

Studi literature : Pengaruh Nano Alumina Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Alpri wisnuaji¹, Suhendro Trinugroho²,

¹ Department of civil engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta Indonesia

² Department of civil engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta Indonesia

 Alpriwisnuaji@gmail.com¹, st271@ums.ac.id²

Abstract

Literature review about Nano Alumina to illustrate that the application of Nano Alumina to High Volume concrete can be applied. The results of its application can affect the durability, workability and increase in concrete strength. In terms of concrete compressive strength, the use of Nano Alumina as a partial replacement for cement is increasing, the higher the compressive strength used in the concrete. So it can be concluded that the use of Nano Alumina in concrete makes it possible to apply or use it, this is the aim of the literature review research. Data collection was carried out by reviewing several journals related to Nano Alumina in the period between 2013-2023. Journal synthesis using several national and international journals obtained from the Google Scholar database using the Publish or Perish application.

Keywords: Nano Alumina ; High Volume Concrete ; Compressive Strength

Studi literature : Pengaruh Nano Alumina Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Abstrak

Tinjauan literature tentang Nano Alumina untuk menggambarkan bahwa aplikasi Nano Alumina pada beton High Volume dapat diterapkan. Hasil penerapannya dapat berpengaruh terhadap durability, workability, dan peningkatan kekuatan beton. Dari sisi kuat tekan beton, penggunaan Nano Alumina sebagai pengganti sebagian semen semakin meningkat, semakin tinggi kuat tekan yang digunakan pada beton tersebut. Sehingga dapat disimpulkan pemanfaatan Nano Alumina pada beton memungkinkan untuk diaplikasikan atau digunakan, hal ini merupakan tujuan dari penelitian kajian literature. Pengumpulan data dilakukan dengan meninjau beberapa jurnal terkait Nano Alumina dalam rentang waktu antara tahun 2013-2023. Sintesis jurnal menggunakan beberapa jurnal nasional dan internasional yang diperoleh dari database Google Scholar dengan menggunakan aplikasi Publish or Perish.

Kata kunci: Nano Alumina; Beton Mutu Tinggi; Kuat Tekan

1. Pendahuluan

Beton umumnya digunakan sebagai bahan konstruksi yang berbasis semen dan terdiri dari pasir dan Batu (kerikil). Menggunakan untuk membangun rumah, bangunan, jalan, jembatan, dan lainnya. Penggunaan beton sebagai bahan utama konstruksi di Indonesia sudah tidak diragukan lagi keunggulannya. Berbagai penelitian sudah banyak dilakukan untuk menemukan kekuatan beton itu sendiri. Salah satu upaya untuk menentukan kuat tekan beton yaitu dengan teknologi material nano.

Campuran nano partikel mampu meningkatkan kinerja beton salah satunya kuat tekan karena materialnya memungkinkan untuk pembuatan beton tanpa mengubah kandungan kimia material serta mengoptimalkan susunan material sampai didapatkan kepadatan material yang

sangat padat. Kepadatan ini dihasilkan melalui prinsip pengisian pori dengan material berbentuk ukuran nano meter.

Saat ini, banyak peneliti tertarik untuk mengeksplorasi penggunaan bahan tambahan dalam semen dengan berbagai kombinasi untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan. Salah satu pendekatan yang diterapkan adalah penambahan nano alumina, yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti bahan refraktori, otomotif, dan konstruksi sebagai komponen beton. Alumina dikenal memiliki sifat fisik yang menguntungkan, seperti ketahanan terhadap abrasi, konduktivitas listrik yang baik, dan ketahanan terhadap korosi.

