



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 7016-7027

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Optimalisasi Kuat Tekan Beton Melalui Inkorporasi Arang Sebagai Additive Material

Adnan Novix Romadan<sup>1✉</sup>, Aulia Choiri Windari<sup>2</sup>

Universitas Global Jakarta

Email: [nan35romadan@gmail.com](mailto:nan35romadan@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Industri konstruksi Indonesia menghadapi tantangan optimalisasi kuat tekan beton konvensional seiring meningkatnya kebutuhan infrastruktur nasional. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi arang sebagai additive material untuk meningkatkan kuat tekan beton melalui pendekatan yang berkelanjutan dan ekonomis. Metode penelitian menggunakan systematic literature review dengan protokol PRISMA, menganalisis 8 artikel jurnal peer-reviewed periode 2019-2025 melalui pendekatan kualitatif dan comparative analysis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material berbasis karbon, khususnya serbuk arang briket, dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 50,84% pada komposisi optimal 15% dengan penambahan Bestmittel 0,6%. Mekanisme peningkatan terjadi melalui fungsi partikel arang sebagai nucleation sites yang mempercepat proses hidrasi semen dan meningkatkan kepadatan matriks internal. Evaluasi durabilitas menunjukkan performa jangka panjang yang memadai dengan resistance baik terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Aspek keberlanjutan tercapai melalui pemanfaatan limbah organik menjadi material konstruksi bernilai tinggi, mendukung konsep circular economy dengan reduksi carbon footprint hingga 31%. Penelitian menyimpulkan bahwa inkorporasi arang sebagai additive material memberikan solusi inovatif yang mengoptimalkan performa teknis sambil mendukung prinsip sustainable construction untuk aplikasi industri konstruksi berkelanjutan.

Kata Kunci: *Optimalisasi Kuat Tekan, Arang Additive, Beton Berkelanjutan, Material Karbon, Konstruksi Ramah Lingkungan.*

## Abstract

The Indonesian construction industry faces challenges in optimizing conventional concrete compressive strength alongside increasing national infrastructure demands. This research aims to analyze the potential of charcoal as additive material for enhancing concrete compressive strength through sustainable and economical approaches. The research methodology employs systematic literature review following PRISMA protocol, analyzing 8 peer-reviewed journal articles from 2019-2025 through qualitative and comparative analysis approaches. Research findings indicate that carbon-based materials, particularly charcoal briquette powder, can increase concrete compressive strength up to 50.84% at optimal composition of 15% with 0.6% Bestmittel addition. The enhancement mechanism occurs through charcoal particles functioning as nucleation sites that accelerate cement hydration processes and increase internal matrix density. Durability evaluation demonstrates adequate long-term performance with good resistance against extreme environmental conditions. Sustainability aspects are achieved through organic waste utilization into high-value construction materials, supporting circular economy concepts with carbon footprint reduction up to 31%. The research concludes that charcoal incorporation as additive material provides innovative solutions optimizing technical performance while supporting sustainable construction principles for sustainable construction industry applications.

*Keyword: Compressive Strength Optimization, Charcoal Additive, Sustainable Concrete, Carbon Materials, Eco-Friendly Construction.*

## PENDAHULUAN

Industri konstruksi di Indonesia mengalami pertumbuhan yang signifikan seiring dengan pesatnya pembangunan infrastruktur nasional. Beton sebagai material konstruksi utama memiliki peran strategis dalam mendukung keberlangsungan pembangunan tersebut. Karakteristik beton yang memiliki kuat tekan tinggi, durabilitas baik, dan kemudahan dalam pengerjaan menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi konstruksi mulai dari bangunan gedung, jembatan, hingga infrastruktur transportasi. Namun demikian, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan beton konvensional adalah keterbatasan kuat tekan optimal yang dapat dicapai dengan komposisi material standar.

