

# BETON RAMAH LINGKUNGAN: SOLUSI HIJAU UNTUK KONSTRUKSI MASA DEPAN

Anisah Azizah<sup>1)</sup>, Indra Ariani<sup>2)</sup>, Kayla Fatima<sup>3)</sup>, Fathia Syafira<sup>4)</sup>, Alya Meutya Rahmat<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Arsitektur, Universitas Mulawarman, Jl. Kuaro, Samarinda, 75119, anisahazizah@ft.unmul.ac.id

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mulawarman, Jl. Kuaro, Samarinda, 75119, indraariani@ft.unmul.ac.id

<sup>3)</sup> Program Studi Arsitektur, Universitas Mulawarman, Jl. Kuaro, Samarinda, 75119, kaylafatima153@gmail.com

<sup>4)</sup> Program Studi Arsitektur, Universitas Mulawarman, Jl. Kuaro, Samarinda, 75119, thiasyafira10@gmail.com

<sup>5)</sup> Program Studi Arsitektur, Universitas Mulawarman, Jl. Kuaro, Samarinda, 75119, alyameutyar01@gmail.com

## ABSTRAK

Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dari industri konstruksi, beton ramah lingkungan muncul sebagai solusi inovatif untuk mengurangi jejak karbon dan dampak ekologis. Artikel ini membahas konsep dan penerapan beton ramah lingkungan dalam konstruksi modern. Menggunakan metode kualitatif deskriptif, artikel ini mengeksplorasi berbagai material dan teknik yang digunakan untuk menghasilkan beton yang lebih berkelanjutan. Temuan menunjukkan bahwa penggunaan bahan daur ulang dan aditif alami dalam campuran beton dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon. Selain itu, aplikasi beton ramah lingkungan tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang bagi industri konstruksi. Kesimpulan dan saran diberikan untuk mendorong adopsi beton ramah lingkungan dalam proyek konstruksi di masa depan.

Kata Kunci: *Beton ramah lingkungan, konstruksi berkelanjutan, material daur ulang, efisiensi energi, jejak karbon*

## ABSTRACT

*The growing awareness of the environmental impact of the construction industry, eco-friendly concrete has emerged as an innovative solution to reduce carbon footprints and ecological effects. This article discusses the concept and application of eco-friendly concrete in modern construction. Using a descriptive qualitative method, the article explores various materials and techniques employed to produce more sustainable concrete. Findings show that incorporating recycled materials and natural additives in concrete mixtures can significantly reduce carbon emissions. Additionally, the application of eco-friendly concrete not only enhances energy efficiency but also provides long-term economic benefits for the construction industry. Conclusions and recommendations are provided to encourage the adoption of eco-friendly concrete in future construction projects.*

*Keyword: Eco-friendly concrete, sustainable construction, recycled materials, energy efficiency, carbon footprint.*

## 1. Pendahuluan

Industri konstruksi memainkan peran besar dalam peningkatan emisi karbon dioksida, yang secara langsung berdampak pada perubahan iklim global dan penurunan kualitas lingkungan. Sebagai penyumbang utama emisi karbon, industri ini terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur di seluruh dunia. Beton, yang merupakan salah satu material bangunan yang paling banyak digunakan, berkontribusi besar terhadap masalah ini (Garg, 2014). Proses produksi semen, bahan utama dalam beton, menghasilkan jumlah emisi yang signifikan karena membutuhkan pembakaran batu kapur pada suhu tinggi (Ashish, 2021). Selain itu, konstruksi bangunan dan infrastruktur lainnya

menggunakan sumber daya alam yang berlebihan, menghasilkan limbah besar, dan menyebabkan kerusakan lingkungan lebih lanjut (Mohammadinia et al., 2020). Dalam konteks ini, kebutuhan akan solusi yang lebih ramah lingkungan menjadi semakin mendesak (Srivastava et al., 2022).