Dalam bidang nanoteknologi, ukuran partikel didasarkan pada sifat material yang dipengaruhi yang berada di bawah skala nanometer (sekitar 10^{-9} meter). Baru-baru ini, perkembangan benda-benda berbasis nano telah mengurangi kebutuhan akan struktur tambahan karena berbagai karakteristik yang berasal dari nanoteknologi. Secara mendasar, ada peningkatan dalam pengendalian materi yang bersifat konseptual serta teknik yang digunakan. Nanoteknologi melibatkan pembuatan material baru dalam skala besar melalui manipulasi atau pemanfaatan material yang sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang besar dan reaktivitas yang tinggi, penambahan nanopartikel ke dalam beton semen telah menarik perhatian. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa nanopartikel meningkatkan sifat mekanik dari C-S-H, mengurangi porositas, dan mempengaruhi ketahanan dari matriks semen.

Penelitian selanjutnya bertujuan untuk menemukan metode yang paling cost-effective dan efisien dalam penggunaan material tersebut. Saat ini, penelitian difokuskan pada bagaimana bahan nano seperti nano-silika, nanoalumina, dan nanotube karbon memengaruhi berbagai aspek, seperti kekuatan tekan, ketahanan terhadap api, struktur pori, dan faktor-faktor lainnya dalam proses pemurnian semen. Jika produksi dan penggunaan semen yang mengandung nanopartikel dapat dilakukan dalam skala besar dengan biaya yang terjangkau, ini akan membawa kita ke era baru dalam pengembangan struktur beton yang lebih kuat dan tahan lama.

Penggunaan nano partikel ini bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik beton serta meningkatkan daya tahannya. Pendekatan nanoteknologi ini diharapkan dapat mengoptimalkan kekuatan tekan beton itu sendiri. Pentingnya penggunaan material nano ini adalah karena dapat meningkatkan kualitas matriks semen tanpa mengubah komposisi kimianya. Sejumlah penelitian dari tahun 2010 hingga 2023 telah meneliti penggunaan partikel nano dalam campuran beton, khususnya di Indonesia, yang menunjukkan peningkatan kinerja beton.

Dalam konteks teknik sipil, metode penelitian yang sering dipilih adalah studi literatur, mengingat masih sedikitnya penelitian yang fokus pada bidang tersebut. Melalui tinjauan jurnal, peneliti dapat memahami hasil-hasil penelitian sebelumnya dan menerapkan aspek-aspek penting seperti durabilitas, workabilitas, dan kekuatan pada beton. Tinjauan jurnal ini juga membandingkan metode pembuatan nano dari beberapa sumber untuk menjelaskan aplikasinya dalam beton. Hal ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti dalam memahami seberapa luas penggunaan material nano sebagai tambahan dalam konstruksi beton.

Para peneliti di dunia dalam bidang teknik sipil telah melakukan penyelidikan dampak dari nanopartikel pada beton salah satunya nano alumina, mereka melakukan pengujian dan mempelajari daya dukung kuat tekan pada beton yang mengandung nano partikel NA dan telah melalui banyak proses penelitian yang menghasilkan bahwa pengganti atau melakukan pemanfaatan sebagian partikel nano ke dalam campuran beton selain semen mampu meningkatkan kekuatan tekan beton tanpa mengurangi kemampuan kerja pada beton itu sendiri.

Dalam sebagian penelitian ini menggunakan studi literature, untuk mendapatkan evaluasi lebih dalam pemahaman mengenai nano partikel untuk bahan campuran pengganti semen. Evaluasi ini membutuhkan beberapa studi dan jurnal yang telah dilakukan penelitian pada nanopartikel yang dapat mempengaruhi kekuatan pada beton serta fungsi beton dilingkungan pembangunan.

2. Metode

Penelitian ini menerapkan Metode Tinjauan Literatur Sistematis untuk mengumpulkan, mengevaluasi, mengintegrasikan, dan menyajikan temuan dari berbagai studi yang berkaitan dengan subjek atau pertanyaan yang menarik. Pendekatan ini dikenal sebagai analisis literatur jurnal. Analisis ini mengonfirmasi relevansi jurnal penelitian sebelumnya dengan judul yang sama, yakni studi tentang penggunaan semen nano dalam beton dan penerapan nanoteknologi melalui penggunaan bola alat penggilingan.