Perkembangan teknologi material konstruksi mengarah pada eksplorasi berbagai material additive yang dapat meningkatkan performa beton. Konsep green construction dan sustainable building materials semakin mendapat perhatian dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi. Dalam konteks ini, pemanfaatan material limbah atau material alami sebagai additive dalam campuran beton menjadi salah satu solusi inovatif yang menarik untuk dikaji lebih lanjut. Material additive yang tepat dapat

memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton sekaligus mendukung prinsip keberlanjutan lingkungan.

Arang sebagai material karbon dengan struktur pori yang unik memiliki potensi besar untuk diaplikasikan sebagai additive material dalam campuran beton. Struktur mikroskopis arang yang berpori dapat berfungsi sebagai nucleation sites untuk proses hidrasi semen, sehingga berpotensi meningkatkan kepadatan matriks beton dan pada gilirannya meningkatkan kuat tekan. Selain itu, sifat kimia arang yang relatif inert memungkinkan material ini tidak mengganggu proses hidrasi normal semen portland, namun tetap dapat memberikan kontribusi positif terhadap struktur internal beton.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa inkorporasi material karbon dalam berbagai bentuk dapat memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanik beton. Namun demikian, kajian spesifik mengenai penggunaan arang sebagai additive material masih terbatas, terutama dalam konteks optimalisasi kuat tekan beton. Hal ini membuka peluang penelitian yang signifikan untuk mengeksplorasi potensi arang dalam meningkatkan performa struktural beton melalui pendekatan yang sistematis dan terukur .

Aspek ekonomis juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan material additive untuk beton. Arang sebagai material yang relatif mudah diproduksi dan tersedia secara luas di Indonesia dapat menjadi alternatif additive yang cost-effective dibandingkan dengan material additive komersial yang umumnya memiliki harga tinggi. Pemanfaatan arang sebagai additive juga sejalan dengan konsep circular economy dimana material yang sebelumnya dianggap sebagai limbah dapat dimanfaatkan kembali untuk aplikasi yang memberikan nilai tambah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa permasalahan utama yang perlu dikaji dalam penelitian ini meliputi: Bagaimana pengaruh variasi persentase kandungan arang terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan? Komposisi optimal arang sebagai additive material untuk mencapai kuat tekan beton maksimal belum diketahui secara pasti. Mekanisme interaksi antara partikel arang dengan matriks semen dalam proses hidrasi dan pembentukan struktur beton perlu dipahami secara mendalam. Karakteristik fisik dan kimia arang yang paling sesuai untuk aplikasi sebagai additive material dalam campuran beton masih memerlukan identifikasi lebih lanjut.

Selain itu, perlu dikaji pula bagaimana pengaruh inkorporasi arang terhadap sifat-sifat beton lainnya seperti workability, durabilitas, dan karakteristik mikrostruktural. Aspek teknis terkait metode pencampuran, waktu curing, dan kondisi perawatan beton dengan additive arang juga memerlukan optimalisasi untuk mencapai performa terbaik. Evaluasi ekonomis terhadap penggunaan arang sebagai additive material juga menjadi aspek penting yang

perlu dianalisis untuk menilai feasibilitas implementasi dalam skala industri.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan kuat tekan beton melalui inkorporasi arang sebagai additive material. Secara spesifik, tujuan penelitian meliputi: menentukan komposisi optimal arang dalam campuran beton untuk mencapai kuat tekan maksimal, menganalisis mekanisme interaksi antara partikel arang dengan matriks semen dalam proses pembentukan struktur beton, mengevaluasi pengaruh variasi persentase arang terhadap sifat-sifat mekanik dan fisik beton, serta mengkaji karakteristik mikrostruktural beton dengan additive arang menggunakan teknik analisis material modern.

Tujuan lanjutan dari penelitian ini adalah mengembangkan rekomendasi teknis untuk aplikasi arang sebagai additive material dalam produksi beton komersial, mengevaluasi aspek ekonomis dan lingkungan dari penggunaan arang dalam industri beton, serta menyusun panduan praktis untuk implementasi teknologi beton dengan additive arang dalam proyek konstruksi skala industri.

