

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW PENGARUH CURING CONDITION EKSTREM PADA MUTU BETON DAN IMPLIKASINYA TERHADAP DURABILITAS STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DI DAERAH TROPIS

Destria Syahfitri

Al-Azhar Medan

Email: riahasbi7@gmail.com

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi utama dalam pembangunan infrastruktur bangunan bertingkat karena keunggulan kuat tekan dan durabilitasnya. Namun, efektivitas proses perawatan (curing) sangat rentan terhadap kondisi lingkungan ekstrem di wilayah beriklim tropis, seperti suhu tinggi, kelembaban rendah, dan fluktuasi cuaca buruk. Kondisi ini dapat mengganggu proses hidrasi semen, memicu keretakan plastis, meningkatkan porositas, serta menurunkan kuat tekan beton akhir hingga 20–40%. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis secara komprehensif tren serta dampak dari kondisi curing ekstrem terhadap mutu beton dan implikasinya pada durabilitas jangka panjang struktur bangunan bertingkat di daerah tropis. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) terstruktur dengan melakukan penyaringan, seleksi, dan analisis terhadap data publikasi ilmiah periode 2021–2026 yang bersumber dari database Scopus. Analisis bibliometrik dan pemetaan visual dilakukan menggunakan aplikasi VOSviewer dan R-Studio. Hasil pemetaan kata kunci (co-occurrence) menunjukkan bahwa isu perubahan iklim (climate change) dan pembangunan berkelanjutan (sustainable development) mendominasi fokus riset di kawasan tropis. Sementara itu, analisis co-authorship mengindikasikan bahwa jaringan kolaborasi antarpemeliti pada topik ini masih terfragmentasi dalam kelompok-kelompok kecil. Temuan sintesis literatur mengonfirmasi bahwa curing yang buruk mempercepat degradasi struktur akibat karbonasi dan korosi tulangan. Sebagai solusi keterbatasan literatur (research gap), penelitian ini mengusulkan pengembangan model optimasi mutu beton berbasis sistem ternary cementitious dengan aktivasi kimia yang adaptif terhadap iklim tropis.

Kata Kunci: Beton, Curing Condition Ekstrem, Durabilitas Struktur, Bangunan Bertingkat, Iklim Tropis.

ABSTRACT

Concrete is the primary construction material used in high-rise building infrastructure due to its superior compressive strength and durability. However, the effectiveness of the curing process is highly vulnerable to extreme environmental conditions in tropical regions, such as high temperatures, low humidity, and weather fluctuations. These conditions disrupt the cement hydration process, induce plastic shrinkage cracking, increase porosity, and reduce the final concrete compressive strength by 20–40%. This study aims to identify, evaluate, and comprehensively synthesize the trends and impacts of extreme curing conditions on concrete quality and its long-term durability implications for high-rise buildings in tropical areas. The methodology employs a structured Systematic Literature Review (SLR) to screen, select, and analyze scientific publications from the Scopus database spanning 2021–2026. Bibliometric analysis and visual mapping were conducted using VOSviewer and R-Studio. Keyword co-occurrence mapping reveals that climate change and sustainable development issues dominate tropical research contexts. Meanwhile, co-authorship analysis indicates that the collaboration network among researchers on this topic remains fragmented into isolated small clusters. The literature synthesis confirms that inadequate curing accelerates structural degradation via carbonation and reinforcement corrosion. To address the identified research gaps, this study proposes a concrete quality optimization model based on an chemically activated ternary cementitious system adaptive to real tropical climates to extend the service life of high-rise structures

Keywords: Concrete, Extreme Curing Condition, Structural Durability, High-Rise Building,

1. PENDAHULUAN

Menurut (Mehta & Monteiro, 2014), mutu beton didefinisikan sebagai kemampuan beton untuk memenuhi persyaratan kekuatan, durabilitas, dan kinerja yang dibutuhkan dalam kondisi penggunaan tertentu. Faktor-faktor yang memengaruhi mutu beton sangat kompleks, mencakup kualitas material pembentuk, proporsi campuran, metode pelaksanaan, dan kondisi perawatan (curing). (Neville, 2011) menegaskan bahwa kuat tekan merupakan indikator mutu beton yang paling umum digunakan, meskipun sifat-sifat lain seperti permeabilitas dan modulus elastisitas juga sangat penting.

