan memiliki risiko lebih rendah terhadap paparan zat-zat berbahaya.

Namun, dampak pada Resp organics, Resp inorganics, climate change, ozone layer, acidification, land use, dan fossil fuels cenderung tinggi pada paving block konvensional. Ini menunjukkan bahwa terdapat aspek-aspek tertentu dalam siklus hidup kedua jenis paving block yang masih memiliki dampak lingkungan yang signifikan. Faktor ini kemungkinan terkait dengan karakteristik produksi konvensional yang seringkali melibatkan penggunaan sumber daya alam secara besar-besaran, emisi gas rumah kaca, dan penggunaan energi fosil. Dalam konteks ini, paving block plastik mungkin memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam mengurangi dampak pada beberapa kategori tertentu, terutama yang terkait dengan zat-zat berbahaya.



Gambar 3. Weighting

Gambar 3 menunjukkan perbandingan dampak kerusakan pada kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan sumber daya yang diakibatkan oleh tiga proses produksi paving block, yaitu konvensional, campuran PET dan abu batu, serta campuran PET dan pasir. Hasil analisis menunjukkan bahwa paving block konvensional memiliki dampak terbesar terhadap kesehatan manusia, yang mungkin terkait dengan penggunaan bahan-bahan konvensional yang

cenderung lebih berpotensi merugikan kesehatan. Pada sisi lain, paving block campuran PET dan abu batu menunjukkan peningkatan positif dengan dampak yang lebih rendah terhadap kesehatan manusia, menunjukkan potensi keberlanjutan yang lebih baik dalam hal ini. Dalam konteks kualitas ekosistem, campuran PET dan pasir menonjol dengan dampak terbesar. Hal ini mungkin disebabkan oleh interaksi material yang digunakan, yang perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan keberlanjutan ekosistem dalam produksi paving block. Meskipun demikian, paving block campuran PET dan abu batu masih menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan konvensional, menunjukkan bahwa penambahan abu batu dapat berkontribusi positif terhadap kualitas ekosistem. Pada aspek sumber daya, paving block konvensional dan paving block plastik menunjukkan dampak yang lebih tinggi dengan kedudukan yang relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik dalam produksi paving block dapat memberikan manfaat dalam mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam dibandingkan dengan metode konvensional (Praticò et al. 2020). Meskipun begitu, masih perlu pertimbangan lebih lanjut untuk meminimalkan dampak terhadap sumber daya

Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa paving block konvensional cenderung memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah pada beberapa aspek tertentu, seperti carcinogens, radiation, ecotoxicity, dan minerals, dibandingkan dengan paving block plastik. Meskipun demikian, paving block plastik menunjukkan dampak yang lebih rendah pada aspek Resp organics, Resp inorganics, climate change, ozone layer, acidification, land use, dan fossil fuels. Dalam konteks kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan sumber daya, paving block plastik menunjukkan potensi keberlanjutan yang lebih baik, dengan peningkatan positif pada beberapa kategori. Namun, perlu pertimbangan lebih lanjut untuk meminimalkan dampak keseluruhan dan meningkatkan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, integrasi limbah plastik PET dalam paving block tanpa semen dapat menjadi langkah positif menuju material konstruksi yang lebih berkelanjutan, tetapi tetap memerlukan upaya lebih lanjut dalam pengembangan dan optimalisasi.

Daftar Pustaka

- Agyeman, S., N. K. Obeng-Ahenkora, S. Assiamah, and G. Twumasi. 2019. "Exploiting Recycled Plastic Waste as an Alternative Binder for Paving Blocks Production." *Case Studies in Construction Materials* 11: e00246. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00246>.
- Almeshal, Ibrahim et al. 2020. "Eco-Friendly Concrete Containing Recycled Plastic as Partial Replacement for Sand." *Journal of Materials Research and Technology* 9(3): 4631–43. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.090>.
- Amato-Lourenço, Luís Fernando et al. 2020. "An Emerging Class of Air Pollutants: Potential Effects of Microplastics to Respiratory Human Health?" *Science of the Total Environment* 749: 141676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676>.
- Awoyera, P. O., and A. Adesina. 2020. "Plastic Wastes to Construction Products: Status, Limitations and Future Perspective." *Case Studies in Construction Materials* 12: e00330. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00330>.
- Colangelo, Francesco, Antonio Forcina, Ilenia Farina, and Antonella Petrillo. 2018. "Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction." *Buildings* 8(5).
- Diana, A. I.N., and D. Desharyanto. 2020. "Effect of Addition Waste Bottle and Fly Ash Variation to Compressive Strength Environmentally Friendly Paving Block." *Journal of Physics: Conference Series* 1538(1).
- Fistcar, Wawarisa Alnu. 2020. "Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) Pada Pemilihan Perkerasan Kaku Dan Lentur Kontruksi Jalan Tol Balikpapan-Samarinda." *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* 18(2): 307–14. <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats>.
- Goyal, Hemant, Rakshit Kumar, and Prasenjit Mondal. 2023. "Life Cycle Analysis of Paver Block Production Using Waste Plastics: Comparative Assessment with Concrete Paver Blocks." *Journal of Cleaner Production* 402(March): 136857. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136857>.
- Hardianto, Ryan, Hera Widyastuti, and Arie Dipareza Syafei. 2020. "Sustainability Bantalan Jalan Rel Tipe Beton Prategang Mutu K-600 Dengan Metode Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Terhadap Pencemaran Udara | Semantic Scholar." *Aplikasi Teknik Sipil* 18(2): 199–206.
- Hossain, Md Uzzal, Chi Sun Poon, Irene M.C. Lo, and Jack C.P. Cheng. 2016. "Evaluation of Environmental Friendliness of Concrete Paving Eco-Blocks Using LCA Approach." *International Journal of Life Cycle Assessment* 21(1): 70–84.
- Parthasarathy, Prakash, and Sheeba K Narayanan. 2014. "Effect of Hydrothermal Carbonization Reaction Parameters On." *Environmental Progress & Sustainable Energy* 33(3): 676–80.
- Praticò, Filippo G., Marinella Giunta, Marina Mistretta, and Teresa Maria Gulotta. 2020. "Energy and Environmental Life Cycle Assessment of Sustainable Pavement Materials and Technologies for Urban Roads." *Sustainability (Switzerland)* 12(2).
- Rakhmawati, Annisa Nur, Yatnanta Padma Devia, and Indradi Wijatmiko. 2020. "Life Cycle Assessment (LCA) Analysis of Concrete Slab Construction For Estimating The Environmental Impact." *Rekayasa Sipil* 14(3): 232–37.
- Sinaga, R. Y.H., Mulyono, D. Vicarneltor, and F. A. Radini. 2023. "Environmental Impact Study on Conversion of Multilayer Metallized Packaging to Paving Blocks with a Life Cycle Assessment (LCA) Approach." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1201(1).

- Warlani, Lina. 2019. “Pengelolaan Sampah Plastik Untuk Mitigasi Bencana Alam.” *Seminar Nasional FST Universitas Terbuka*: 89–110.
- Yurinda, Nosa Syifa, Dan Aulia, and Ulfah Farahdiba. 2022. “Volume 2 , Nomor 2 (2022) ANALISIS LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) ‘GATE TO GRAVE’ PROSES PRODUKSI SEMEN.” 2: 98–103.
- Zulcão, Robson, João Luiz Calmon, Thais Ayres Rebello, and Darli Rodrigues Vieira. 2020. “Life Cycle Assessment of the Ornamental Stone Processing Waste Use in Cement-Based Building Materials.” *Construction and Building Materials* 257.