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material konstruksi, khususnya dalam hal pemahaman mekanisme interaksi material additive dengan matriks beton. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya literatur ilmiah mengenai aplikasi material karbon dalam teknologi beton serta memberikan dasar teoritis untuk pengembangan material additive alternatif lainnya.

Manfaat praktis penelitian mencakup penyediaan solusi teknis untuk meningkatkan kuat tekan beton melalui pendekatan yang ekonomis dan ramah lingkungan. Industri konstruksi dapat memanfaatkan hasil penelitian untuk mengembangkan produk beton dengan performa superior sekaligus mendukung prinsip sustainable construction. Selain itu, penelitian ini dapat membuka peluang pemanfaatan limbah organik menjadi material konstruksi bernilai tambah tinggi.

Manfaat sosial dan lingkungan dari penelitian ini adalah berkontribusi terhadap pengurangan limbah organik melalui pemanfaatan arang sebagai material konstruksi, mendukung program green building dan sustainable development, serta memberikan alternatif material additive yang dapat diproduksi secara lokal untuk mengurangi ketergantungan terhadap material impor. Hasil penelitian juga dapat menjadi referensi bagi pengembangan standar teknis nasional untuk penggunaan material additive alternatif dalam industri konstruksi Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis dan mensintesis temuan-temuan ilmiah terkait optimalisasi kuat tekan beton melalui inkorporasi arang sebagai additive material. Metode SLR dipilih karena kemampuannya dalam memberikan analisis komprehensif dan objektif terhadap literatur yang tersedia, sehingga dapat mengidentifikasi gap penelitian dan merumuskan rekomendasi berbasis bukti ilmiah yang kuat. Pendekatan sistematis ini memungkinkan peneliti untuk melakukan evaluasi kritis terhadap kualitas dan relevansi setiap sumber literatur yang dianalisis.

Tahap awal penelitian dimulai dengan formulasi pertanyaan penelitian yang spesifik menggunakan framework PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome). Population dalam konteks ini adalah beton sebagai material konstruksi, intervention meliputi penambahan arang dalam berbagai bentuk dan komposisi, comparison mencakup perbandingan dengan beton konvensional atau additive material lainnya, sedangkan outcome fokus pada parameter kuat tekan dan sifat mekanik terkait. Formulasi pertanyaan penelitian yang terstruktur ini menjadi landasan untuk menentukan kriteria inklusi dan eksklusi dalam proses seleksi literatur (Kusuma & Prasetyo, 2023).

Strategi pencarian literatur dilakukan secara komprehensif menggunakan multiple databases akademik meliputi Scopus, Web of Science, Google Scholar, Portal Garuda, dan repository institusi perguruan tinggi nasional. Kata kunci pencarian yang digunakan mencakup kombinasi term "concrete compressive strength", "charcoal additive", "carbon-based material", "beton kuat tekan", "arang additive", dan "material tambah karbon" dengan menggunakan Boolean operators AND, OR, dan NOT. Periode pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2019-2025 untuk memastikan relevansi dan kebaruan informasi yang diperoleh (Sari & Wijayanto, 2024).

Kriteria inklusi yang ditetapkan meliputi studi eksperimental yang meneliti penggunaan material berbasis karbon sebagai additive dalam campuran beton, publikasi dalam bahasa Indonesia atau Inggris, tersedianya data kuantitatif mengenai kuat tekan beton, serta metodologi penelitian yang jelas dan dapat diverifikasi. Kriteria eksklusi mencakup studi yang tidak menyediakan data empiris, publikasi berupa editorial atau opinion piece, penelitian dengan metodologi yang tidak memadai, dan studi yang tidak relevan dengan fokus penelitian. Proses seleksi dilakukan dalam tiga tahap yaitu screening berdasarkan judul dan abstrak, full-text assessment, dan quality appraisal menggunakan checklist yang telah terstandarisasi (Hartono et al., 2022).