Ultra High Performance Concrete (UHPC) merupakan generasi terbaru beton yang mampu mencapai kuat tekan di atas 150 MPa, bahkan hingga 800 MPa untuk beberapa formulasi khusus (Aïtcin & Wilson, 2015) menggambarkan perkembangan UHPC sebagai revolusi dalam teknologi beton yang membuka kemungkinan konstruksi bangunan pencakar langit yang lebih ramping dan efisien. Mutu beton tidak hanya ditentukan oleh kuat tekan awal, tetapi juga oleh kemampuannya bertahan dalam jangka panjang terhadap berbagai faktor degradasi (Papadakis et al., 2013).

Menurut (Okamura dan Ouchi, 2003) Beton Self-Compacting (SCC) adalah inovasi yang memungkinkan beton mengalir dan mengisi bekisting secara otomatis tanpa perlu pemadatan mekanis, sekaligus mempertahankan homogenitas dan stabilitas campuran. (Gesoglu et al., 2009) menyelidiki sifat-sifat SCC dengan berbagai kombinasi bahan sementir (binary, ternary, dan quaternary blend) dan menemukan bahwa kombinasi fly ash, silica fume, dan slag dapat menghasilkan SCC dengan kuat tekan yang kompetitif dibandingkan beton konvensional. Kondisi curing sering kali tidak ideal, terutama pada lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi (iklim tropis), suhu rendah, atau kondisi kering dengan evaporasi tinggi. Kondisi curing ekstrem ini dapat menyebabkan gangguan pada proses hidrasi, meningkatkan porositas, serta memicu retak dini yang pada akhirnya menurunkan kuat tekan dan durabilitas beton (Neville, 2011). Dengan kualitas beton yang baik maka diperoleh keunggulan antara lain mampu menahan gaya tekan dengan optimal, tahan api dan aus, mudah dibentuk, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca (Mahardana et al., 2023).

2. METODOLOGI

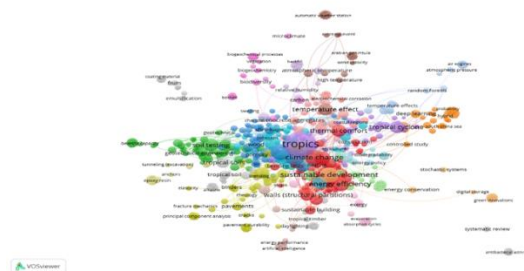
Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, menganalisis dampaknya terhadap mutu beton dan mensintesis penelitian terkait. Metode ini bersifat deskriptif-kualitatif dan kuantitatif terapan, dengan tujuan menghasilkan kerangka analisis berbasis literatur yang diperkuat dengan pemetaan proses aktual. Pendekatan integratif ini dipilih karena curing beton terbukti efektif dalam mengidentifikasi pengaruh berbagai kondisi curing ekstrem, menganalisis dampaknya terhadap mutu beton, mengevaluasi implikasinya terhadap durabilitas struktur bangunan bertingkat. Pendekatan SLR digunakan untuk memetakan tren penelitian, metode, serta gap riset terkait Concrete, Curing condition, dan Material struktur beton bangunan bertingkat (Li et al., 2025; Sun et al., 2025). Metode Systematic Literature Review (SLR) digunakan untuk melakukan sintesis ilmiah secara sistematis terhadap penelitian terdahulu sehingga mampu mengidentifikasi perkembangan penelitian, tren publikasi, serta kesenjangan penelitian pada topik tertentu (Siregar et al., 2026). Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian pada bangunan bertingkat masih didominasi oleh wilayah beriklim sedang, sementara kajian yang berfokus pada kondisi tropis, termasuk Indonesia, masih terbatas, kondisi ini membuka peluang penelitian lebih lanjut terkait pengaruh curing ekstrem terhadap mutu dan durabilitas beton pada bangunan bertingkat di daerah tropis (Siregar et al., 2026). (Hasrudy Siregar & Fadillah

Nasution, 2025) menjelaskan bahwa sistem yang diteliti merepresentasikan kawasan permukiman padat di wilayah urban tropis, sehingga menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tropis menjadi faktor penting dalam perencanaan dan optimasi sistem infrastruktur bangunan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Co-occurrence (Kata Kunci)

Analisis co-occurrence digunakan untuk mengetahui hubungan antar kata kunci berdasarkan frekuensi kemunculan bersama dalam artikel ilmiah. Pada visualisasi VOSviewer di atas, setiap lingkaran (node) merepresentasikan kata kunci, sedangkan garis penghubung menunjukkan keterkaitan antar kata kunci dalam publikasi yang dianalisis. Semakin besar ukuran node, maka semakin sering kata kunci tersebut muncul. Sementara itu, semakin dekat jarak antar node menunjukkan hubungan yang semakin kuat.