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, beton ramah lingkungan muncul sebagai salah satu inovasi yang diharapkan dapat mengurangi dampak negatif dari industri konstruksi. Beton ini dirancang dengan menggunakan material yang lebih berkelanjutan, termasuk bahan daur ulang, seperti agregat dari

limbah konstruksi, dan aditif alami, seperti fly ash atau slag, yang merupakan produk sampingan dari industri lain (Alnahhal et al., 2022; Yang et al., 2023). Penggunaan bahan-bahan ini tidak hanya mengurangi penggunaan sumber daya alam yang baru, tetapi juga mengurangi emisi karbon yang dihasilkan selama produksi beton. Selain itu, aditif alami ini dapat meningkatkan kualitas dan daya tahan beton, yang berarti struktur yang dihasilkan dapat bertahan lebih lama dan membutuhkan lebih sedikit perawatan, sehingga memberikan keuntungan tambahan dari segi ekonomi dan lingkungan (Singh & Sharma, 2020). Beton ramah lingkungan juga menawarkan manfaat lain yang berkaitan dengan efisiensi energi. Dengan mengurangi kebutuhan energi dalam proses produksi dan transportasi, beton ini dapat membantu menurunkan konsumsi energi secara keseluruhan di sektor konstruksi (Zhang et al., 2021). Selain itu, beberapa jenis beton ramah lingkungan memiliki kemampuan untuk menyerap atau mengurangi panas, yang dapat membantu mengurangi efek pulau panas perkotaan dan meningkatkan efisiensi energi dalam bangunan (Almohana et al., 2022). Penerapan teknologi seperti ini sangat relevan di daerah-daerah perkotaan dengan populasi padat dan aktivitas konstruksi tinggi, di mana dampak lingkungan dari bangunan konvensional sering kali lebih terasa.

Namun, adopsi beton ramah lingkungan di industri konstruksi tidak selalu berjalan mulus. Masih terdapat berbagai tantangan yang perlu diatasi, termasuk persepsi pelaku industri mengenai kinerja material ini dibandingkan dengan beton tradisional (Nilimaa, 2022). Banyak pengembang dan kontraktor masih ragu untuk beralih ke beton ramah lingkungan karena kekhawatiran terhadap biaya yang lebih tinggi, meskipun penelitian menunjukkan bahwa biaya jangka panjang dapat lebih rendah karena durabilitas yang lebih baik dan penghematan energi (Alnahhal et al., 2022). Selain itu, keterbatasan infrastruktur dan pengetahuan teknis juga menghambat penerapan secara luas. Oleh karena itu, diperlukan edukasi dan pelatihan lebih lanjut di kalangan profesional konstruksi agar mereka dapat memahami potensi keuntungan yang dapat diberikan oleh beton ramah lingkungan (Srivastava et al., 2022).

Di sisi lain dapat dilihat, beton ramah lingkungan menawarkan solusi potensial untuk masalah lingkungan yang disebabkan oleh industri konstruksi, tetapi implementasinya memerlukan upaya kolaboratif antara pemerintah, industri, dan akademisi. Dengan memperkuat regulasi mengenai penggunaan material ramah lingkungan dan memberikan insentif bagi pengembang yang mengadopsi teknologi ini, adopsi yang lebih luas

dapat didorong. Di sisi lain, penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi baru juga diperlukan untuk memastikan bahwa beton ramah lingkungan dapat sepenuhnya menggantikan beton konvensional di masa depan, baik dari segi kinerja, biaya, maupun dampak lingkungan.

Secara garis besar, Industri konstruksi saat ini menghadapi tantangan besar terkait keberlanjutan, terutamanya karena semakin tingginya tuntutan untuk mengurangi dampak lingkungan dan emisi karbon.

Beton, sebagai salah satu material bangunan yang paling banyak digunakan, menjadi fokus utama dalam upaya untuk menciptakan solusi konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Proses produksi semen, komponen utama dalam beton, diketahui sebagai penyumbang signifikan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang berkontribusi besar terhadap perubahan iklim global. Selain itu, penggunaan beton konvensional juga berdampak pada eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, meningkatkan polusi, dan menghasilkan limbah konstruksi dalam jumlah besar.