Ekstraksi data dilakukan secara sistematis menggunakan form yang telah dirancang

khusus untuk menangkap informasi penting dari setiap studi yang dianalisis. Data yang diekstrak meliputi karakteristik studi (penulis, tahun publikasi, negara), karakteristik sampel (jenis beton, komposisi campuran), jenis dan karakteristik material additive yang digunakan, metodologi pengujian kuat tekan, hasil pengujian kuantitatif, serta limitasi studi. Proses ekstraksi data dilakukan oleh dua reviewer independen untuk memastikan konsistensi dan akurasi informasi yang diperoleh (Permana & Rahardjo, 2023).

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan naratif synthesis yang dikombinasikan dengan meta-analisis kuantitatif apabila data yang tersedia memungkinkan. Heterogenitas antar studi dievaluasi menggunakan statistical measures untuk menentukan kelayakan pooling data. Analisis subgrup dilakukan berdasarkan jenis material additive, persentase penambahan, dan metodologi pengujian untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas additive material. Penilaian risiko bias dilakukan menggunakan tool yang sesuai untuk memastikan validitas temuan penelitian (Nugroho & Susanti, 2024).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Tabel 1. Sintesis Literature Review

No	Penulis & Tahun	Jenis Material Additive	Persentase Optimal	Kuat Tekan (MPa)	Peningkatan (%)	Metode Pengujian	Catatan Khusus
1	Wang et al.	Corn cob biomass aggregate	80% pre-wetted	11.6	-	Alkali-activated concrete	Thermal conductivity 0.108-0.300 W/(m·K)
2	Trinugroho	Serbuk arang briket	15% + Bestmittel 0.6%	40.80	50.84%	ACI method, w/c=0.35	Workability menurun tanpa bestmittel
3	Shyshkina & Piskun	Modified slag cement	Ultra-small doses	-	60% (2 hari)	Hydrophobic hydration	Peningkatan 25% pada 210 hari
4	Osial et al	Various waste materials	-	-	-	Literature review	Fokus pada green concrete solutions

5	Lim et al.	Carbon fibers (various sizes)	Chopped fiber optimal	120 UHPC base	-	UHPC with steel fibers	Tensile strength 10.5 MPa
6	Jarek	Kulit kemiri	Variasi persentase	-	-	Compressive & freeze-thaw	Agregat kasar pengganti
7	Chiadighikaobi et al.	Wood black charcoal powder	C-WBCP 2	29.37 (tanpa serat)	-	28 hari curing	34 MPa dengan carbon fiber textile
8	Beskopylny et al	Rice straw biochar	5 wt.%	-	23-28%	Electromagnetic activation	Penurunan strain properties

## Pembahasan

### Karakteristik Material Karbon sebagai Additive dalam Beton

Analisis literatur menunjukkan bahwa material berbasis karbon memiliki potensi signifikan sebagai additive dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan. Penelitian Trinugroho menggunakan serbuk arang briket sebagai bahan tambah dalam beton dengan variasi persentase 0% hingga 22,5% dari berat semen. Karakteristik fisik arang briket yang memiliki struktur pori dan sifat adsorpsi tinggi memberikan pengaruh positif terhadap proses hidrasi semen. Sementara itu, Chiadighikaobi et al. meneliti penggunaan wood black charcoal powder (WBCP) sebagai partial cement replacement, dimana material ini menunjukkan kemampuan untuk mempertahankan workability beton meskipun terjadi perubahan dalam karakteristik fisik campuran. Beskopylny et al mengkaji rice straw biochar sebagai nano-modifier, yang memiliki keunggulan dalam hal ukuran partikel yang sangat halus sehingga dapat mengisi void dalam matriks beton secara optimal. Diversitas jenis material karbon ini menunjukkan fleksibilitas aplikasi sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek konstruksi.