Gambar 1. Visualisasi Co-occurrence Keywords (*network visualization*)

Sumber : Aplikasi VosViewer, 2022

Berdasarkan hasil visualisasi, kata kunci **“tropics”** menjadi pusat jaringan dengan ukuran node terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian yang dianalisis sangat berfokus pada wilayah tropis sebagai konteks utama kajian. Kata kunci ini memiliki hubungan kuat dengan beberapa topik utama seperti **“climate change”**, **“sustainable development”**, **“energy efficiency”**, **“thermal comfort”**, dan **“tropical cyclone”**. Keterkaitan tersebut menunjukkan bahwa isu pembangunan berkelanjutan dan perubahan iklim menjadi tema dominan dalam penelitian di kawasan tropis.

Beberapa interpretasi utama dari network visualization adalah sebagai berikut:

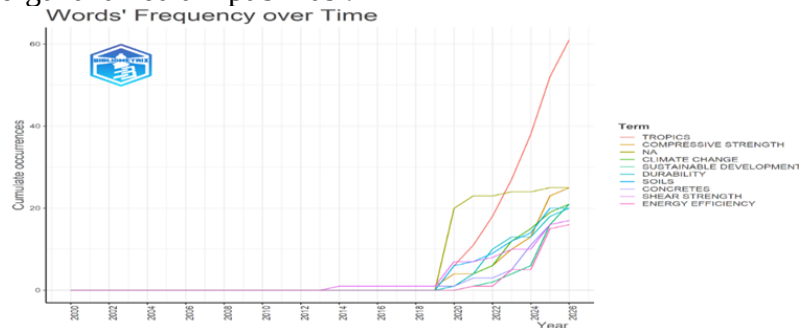
Klaster Merah: Berpusat pada kata kunci *climate change*, *sustainable development*, dan *energy efficiency*. Klaster ini menunjukkan fokus penelitian pada pembangunan berkelanjutan, efisiensi energi, serta dampak perubahan iklim terhadap kawasan tropis.

Klaster Biru: Menghubungkan kata kunci seperti *concrete aggregates*, *shrinkage*, *wood*, dan *porosity*. Klaster ini berkaitan dengan penelitian material konstruksi dan karakteristik fisik bahan bangunan.

Klaster Hijau: Didominasi oleh *soil testing*, *geotechnical engineering*, dan *tropical soils*. Hal ini menunjukkan adanya perhatian besar terhadap kondisi tanah tropis dan pengujian geoteknik. **Klaster Ungu:** Terdiri dari kata kunci *thermal comfort* dan *tropical cyclone*. Klaster ini menunjukkan keterkaitan antara kenyamanan termal bangunan dan kondisi iklim ekstrem di daerah tropis.

Klaster Oranye: Berisi kata kunci *deep learning*, *random forests*, dan *probability*, yang menandakan mulai berkembangnya penggunaan metode kecerdasan buatan dan machine learning dalam penelitian terkait iklim dan konstruksi. Secara keseluruhan, network visualization menunjukkan bahwa penelitian pada kawasan tropis berkembang ke arah integrasi antara pembangunan berkelanjutan, teknik sipil, lingkungan, dan teknologi digital.

Visualisasi *word cloud* digunakan untuk menampilkan kata kunci yang paling sering muncul dalam kumpulan data penelitian. Pada visualisasi ini, ukuran teks menunjukkan tingkat frekuensi kemunculan kata kunci. Semakin besar ukuran kata, maka semakin sering kata tersebut digunakan dalam publikasi.



Gambar 4. Visualisasi faktor frekuensi kata kunci berdasarkan waktu (*Words' Frequency Over Time*)

Sumber : Aplikasi Rstudio

Berdasarkan grafik, kata kunci **“TROPICS”** mengalami peningkatan paling signifikan mulai tahun 2021 hingga 2026. Pada tahun 2026, frekuensi kumulatifnya mencapai lebih dari 60 kemunculan, sehingga menunjukkan bahwa topik penelitian terkait wilayah tropis mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir.

Kata kunci **“NA”** dan **“COMPRESSIVE STRENGTH”** juga menunjukkan tren peningkatan yang cukup tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian mengenai kekuatan tekan material, terutama beton dan material konstruksi lainnya, masih menjadi fokus utama dalam penelitian teknik sipil.