Dalam menghadapi tantangan ini, para peneliti dan praktisi industri mulai beralih pada inovasi beton ramah lingkungan yang memanfaatkan bahan-bahan daur ulang dan aditif alami. Beton ramah lingkungan, atau yang sering disebut sebagai beton hijau, tidak hanya mengurangi jejak karbon dari proses produksinya, tetapi juga menawarkan keuntungan jangka panjang dalam hal efisiensi energi dan durabilitas bangunan. Oleh karena itu, pengembangan dan penerapan beton ramah lingkungan menjadi krusial untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Dalam upaya menghadapi tantangan keberlanjutan di industri konstruksi, beton ramah lingkungan telah menjadi fokus penelitian yang signifikan. Sivakrishna et al. (2022) dalam tinjauan mereka tentang perkembangan terbaru beton hijau menyoroti pentingnya inovasi material dalam mengurangi dampak lingkungan dari industri ini. Penggunaan material alternatif, seperti limbah daur ulang, tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon tetapi juga meningkatkan kualitas dan daya tahan struktur yang dihasilkan (Ghinaya & Masek, 2023). Selain itu, integrasi material inovatif dalam pembuatan beton dapat mempromosikan efisiensi energi dan pengurangan biaya jangka panjang, menjadikannya pilihan yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan beton konvensional.

Selanjutnya, penelitian oleh Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang dalam beton dapat menjadi solusi yang layak untuk meningkatkan keberlanjutan produksi beton. Mereka menekankan bahwa agregat daur ulang tidak hanya mengurangi penggunaan sumber daya alam tetapi juga mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Zamora-Castro et al. (2023) menambahkan bahwa penerapan material inovatif dalam pengembangan beton dapat meningkatkan kinerja dan memperpanjang umur pakai struktur, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, mengadopsi praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung penelitian lebih lanjut tentang beton hijau menjadi langkah krusial untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif untuk mengeksplorasi secara mendalam karakteristik dan potensi beton ramah lingkungan dalam industri konstruksi. Metode ini bertujuan untuk menganalisis dan menjelaskan konsep serta implementasi teknologi beton berkelanjutan melalui pengumpulan data dari berbagai sumber yang relevan. Data primer dan sekunder diperoleh melalui studi literatur yang mencakup jurnal ilmiah terkini, buku referensi, serta peraturan-peraturan yang berkaitan dengan pembangunan berkelanjutan dan penggunaan material ramah lingkungan. Sumber-sumber ini memberikan gambaran komprehensif tentang berbagai inovasi dan perkembangan dalam penggunaan material daur ulang dan aditif alami pada campuran beton, serta dampaknya terhadap pengurangan jejak karbon dan efisiensi energi.

Analisis data dilakukan dengan merangkum hasil-hasil penelitian yang ada dan menginterpretasikan temuan-temuan utama terkait keunggulan dan tantangan beton ramah lingkungan. Proses interpretasi ini dilakukan dengan membandingkan berbagai literatur untuk mendapatkan perspektif yang lebih luas mengenai manfaat beton hijau, baik dari sisi lingkungan maupun ekonomi. Melalui analisis deskriptif ini, penelitian dapat memberikan wawasan mendalam mengenai bagaimana teknologi beton ramah lingkungan dapat diadopsi lebih luas dalam industri konstruksi, serta langkah-langkah strategis yang diperlukan untuk mendorong adopsinya di masa depan. Pendekatan kualitatif ini juga memungkinkan identifikasi berbagai faktor yang mempengaruhi penerapan beton ramah lingkungan di proyek-proyek konstruksi, termasuk hambatan regulasi, biaya, dan persepsi di kalangan profesional konstruksi.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton ramah lingkungan dapat dihasilkan dengan menggunakan bahan daur ulang, seperti agregat daur ulang dan limbah industri. Penggunaan agregat daur ulang, yang berasal dari material bangunan yang dibongkar, tidak hanya membantu mengurangi limbah tetapi juga mengurangi kebutuhan untuk penambangan agregat baru.