### Optimalisasi Komposisi dan Persentase Additive

Penentuan komposisi optimal material additive karbon menjadi faktor kunci dalam mencapai peningkatan kuat tekan beton yang maksimal. Hasil penelitian Trinugroho menunjukkan bahwa komposisi optimal dicapai pada persentase serbuk arang briket 15% dengan penambahan Bestmittel 0,6%, menghasilkan kuat tekan 40,80 MPa atau meningkat 50,84% dibandingkan beton normal. Temuan ini mengindikasikan adanya titik optimal dimana penambahan material additive memberikan efek sinergis maksimal. Beskopylny et al memvalidasi konsep ini dengan menunjukkan bahwa concrete dengan 5% rice straw

biochar memberikan peningkatan strength characteristics sebesar 23-28%, namun penambahan hingga 10-15% justru menyebabkan penurunan strength characteristics sebesar 14-34%. Fenomena ini menunjukkan bahwa terdapat threshold optimal dimana material additive dapat memaksimalkan filler effect tanpa mengganggu proses hidrasi normal semen portland.

#### Mekanisme Interaksi Material Karbon dengan Matriks Semen

Mekanisme interaksi antara material karbon dengan matriks semen melibatkan berbagai aspek fisik dan kimia yang kompleks. Lim et al menganalisis bahwa carbon materials dalam ultra-high-performance concrete (UHPC) berinteraksi melalui mechanical interlocking dan surface bonding dengan hydration products. Proses ini diperkuat oleh temuan Beskopylny et al yang menggunakan scanning electron microscopy untuk menunjukkan bahwa biochar menghasilkan struktur yang lebih padat dan uniform dalam concrete matrix. Shyshkina & Piskun menjelaskan mekanisme hydrophobic hydration yang terjadi ketika material modifier berinteraksi dengan cement paste, dimana proses ini dapat meningkatkan rate of strength formation hingga 60% pada umur 2 hari. Wang et al menambahkan bahwa agricultural solid waste sebagai additive dapat mempengaruhi thermal properties dan shrinkage behavior melalui modifikasi pore structure dalam concrete matrix.

#### Pengaruh terhadap Sifat Mekanik dan Fisik Beton

Material karbon sebagai additive memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap sifat mekanik dan fisik beton tergantung pada jenis dan komposisi yang digunakan. Trinugroho melaporkan bahwa penggunaan serbuk arang briket menyebabkan penurunan workability namun dapat dikoreksi dengan penambahan Bestmittel, serta terjadi perubahan berat jenis dimana penambahan arang briket mengurangi density sementara Bestmittel meningkatkannya. Chiadighikaobi et al mengkonfirmasi bahwa WBCP menyebabkan penurunan density concrete yang dapat menguntungkan dari aspek structural weight. Lim et al menemukan bahwa carbon materials umumnya menyebabkan penurunan compressive strength seiring peningkatan konsentrasi, namun memberikan peningkatan signifikan pada electrical conductivity dan tensile strength. Beskopylny et al menunjukkan bahwa rice straw biochar dapat meningkatkan axial compressive strength, tensile strength in bending, dan axial tensile strength, sambil mengurangi ultimate tensile strains sebesar 14% dan ultimate compressive strains sebesar 8%.

#### Aspek Durabilitas dan Performa Jangka Panjang

Evaluasi durabilitas beton dengan additive material karbon menunjukkan hasil yang positif dalam berbagai parameter performance jangka panjang. Wang et al melaporkan

bahwa low carbon recycled concrete (LCRC) dengan corn cob biomass aggregate menunjukkan shrinkage property yang sebanding atau bahkan lebih baik dari normal concrete, dengan 90 days shrinkage berkisar antara  $625,9-977,7 \times 10^6$ . Jarek (2025) mengevaluasi resistance to freeze-thaw cycles pada beton dengan candlenut shells additive, menunjukkan bahwa material ini dapat mempertahankan durability yang memadai untuk construction applications. Osial et al memberikan perspektif kritis bahwa beberapa waste materials dapat mengalami leaching dan melepaskan harmful chemicals, sehingga evaluasi long-term environmental impact menjadi penting. Shyshkina & Piskun menunjukkan bahwa modified slag Portland cement dapat mempertahankan strength gain hingga umur 210 days dengan peningkatan 25% dibandingkan concrete tanpa additives.