Metode penelitian ini adalah Tinjauan Literatur Sistematis, yang secara sistematis mengumpulkan, mengevaluasi, mengintegrasikan, dan menganalisis temuan dari berbagai jurnal penelitian tentang suatu isu atau topik yang diminati. Tinjauan literatur ini merujuk pada jurnal-jurnal sebelumnya yang relevan dengan judul penelitian tersebut. Sebagian besar jurnal yang diadopsi dalam penelitian ini adalah jurnal penelitian yang dilakukan antara tahun 2010 hingga 2023. Data yang dikumpulkan mencakup metode pembuatan dan pencampuran Nano Alumina serta karakteristik hasil dari penambahan Nano Alumina tersebut. Tinjauan ini dilakukan untuk memahami temuan dari masing-masing studi mengenai penerapan metode penambahan Nano Alumina dalam beton.

Data untuk tinjauan ini diperoleh dari jurnal online nasional dan internasional dengan bantuan penerbit dan pencarian melalui aplikasi Google Scholar. Pengumpulan data berfokus pada judul penelitian yang menjadi dasar dari proses pengolahan data. Selanjutnya, analisis data melibatkan perbandingan metode pembuatan Nano serta hasil dari penelitian terkait durabilitas dan kemampuan penambahan Nano ke dalam beton dari jurnal yang relevan. Hasil analisis ini akan membentuk dasar pembahasan penelitian dan kemudian digunakan untuk menarik kesimpulan dari temuan yang diperoleh.

Table 1: Literature Review Table

Judul	Penulis
Characteristics of Cement Concrete with Nano Alumina Particles	P Jaishankar and C Karthikeyan 2017
Hybrid effect of nano- <i>alumina</i> and nano- <i>titanium dioxide</i> on Mechanical properties of concrete	MA Orakzai. 2021
Effect of Nano- <i>Alumina</i> (N-Al) and Nanosilica (NS) As Admixtures on Concrete Behavior	Saba Jahangir, and Seyed Kazemi. 2014
Enhancements and Mechanisms of Nano Alumina (Al_2O_3) on Wear Resistance and Microstructure Characteristics of Concrete Pavement	Dr. Nahla Yassoub Ahmed and Fatimah Fahem Alkhafaji. 2020
Experimental study on <i>metakaolin</i> & nano <i>alumina</i> based concrete	Kunchala Ashok et al. 2021
Experimental Investigation of Nano <i>Alumina</i> and Nano <i>Silica</i> on Strength and Consistency of Oil Well Cement	Dr. Hassan Abdul Hadi and Hassan Abdul Ameer. 2017
A Review on Properties, Behaviour and Processing Methods for Al- <i>Nano Al2O3</i> Composites	Dinesh Kumar Koli, Geeta Agnihotri, and Rajesh purohit. 2014
Influence of Nano-Silica and Nano-Alumina on Properties of Concrete	G.Vinod Kumar and Dr. B. Narendra Kumar. 2020
Effect of nano- <i>alumina</i> on workability, compressive strength and residual strength at elevated temperature of Cement Mortar	Gowda, R. <i>et al.</i>
Effect of nano- <i>sio2</i> and nano- Al_2O_3 on cement mortars for use in agriculture and livestock production	León, N. <i>et al.</i>
Single and combined effects of nano- <i>SiO2</i> , nano- <i>Al2O3</i> and nano- <i>Fe2O3</i> powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume	Meral Oltulu and Remzi Sahin. 2011
Improvement of initial mechanical strength by nanoalumina in belite cements	I. Campillo et al., 2007
Experimental Study on Mechanical Properties of Nano-Alumina-Modified Cement Composites Exposed to High Temperatures	Man Wang et .all, 2023
Effect of nano- <i>SiO2</i> , nano- <i>Al2O3</i> and nano- <i>Fe2O3</i> powders on compressive strengths and capillary water absorption of cement mortar containing fly ash: A comparative study	Meral Oltulu and Remzi Sahin, 2013
Effect of Nano Alumina on Compressive Strength and Microstructure of High Volume Slag and Slag-Fly Ash Blended Pastes	FUA. Shaikh and Anwar Hosan., 2019
Comparative Study of the Properties of Cement Pastes Modified with Nano-Silica and Nano Alumina	Evangelia Tsampali et all, 2019
Influence of waste alumina powder on self-compacting concrete resistance under elevated temperature	Seyed Esmaeil Mohammadyan-Yasouj et al., 2014
Polypropylene fiber reinforced cement mortars containing rice husk ash and nano- <i>alumina</i>	Ehsan Moseni et al., 2016
Behavior of magnetic concrete incorporated with Egyptian nano alumina	H.I Ahmed, 2017
Impact of nano- <i>alumina</i> on the mechanical characterization of PVA fibre-reinforced geopolymer	Hasan S. Assaedi and Margaret D. Olawale., 2022