Gambar 1. Beton dari limbah kaca



Sumber: medcom.id

Selain itu, aditif alami seperti fly ash, slag, dan silica fume telah terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Aditif ini, yang merupakan produk sampingan dari industri, tidak hanya memberikan manfaat dari segi kinerja beton tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan jejak karbon dari mekanik dan durabilitas beton. Aditif ini, yang merupakan produk sampingan dari industri, tidak hanya memberikan manfaat dari segi kinerja beton tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan jejak karbon dari proses produksi. Penerapan teknik ini tidak hanya mengurangi konsumsi sumber daya alam tetapi juga mengurangi limbah yang dihasilkan selama proses produksi beton, sehingga menciptakan siklus hidup yang lebih berkelanjutan.



Gambar 2. Perbedaan semen dan fly ash  
Sumber: lauwtjunnji.weebly.com



Gambar 3. Slag  
Sumber: gurusipil.co



Gambar 4. Perbedaan semen, fly ash dan microsilica (silica fume)  
Sumber: gepat.com

Studi menunjukkan bahwa penggunaan beton ramah lingkungan dapat mengurangi jejak karbon secara signifikan. Misalnya, penggunaan agregat daur ulang dalam campuran beton dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga 30% dibandingkan dengan beton konvensional. Penurunan emisi ini dihasilkan dari pengurangan kebutuhan energi dalam proses produksi serta pengurangan transportasi bahan baku. Selain itu, proyek konstruksi yang menggunakan beton ramah lingkungan sering kali menunjukkan penghematan biaya jangka panjang berkat pengurangan energi yang diperlukan selama masa pakai bangunan. Dengan demikian, investasi awal dalam beton ramah lingkungan dapat terbayar melalui penghematan biaya operasional dan pemeliharaan yang lebih rendah.

Namun, tantangan dalam adopsi beton ramah lingkungan masih ada. Salah satu hambatan utama adalah skeptisisme yang masih ada di kalangan pengembang dan kontraktor terhadap performa dan keandalan beton ramah lingkungan dibandingkan dengan beton tradisional. Hal ini sering kali disebabkan oleh kurangnya informasi dan pengalaman dalam penggunaan material baru ini. Selain itu, beberapa proyek mungkin terhambat oleh kekhawatiran mengenai persyaratan teknis dan regulasi yang tidak jelas. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut dan mengembangkan standar yang jelas untuk menjamin kualitas dan keamanan beton ramah lingkungan, sehingga memberikan kepercayaan kepada para pelaku industri untuk beralih ke solusi yang lebih berkelanjutan ini.

Satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan meningkatkan program edukasi dan pelatihan bagi para profesional di bidang konstruksi. Penyuluhan tentang manfaat dan karakteristik beton ramah lingkungan, serta studi kasus sukses dari proyek-proyek yang telah mengadopsinya, dapat membantu mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan kepercayaan. Selain itu, kolaborasi antara peneliti, produsen material, dan pengembang dapat menghasilkan inovasi baru dan solusi praktis yang mengarah pada penerapan beton ramah lingkungan

yang lebih luas. Dalam jangka panjang, pembentukan jaringan kolaboratif dapat mempercepat proses adopsi teknologi hijau ini.