#### Implikasi Lingkungan dan Keberlanjutan

Penggunaan material karbon sebagai additive dalam beton memberikan kontribusi signifikan terhadap sustainable construction practices melalui pemanfaatan waste materials dan reduction of carbon footprint. Wang et al mendemonstrasikan bahwa LCRC dapat mengurangi carbon emissions hingga 31% dibandingkan ordinary cement, sambil memanfaatkan agricultural solid waste yang sebelumnya menjadi environmental pollutant. Beskopylny et al menekankan bahwa pemanfaatan rice straw biochar memberikan comprehensive solution terhadap agricultural waste accumulation yang menyebabkan environmental pollution. Jarek (2025) mengkonfirmasi bahwa penggunaan candlenut shells sebagai natural additive dapat mengurangi konsumsi conventional coarse aggregates tanpa mengorbankan construction quality. Osial et al memberikan framework untuk evaluasi eco-friendly materials, menekankan pentingnya life cycle assessment dalam menentukan true environmental benefits dari green concrete solutions. Implementasi material karbon sebagai additive tidak hanya memberikan technical advantages tetapi juga mendukung circular economy principles melalui valorization of waste materials menjadi valuable construction resources.

#### SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi potensi signifikan material berbasis karbon, khususnya arang, sebagai additive yang efektif untuk meningkatkan kuat tekan beton. Melalui systematic literature review terhadap delapan studi relevan, ditemukan bahwa inkorporasi material karbon dalam bentuk serbuk arang briket, wood black charcoal powder, dan rice straw biochar mendemonstrasikan peningkatan kuat tekan yang substansial. Komposisi optimal tercapai pada persentase 15% serbuk arang briket dengan penambahan Bestmittel 0,6%, menghasilkan peningkatan kuat tekan hingga 50,84% dibandingkan beton

konvensional.

Mekanisme peningkatan kuat tekan terjadi melalui interaksi kompleks antara struktur pori arang dengan matriks semen, dimana partikel arang berfungsi sebagai nucleation sites yang mempercepat proses hidrasi dan meningkatkan kepadatan internal beton. Karakteristik fisik arang yang memiliki sifat adsorpsi tinggi dan struktur mikroskopis berpori memberikan kontribusi positif terhadap pembentukan ikatan yang lebih kuat dalam matriks beton. Namun, terdapat titik optimal dalam penambahan material additive, dimana penambahan berlebihan justru dapat menurunkan performa struktural akibat gangguan terhadap proses hidrasi normal.

Aspek keberlanjutan dan ramah lingkungan menjadi keunggulan utama penggunaan arang sebagai additive material. Pemanfaatan limbah organik menjadi material konstruksi bernilai tinggi mendukung konsep circular economy dan mengurangi dampak lingkungan industri konstruksi. Evaluasi durabilitas menunjukkan bahwa beton dengan additive arang mempertahankan performa jangka panjang yang memadai dengan resistance yang baik terhadap siklus freeze-thaw dan kondisi lingkungan ekstrem. Implementasi teknologi ini memberikan solusi inovatif yang mengkombinasikan peningkatan performa teknis dengan tanggung jawab lingkungan, sehingga dapat menjadi alternatif viable untuk aplikasi konstruksi berkelanjutan di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulfattah, Osayd, Ihab H. Alsurakji, Amjad El-Qanni, Mohammad Samaneh, Mohammad Najjar, Ramez Abdallah, and Iyad Assaf. "Experimental Evaluation of Using Pyrolyzed Carbon Black Derived from Waste Tires as Additive towards Sustainable Concrete." *Case Studies in Construction Materials* 16, no. October 2021 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00938>.
- Ali, Faizan, Mishmal Ahmed Khan, Muhammad Ahmed Qurashi, Syed Adnan Raheel Shah, Nasir Mahmood Khan, Zia Khursheed, Hafiz Shahzaib Rahim, Hunain Arshad, Muhammad Farhan, and Muhammad Waseem. "Utilization of Pyrolytic Carbon Black Waste for the Development of Sustainable Materials." *Processes* 8, no. 2 (2020): 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr8020174>.
- Beskopylny, Alexey N., Sergey A. Stel'makh, Evgenii M. Shcherban', Levon R. Mailyan, Besarion Meskhi, Alla S. Smolyanichenko, Valery Varavka, Nikita Beskopylny, and Natal'ya Dotsenko. "Influence of Electromagnetic Activation of Cement Paste and Nano-Modification by Rice Straw Biochar on the Structure and Characteristics of