Properties of self-compacting mortar containing nano cement kiln dust	Ahmed S. Kadhim Alaa A. Atiyah, and Shakir A. Shalih. 2019
Mechanical properties of cement mortar with <i>Al₂O₃</i> nanoparticles	Ali Nazari et. all., 2009
Physico-mechanical characteristics of blended white cement pastes containing thermally activated ultrafine nano clays	A.E. AL-Salami et. all., 2013
Long term mechanical performance of nano-engineered high volume fly ash concrete	Charith Herath et all., 2021
Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars	Mem CIFTCI and Serhat DEMIRHAN. 2021
Comparison of the properties between high-volume <i>fly ash</i> concrete and high-volume steel slag concrete under temperature matching curing condition	Shi Mengxiao et all., 2015
High temperature resistance of a very high volume <i>fly ash</i> cement paste	Shane Donatello et all. 2013
The Impact of <i>Nano-Al₂O₃</i> on the Physical and Strength Properties as Well as on the Morphology of Cement Composite Crack Surfaces in the Early and Later Maturation Age	Wioleta Iskrak-Kozak and Janusz Konkol. 2021
Investigation the effect of different nano materials on the compressive strength of cement mortar	Zahraa Fakhri Jawad et all. 2020
Performance of Fiber-Reinforced Alkali-Activated Mortar with/without Nano <i>Silica</i> and Nano <i>Alumina</i>	Mahmood Hunar Dheyaaldin et all. 2022
Flexural Behavior Performance of Reinforced Concrete Slabs Mixed with Nano- and <i>Microsilica</i>	Rakesh Kancharla et all. 2021

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menggunakan bahan campuran partikel nano ke dalam beton menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada menggunakan semen biasa. Dikarenakan sidat mekanis nano partikel ini menunjukkan kerjanya yang memperkuat daya kuat beton. Berbagai jenis bahan tambahan campuran lain seperti nano-clay, nano silica, dan lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa material nano sangat efisien dan tidak merubah sifat kimia dari material campuran lainnya. Dengan demikian sifat mekanik dari nano partikel ini menunjukkan pengaruh baik terhadap daya kuat beton.

Kekuatan kuat tekan yang meningkat dengan penambahan serbuk nano material dan akan menimbulkan dampak baik terhadap kinerja beton. Dibandingkan campuran beton tanpa nano, penggunaan nano *silica* da nano *alumina* saja mampu berdampak nyata terhadap berat benda uji. Hal ini dibuktikan pada hasil para peneliti dan ditunjukkan pada [table 2](#).