Selain itu, beberapa kata kunci lain mengalami peningkatan secara bertahap, antara lain:

- ***Climate Change***
- ***Sustainable Development***
- ***Durability***
- ***Soils***
- ***Concretes***
- ***Shear Strength***
- ***Energy Efficiency***

Peningkatan kata kunci tersebut menunjukkan adanya pergeseran arah penelitian menuju isu keberlanjutan, ketahanan material, serta adaptasi infrastruktur terhadap perubahan iklim. Tren ini mencerminkan bahwa penelitian modern tidak hanya berorientasi pada kekuatan struktur, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi energi dan dampak lingkungan.

Grafik juga menunjukkan bahwa sebagian besar peningkatan frekuensi terjadi setelah tahun 2020. Hal ini menandakan bahwa penelitian terkait pembangunan berkelanjutan dan lingkungan tropis menjadi topik yang semakin relevan dan banyak dikaji dalam beberapa tahun terakhir.

4. SIMPULAN

1. Tren Penelitian Penelitian terkait pengaruh curing condition ekstrem pada mutu beton dan durabilitas struktur bangunan bertingkat di iklim tropis menunjukkan tren yang meningkat secara signifikan, dengan puncak publikasi terjadi pada tahun 2025 (108 dokumen). Hal ini mencerminkan meningkatnya urgensi global terhadap isu ketahanan infrastruktur di tengah perubahan iklim yang semakin intensif.

2. Pengaruh Kondisi Curing Ekstrem Kondisi curing yang tidak optimal di lingkungan tropis terbukti memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap mutu beton, di antaranya:
 - Suhu tinggi mempercepat proses hidrasi awal sehingga menghasilkan kekuatan awal yang lebih tinggi, namun menurunkan durabilitas jangka panjang akibat terbentuknya struktur pori yang tidak merata.
 - Kelembaban rendah memicu retak plastis (plastic shrinkage cracking) yang meningkatkan permeabilitas dan porositas beton.
 - Kondisi curing yang buruk secara keseluruhan dapat menurunkan kuat tekan akhir beton hingga 20–40% dibandingkan beton dengan perawatan optimal.
3. Implikasi terhadap Durabilitas Struktur Degradasi mutu beton akibat curing ekstrem berdampak langsung pada penurunan umur layan (service life) bangunan bertingkat. Peningkatan porositas dan permeabilitas beton mempercepat proses karbonasi dan korosi tulangan, yang pada akhirnya mengancam integritas struktural bangunan dalam jangka panjang. Temuan ini sangat kritis mengingat sebagian besar bangunan bertingkat di kawasan tropis dirancang untuk beroperasi selama 50–100 tahun.
4. Research Gap Teridentifikasi Analisis bibliometrik mengidentifikasi empat gap penelitian utama yang masih belum tertangani secara komprehensif dalam literatur yang ada, yaitu: (1) minimnya kajian integratif antara kondisi lingkungan ekstrem tropis dengan mutu dan durabilitas beton struktural; (2) terbatasnya penelitian tentang interaksi beton-tanah dalam kondisi tropis untuk fondasi bangunan tinggi; (3) belum tersedianya model optimasi berbasis sistem ternary cementitious yang adaptif terhadap iklim tropis; serta (4) tidak adanya studi gabungan yang mengevaluasi kuat tekan, durabilitas, dan jejak karbon secara simultan dalam satu kerangka penelitian terintegrasi.
5. Usulan Novelty Penelitian Sebagai respons atas kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan model optimasi mutu beton struktural berbasis sistem ternary cementitious (Fly Ash–Silica Fume–Slag) dengan aktivasi kimia menggunakan pendekatan Response Surface Methodology (RSM). Model ini dirancang untuk adaptif terhadap kondisi iklim tropis dan mampu mengevaluasi secara simultan kinerja mekanik, durabilitas, serta jejak karbon sebagai kontribusi nyata bagi konstruksi berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan temuan dan kesimpulan penelitian ini, beberapa rekomendasi diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Penelitian Eksperimental Lanjutan — Diperlukan penelitian eksperimental skala laboratorium dan lapangan yang secara khusus menguji performa sistem ternary cementitious (Fly Ash–Silica Fume–Slag) dalam kondisi curing yang merepresentasikan iklim tropis aktual Indonesia, termasuk variasi suhu, kelembaban, dan intensitas curah hujan.
2. Penerapan Metode Non-Destructive Testing (NDT) — Pengembangan protokol evaluasi mutu beton berbasis NDT perlu diperluas dan distandardisasi untuk konteks bangunan bertingkat di iklim tropis, mengingat metode ini belum banyak diintegrasikan dalam kajian yang ada.
3. Studi Kolaborasi Lintas Institusi — Mengingat jaringan co-authorship yang masih terfragmentasi, sangat disarankan adanya inisiasi kolaborasi antara peneliti dari Indonesia, Malaysia, India, dan negara tropis lainnya untuk menghasilkan data yang lebih representatif dan komprehensif.
4. Integrasi Life Cycle Assessment (LCA) — Penelitian selanjutnya diharapkan mengintegrasikan analisis LCA untuk mengukur jejak karbon dari berbagai alternatif