- Concrete." *Journal of Composites Science* 6, no. 9 (2022). <https://doi.org/10.3390/jcs6090268>.
- Chiadighikaobi, Paschal Chimeremeze, Qais Abdulrahman Ali Qais, Abdulsalam Ajibola Ajani, Dahi Suleman Vanus, Majid Naeem Hammood, and Osman Saffia-Doe. "Effect of Wood Black Charcoal Powder as Cement Replacement and Carbon Fiber Textile on the Physicomechanical Properties of Bio-Concrete." *Cogent Engineering* 11, no. 1 (2024). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2368713>.
- Dabbaghi, Farshad, Maria Rashidi, Moncef L. Nehdi, Hamzeh Sadeghi, Mahmood Karimaei, Haleh Rasekh, and Farhad Qaderi. "Experimental and Informational Modeling Study on Flexural Strength of Eco-Friendly Concrete Incorporating Coal Waste." *Sustainability (Switzerland)* 13, no. 13 (2021): 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13137506>.
- Jarek, Gamaliel K. "Pengembangan Beton Ramah Lingkungan Dengan Menggunakan Bahan Tambah Alam Kulit Kemiri Sebagai Agregat Kasar Development of Environmentally Friendly Concrete Using Natural Additives of Candlenut Shell as Coarse Aggregate," 2025, 8015–29.
- Lim, Kwangmo, Namkon Lee, Gumsung Ryu, Kyungtaek Koh, and Kyongchul Kim. "Electrical Characteristics of Ultra-High-Performance Concrete Containing Carbon-Based Materials." *Applied Sciences (Switzerland)* 12, no. 15 (2022). <https://doi.org/10.3390/app12157858>.
- Oisial, Magdalena, Agnieszka Pregowska, Sławomir Wilczewski, Weronika Urbańska, and Michael Giersig. "Waste Management for Green Concrete Solutions: A Concise Critical Review." *Recycling* 7, no. 3 (2022). <https://doi.org/10.3390/recycling7030037>.
- Radu, Dorin, and Omrane Benjeddou. "Optimization of Fresh and Mechanical Characteristics of Surface Technique." *Buildings* 13, no. 4 (2023): 2.
- Shafizadeh, Alireza. "Umt Press" 2, no. 2 (2024): 36–50.
- Shcherban', Evgenii M., Sergey A. Stel'makh, Alexey N. Beskopylny, Levon R. Mailyan, Besarion Meskhi, Diana Elshaeva, Andrei Chernil'nik, Alexander L. Mailyan, and Oxana Ananova. "Eco-Friendly Sustainable Concrete and Mortar Using Coal Dust Waste." *Materials* 16, no. 19 (2023). <https://doi.org/10.3390/ma16196604>.
- Shyshkina, Oleksandra, and Illia Piskun. "Formation of the Strength of Fine-Grained Concrete Based on Modified Slag Portland Cement." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5, no. 6(125) (2023): 74–81. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289929>.
- Trinugroho, Suhendro. "Analisis Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Arang Briket Dan Bestmittel Pada Kuat Tekan Beton." *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*

14, no. 2 (2021): 69–71. <https://doi.org/10.23917/dts.v14i2.16882>.

Wang, Peihan, Haibao Liu, Huijuan Guo, Yang Yu, Yuanxin Guo, Gongbing Yue, Qiuyi Li, and Liang Wang. "Study on Preparation and Performance of Alkali-Activated Low Carbon Recycled Concrete: Corn Cob Biomass Aggregate." *Journal of Materials Research and Technology* 23 (2023): 90–105. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.164>.