Tabel 2 : Persentasi nano alumina

Penulis	Persentase Nano Alumina	Persentasi bahan tambahan lainnya	Kuat Tekan (28 hari)	satuan
(Dr. Nahla Yassoub Ahmed and Fatimah Fahem Alkhafaji. 2020)	0.5%	-	34.5	N/mm ²
(Kunchala Ashok et al. 2021)	1.5%	Metakolin 1%	46 ; 39	N/mm ²
(Kiachehr Behfarnia and Niloofar Salemi. 2013)	3%	Nano silica 1%	49.13 ; 42.11	N/mm ²
(Dinesh Kumar Koli, Geeta Agnihotri, and Rajesh purohit. 2014)	4%	-	74	N/mm ²
(Yao Zhao et all. 2021)	1%	Nano silica 1%	39 ; 36	N/mm ²
(B. A. Hase and Prof. V. R.Rathi. 2015)	2%	-	75.5	N/mm ²
(Dr. Hassan Abdul Hadi and Hassan Abdul Ameer. 2017)	2.1%	-	68	N/mm ²
(Ali Nazari et all. 2010)	2%	-	37.7	N/mm ²
(Krishnaveni C. and Senthil Selvan S. 2021)	4%	-	32	N/mm ²
(P Jaishankar and C Karthikeyan. 2017)	0.75	-	38	N/mm ²
(Muhammad Atiq Orakzai. 2021)	0.5%	Nano- TiO_2 1%	30 ; 42	N/mm ²
(Jacek Szymanowski and Lukasz Sadowski. 2019)	1%	-	75	N/mm ²
(Shimal Jameel Younus et all. 2023)	1.50%	-	73.565	N/mm ²
(Bahareh Mehdizadeh Miyandehi et all. 2014)	6%	-	45	N/mm ²
(FUA. Shaikh and Anwar Hosan., 2019)	1% ; 2% ; 3%	-	46.61 ; 44.00 ; 43.49	N/mm ²
(León, N. <i>et al.</i> 2014)	5%	-	61	N/mm ²
(Man Wang et al, 2023)	5% ; 3%	-	38 ; 42	N/mm ²
(Meral Oltulu and Remzi Sahin, 2013)	0.5%	Nano- SiO_2 1.25%	55.40	N/mm ²
(Meral Oltulu and Remzi Sahin, 2011)	1.25%	Nano- Fe_2O_3	55	N/mm ²
(R. Gowda et al., 2016)	1% ; 3% ; 5%	-	20 ; 15 ; 36	N/mm ²
(S. E. Mohammadyan-Yasouj et. Al, 2021)	1%	-	48	N/mm ²
(Ehsan Mohseni et.al., 2016)	1% ; 2% ; 3%	Rice husk ash 10%	45 ; 51 ; 61	N/mm ²
(H. I. Ahmed . 2017)	1% ; 2%	-	40 ; 45	N/mm ²
(Mem CIFTCI and Serhat DEMIRHAN. 2021)	1% ; 2% ; 3%	-	50 ; 49 ; 47	N/mm ²
(Zidi, Z et al. 2019)	1% ; 2%	-	34 ; 39 ; 33	N/mm ²
(Mahmood Hunar Dheyaaldin et al. 2022)	2.0%	Nano silica 1%	55.4	N/mm ²
(Wioleta Iskrak-Kozak and Janusz Konkol. 2021)	1%	-	42.5	N/mm ²
(Shi Mengxiao et all., 2015)	6%	Fly ash 2%	40	N/mm ²
(Zahraa Fakhri Jawad et all. 2020)	1.5% ; 3%	-	37 ; 42.5	N/mm ²
(Shane Donatello et al. 2013)	6.8%	-	55	N/mm ²

Dalam penelitian diatas menunjukkan bahwa terdapat beberapa bahan tambahan selain nano alumina yang sering digunakan dalam percobaan penelitian dan dari penelitian tersebut nilai dari partikel nano memiliki nilai kuat tekan beton yang tinggi, hasil menunjukkan partikel nano alumina meningkatkan kuat tekannya karena ukuran butir partikelnya yang digunakan sangat halus dari semen dan dapat mempengaruhi reaksi pada beton. Namun pada tabel diatas menunjukan terdapat bahan tambahan lain nya yang menambah daya dukung terhadap beton secara maksimal dan menghasilkan beberapa kuat tekan beton yang baik. Penggunaan nano silica juga memiliki peran baik dengan komposisi 1% tanpa mempengaruhi nilai kuat tekan benda uji.