sistem cementitious, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan dalam industri konstruksi.

5. Pengembangan Standar Curing Tropis — Perlu adanya kajian kebijakan untuk merumuskan standar nasional curing beton yang spesifik terhadap kondisi iklim tropis Indonesia, sebagai panduan praktis bagi para praktisi di lapangan.
6. Pemanfaatan Kecerdasan Buatan — Mengingat munculnya klaster machine learning dalam pemetaan kata kunci, pengembangan model prediksi mutu beton berbasis AI dan deep learning sangat potensial untuk dikembangkan sebagai alat bantu optimasi dalam desain campuran beton tropis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Universitas Al-Azhar Medan atas dukungan akademik.

Penulis juga menyampaikan apresiasi yang tulus kepada para dosen pembimbing dan penguji atas bimbingan, masukan konstruktif, serta arahan ilmiah yang sangat berharga dalam membentuk kualitas penelitian ini.

Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan akademisi yang karyanya telah dikaji dalam penelitian ini. Kontribusi ilmiah mereka menjadi fondasi penting bagi pengembangan pengetahuan di bidang teknologi beton dan durabilitas struktur. Kepada seluruh pembaca artikel jurnal ini, penulis berharap temuan dan rekomendasi yang disajikan dapat memberikan manfaat nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan, praktik rekayasa sipil, serta pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan di kawasan tropis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abass, P. J., & Muthulingam, S. (2025). Energy-efficient concrete roofs for buildings: Integrating macroencapsulated nano-enhanced PCMs for hot climate adaptation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.105744>
- Ahn, H., Liu, J., Kim, D., Yin, R., Hong, T., & Piette, M. A. (2021). How can floor covering influence buildings' demand flexibility? *Energies*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/en14123658>
- Aitcin, P.-C., & Wilson, W. (2015). The sky's the limit. *Concrete International*, 37(1), 53–58.
- Anzum, R., Habaebi, M. H., Islam, M. R., Hakim, G. P. N., Khandaker, M. U., Osman, H., Alamri, S., & Abdelrahim, E. (2022). A Multiwall Path-Loss Prediction Model Using 433 MHz LoRa-WAN Frequency to Characterize Foliage's Influence in a Malaysian Palm Oil Plantation Environment. *Sensors*, 22(14). <https://doi.org/10.3390/s22145397>
- Ayyadurai, A., Saravanan, M. M., & Devi, M. (2023). Integrated method for waste water treatment using water hyacinth and its application in concrete. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 10(109), 1742–1757. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2022.10100384>
- Bentz, D. P. (2010). Blending different fineness cements to engineer the properties of cement-based materials. *Magazine of Concrete Research*, 62(5), 327–338. <https://doi.org/10.1680/mac.2010.62.5.327>
- Castañeda Valdés, A., Corvo Pérez, F., Pech Pech, I., Marrero Águila, R., & Bastidas-Arteaga, E. (2024). Durability Requirements for Reinforced Concrete Structures Placed in a Hostile Tropical Coastal Environment. *Buildings*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/buildings14082494>
- Fahim, M., Haris, M., Khan, W., & Zaman, S. (2022). Bamboo as a Construction Material: Prospects and Challenges. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(3), 165–175. <https://doi.org/10.12913/22998624/149737>
- Gesoglu, M., Guneyisi, E., & Ozbay, E. (2009). Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica

- fume. *Construction and Building Materials*, 23(5), 1847–1854. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.015>
- Hasrudy Siregar, Z., & Fadillah Nasution, A. (2025). Ethanol Reduces Emissions But Damages Engines? aSystematic Literature Review and Meta-Analysis ofPerformance, Emissions, and Technological Risks of 4-Stroke Motor Engines. *Jurnal Vorteks*, 06(01), 490–502. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v6i1.442>
- Hong, F., & Prozzi, J. (2025). Assessment of flooding impact on thin pavement structure in Texas coastal region. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 18, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2024.07.001>
- Li, S., Wang, M., Long, Y., Qin, M., Yu, S., & Sun, Y. (2025). Research on performance improvement of high slump concrete for continuously reinforced concrete pavement. *Cement Wapno Beton*, 30(1), 14–37. <https://doi.org/10.32047/cwb.2025.30.1.2>
- Mahardana, Z. B., Pambudi, W. R., Emilia, O. F., Fasyaro, R. F., Aprinia, A. D., Mustafa, D. T., & Induwati, M. (2023). Meningkatkan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Material Recycle Concrete Aggregate (RCA). *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.33084/mits.v11i1.3627>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education.
- Nguyen, T. N., & Grabovy, P. (2021). The research of moisture sorption characteristics in mineral wool under the Vietnamese climate conditions. In A. P., U. U., A. S., B. O., S. A., A. A., T. A., & D. A. (Eds.), *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1030, Number 1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012008>
- Okamura dan Ouchi. (2003). Self Compacting Concrete - research paper. In *Journal of Advanced Concrete Technology* (Vol. 1, Number 1, pp. 5–15).
- Papadakis, V. G., Vayenas, C. G., & Fardis, M. N. (2013). Experimental investigation and mathematical modeling of the concrete carbonation problem. *Chemical Engineering Science*, 46(5–6), 1333–1338.
- Pérez-Bella, J. M., Domínguez-Hernández, J., del Coz-Díaz, J. J., & Martínez-Martínez, J. E. (2022). Directional characterisation of annual and temporary exposure to rainwater penetration on building façades throughout Mexico. *Building and Environment*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108837>
- Putra, H. E., Prabowo, H., & Indriana, D. R. (2020). Decay Performance Modelingof Historic Timber Roof Structures of Amantubillah Palace in Mempawah, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 990(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/990/1/012004>
- Quoc Toan, N., Phuong, N. T. K., Van Tam, N., & Quoc Viet, L. (2026). From Biomimicry to Climate-Responsive Architecture: Prioritizing Bio-Based and Bio-Inspired Strategies for Sustainable Buildings in Tropical Monsoon Climates. *Buildings*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/buildings16040771>
- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low- $\{CO\}$ \$₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Shittu, R. A., Alhamadi, F., Sherief, M., AlFantazi, A., & Alkaabi, A. K. (2025). Factors Influencing the Radiation Shielding Capacity of Concrete Exposed to Aggressive Arid Environment: A Comprehensive Review. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00817-w>
- Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 923–932. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., & Lianto, Y. D. (2026). HIGH-RISE BUILDINGS : A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND SCOPUS-BASED PUBLICATION TRENDS (2000 – 2025). 07(01), 617–638. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v7i1.533>
- Souza, A. R., Veloso, R. C., Maia, J., Flores-Colen, I., & Ramos, N. M. M. (2024). Durability and

- performance of opaque high-reflectance envelope systems: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111350>
- Srivanit, M., & Jareemit, D. (2020). A comparison of diurnal variation of pavement albedo between vertical and horizontal surfaces under tropical climatic condition of Thailand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 910(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/910/1/012011>
- Sun, P., Wang, F., Zhang, H., & Jia, Q. (2025). Mechanism and Remediation of Landslides Due to Heavy Rainfall in Tropical Regions: A Case Study. In M. J., M. R., G. A., W. K., & S. M.R. (Eds.), *Advances in Transdisciplinary Engineering* (Vol. 79, pp. 646–652). IOS Press BV. <https://doi.org/10.3233/ATDE251043>
- Tan, J., Zheng, F., Cao, T., Huang, Y., & Wang, H. (2024). A New Perspective of the Spring Predictability Barrier Based on the Zonal Sea Level Pressure Gradient. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/jmse12091463>
- Wang, X.-Y. (2016). Effect of fly ash on properties evolution of cement based materials. *Construction and Building Materials*, 69, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.030>
- Zhao, J., Li, Y., Feng, G., Wang, L., Liu, B., & Lu, E. (2025). Stability Analysis of High Slopes in Open-Pit Mines Under Groundwater Seepage in a Tropical Rainforest Climate. *Advances in Civil Engineering*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/adce/4495525>