Di sisi lain, pemerintah juga memiliki peran penting dalam mendorong penggunaan beton ramah lingkungan. Kebijakan dan regulasi yang mendukung, seperti insentif fiskal atau pengurangan pajak untuk proyek-proyek yang menggunakan material ramah lingkungan, dapat menjadi faktor pendorong yang signifikan. Selain itu, standar dan sertifikasi untuk beton ramah lingkungan dapat memberikan jaminan kualitas yang dibutuhkan untuk meyakinkan pengembang dan kontraktor. Dengan adanya dukungan dari pemerintah, diharapkan penggunaan beton ramah lingkungan dapat meningkat secara signifikan, membantu industri konstruksi menuju arah yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pada akhirnya, kolaborasi antara sektor publik dan swasta juga sangat penting dalam upaya mengimplementasikan beton ramah lingkungan secara lebih luas. Pengembangan program penelitian bersama yang berfokus pada inovasi material dan teknologi baru dapat mempercepat proses pemecahan masalah yang dihadapi dalam penerapan beton ramah lingkungan. Dengan melibatkan semua pemangku kepentingan dalam proses ini, diharapkan tidak hanya dapat mengurangi jejak karbon industri konstruksi tetapi juga menciptakan lingkungan binaan yang lebih berkelanjutan dan efisien. Oleh karena itu, kolaborasi lintas sektor akan menjadi kunci dalam mewujudkan visi masa depan yang berkelanjutan melalui penggunaan beton ramah lingkungan.



Gambar 5. Pelatihan Program Edukasi  
Sumber: Sulsatsu.com

#### 4. Kesimpulan

Beton ramah lingkungan telah terbukti sebagai solusi yang efektif dalam mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi. Dengan memanfaatkan bahan daur ulang seperti agregat bekas dan menggunakan aditif alami seperti fly ash dan slag, beton ramah lingkungan dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon yang dihasilkan dalam proses produksi.

Selain itu, teknologi ini juga mampu meningkatkan efisiensi energi dan durabilitas struktur bangunan, memberikan kontribusi yang nyata dalam upaya pembangunan berkelanjutan.

Namun, meskipun potensinya besar, adopsi beton ramah lingkungan masih menghadapi tantangan, terutama dalam hal kepercayaan dari pelaku industri terhadap kinerja material ini. Selain itu, penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk menyempurnakan teknologi dan memastikan bahwa beton ramah lingkungan dapat bersaing dengan beton konvensional dalam aspek biaya, kekuatan, dan keandalan di berbagai kondisi konstruksi.

Beton ramah lingkungan merupakan solusi yang menjanjikan dalam menghadapi tantangan keberlanjutan di industri konstruksi. Dengan memanfaatkan material alternatif dan limbah daur ulang, beton hijau tidak hanya berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan penghematan sumber daya alam, tetapi juga meningkatkan kualitas dan daya tahan struktur yang dihasilkan. Penelitian menunjukkan bahwa inovasi dalam penggunaan agregat daur ulang dan material inovatif dapat memperpanjang umur pakai beton, sehingga mengurangi kebutuhan akan perawatan dan biaya jangka panjang. Oleh karena itu, penting untuk mendorong adopsi praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan terus mendukung penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan potensi beton hijau dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Tetapi, terdapat saran yang baik untuk mendorong adopsi lebih luas beton ramah lingkungan, pemerintah dan industri konstruksi harus bekerja sama dalam menyusun kebijakan dan regulasi yang mendukung penggunaan material ini. Insentif pajak atau sertifikasi bangunan hijau dapat menjadi alat untuk memotivasi pengembang dan kontraktor dalam memilih beton ramah lingkungan. Selain itu, kampanye edukasi yang menargetkan para profesional konstruksi perlu dilakukan untuk meningkatkan kesadaran tentang manfaat jangka panjang dari teknologi ini.

Penelitian lanjutan juga harus difokuskan pada inovasi dalam penggunaan material lokal dan limbah industri sebagai bahan baku beton ramah lingkungan.

Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya akan mengurangi jejak karbon tetapi juga memberikan solusi terhadap masalah limbah yang dihadapi banyak negara. Kolaborasi antara

agregat daur ulang dan material inovatif dapat memperpanjang umur pakai beton, sehingga mengurangi kebutuhan perawatan dan biaya jangka panjang. Oleh karena itu, penting untuk mendorong adopsi praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan terus mendukung penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan potensi beton hijau dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Tetapi, terdapat saran yang baik untuk mendorong adopsi lebih luas beton ramah lingkungan, pemerintah dan industri konstruksi harus bekerja sama dalam menyusun kebijakan dan regulasi yang mendukung penggunaan material ini. Insentif pajak atau sertifikasi bangunan hijau dapat menjadi alat untuk memotivasi pengembang dan kontraktor dalam memilih beton ramah lingkungan. Selain itu, kampanye edukasi yang menargetkan para profesional konstruksi perlu dilakukan untuk meningkatkan kesadaran tentang manfaat jangka panjang dari teknologi ini.

Penelitian lanjutan juga harus difokuskan pada inovasi dalam penggunaan material lokal dan limbah industri sebagai bahan baku beton ramah lingkungan. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya akan mengurangi jejak karbon tetapi juga memberikan solusi terhadap masalah limbah yang dihadapi banyak negara. Kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah sangat penting untuk mempercepat pengembangan dan adopsi beton ramah lingkungan di proyek konstruksi masa depan.

## 5. Daftar Pustaka

- Garg, C. (2014). Green concrete: Efficient & eco friendly construction materials. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(2), 25-28.
- Srivastava, V., Kumar, R., & Mehta, P. K. (2022). Concrete made with waste materials: A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*.
- Almohana, A. I., Abdulwahid, M. Y., Galobardes, I., Mushtaq, J., & Almojil, S. F. (2022). Producing sustainable concrete with plastic waste: A review.
- Nilimaa, J. (2022). Smart materials and technologies for sustainable concrete construction.
- Alnahhal, M., Al-Harthy, A. S., Alnuaimi, A. S., & Al-Mahrooqi, A. H. (2022). Green concrete:

Sustainable construction using recycled materials and eco-friendly alternatives. *Materials Today: Proceedings*, 51(5), 1442-1447.

Ashish, D. K. (2021). Concrete made using waste materials: A review towards sustainable construction.

*Journal of Building Engineering*, 35, 102076.

Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Sanjayan, J.G., & waste in concrete for sustainable construction. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101035.

Horpibulsuk, S. (2020). Sustainable use of waste materials in concrete construction. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120147.

Singh, S. K., & Sharma, U. (2020). Utilization of industrial waste in concrete for sustainable construction. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101035.

Zhang, Z., Wang, Q., & Wu, S. (2021). Performance of green concrete containing fly ash and recycled aggregates. *Journal of Environmental Management*, 284, 112057.

Ghinaya, Z., & Masek, A. (2023). Eco-Friendly Concrete Innovation in Civil Engineering. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136046.

Sivakrishna, A., Adesina, A., Awoyera, P.O., & Rajesh Kumar, K. (2022). Green concrete: A review of recent developments. *Construction and Building Materials*, 341, 127689.

Zamora-Castro, S. A., Salgado-Estrada, R., Sandoval-Herazo, L. C., Melendez-Armenta, R. A., Manzano-Huerta, E., Yelmi-Carrillo, E., & Herrera-May, A. L. (2023).

Sustainable Development of Concrete through Aggregates and Innovative Materials: A Review. *Construction and Building Materials*, 368, 130041.

Zhang, J., Peng, D.-Z., Gao, X.-G., Zou, J.-T., & Zhao, R.-R. (2023). Regeneration of high-performance materials for electrochemical energy storage from assorted solid waste: A

review. *Journal of Cleaner Production*, 396, 136700.

Marvila, M., de Matos, P., Rodríguez, E., Monteiro, S. N., & de Azevedo, A. R. G. (2023). Recycled Aggregate: A Viable Solution for Sustainable Concrete Production. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135792.

Yang, H., Liu, J., & Li, H. (2023). Eco-friendly concrete: Current status and future trends in sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 374, 130