Para peneliti menemukan bahwa tes yang dilakukan di beberapa jurnal memiliki tingkat kekuatan beton yang berbeda. Hal ini terjadi karena aplikasi membuat benda uji yang berbeda yaitu dengan membuat benda uji beton, sehingga komposisi material yang digunakan juga berbeda, kemudian dengan menambahkan kandungan nano yang sama untuk membuat benda uji dengan daya tahan yang maksimal. Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini mencapai nilai maksimal yang lebih baik, namun beton nano memiliki nilai densitas yang lebih tinggi karena memiliki pori yang lebih rapat dan semakin rapat maka kekuatan betonnya akan semakin tinggi.

4. Kesimpulan

Hasil dari studi literature tentang beton menggunakan nano alumina yang dilakukan oleh peneliti :

1. Pada tabel diatas penggunaan bahan tambahan nano partikel lainnya menunjukkan bahwa peneliti menggunakan baha campuran tersebut berkaitan dengan nano alumina
2. Dalam studi literature ini menghasilkan kuat tekan beton tertinggi menggunakan nano alumina 2% menghasilkan kuat tekan sebesar 74 Mpa.
3. Beton dengan campuran nano alumina dan bahan kimia lainnya adalah beton yang memiliki sifat mekanis yang baik namun tidak banyak peneliti melakukan penelitian ini dikarenakan dalam membuat partiel nano alumina membutuhkan biaya yang cukup banyak dari bahan campuran lainnya.
4. Fungsi nano alumina sebagai bahan campuran yakni beton memiliki kekuatan dan daya tahan yang lebih baik dan terdapat hana campuran lainnya nanosilica, fly ash, rice husk ash, metakolin, dan silica fume
5. Hasil dari pada tabel diatas menunjukkan bahwa bahan tambahan lainnya selain nanoalumina dengan presentase 1% nano silica dan 10% rice husk ash menghasilkan kuat tekan beton sebesar 36 dan 61 Mpa.
6. Diharapkan bahwa studi literature ini memberi peneliti selanjutnya pilihan baru untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai studi tersebut dengan topik yang sesuai.

Referensi

- [1] D. N. Y. Ahmed and F. F. Alkhafaji, "Enhancements and Mechanisms of Nano Alumina (Al_2O_3) on Wear Resistance and Microstructure Characteristics of Concrete Pavement," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 871, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/871/1/012001..
- [2] G. V. Kumar, "Influence of Nano-Silica and Nano-Alumina on Properties of Concrete," *Int. J. Eng. Res. Curr. Trends*, no. 3, pp. 2582–5488, 2020..
- [3] K. Ashok, B. Kameswara Rao, and B. Sarath Chandra Kumar, "Experimental study on metakaolin & nano alumina based concrete," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1091, no. 1, p. 012055, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1091/1/012055.
- [4] B. M. Miyandehi, B. Behforouz, and D. Branch, "An experimental investigation on nano- Al_2O_3 based self-compacting mortar," no. November, 2014.
- [5] K. Behfarnia and N. Salemi, "The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 48, pp. 580–584, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.088.
- [6] D. K. Koli, G. Agnihotri, and R. Purohit, "A Review on Properties, Behaviour and Processing Methods for Al- Nano Al_2O_3 Composites," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmprc, pp. 567–589, 2014, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.072.
- [7] Y. Zhao *et al.*, "Aggressive Environment Resistance of Concrete Products Modified With Nano Alumina and Nano Silica," *Front. Mater.*, vol. 8, no. June, pp. 1–12, 2021, doi: 10.3389/fmats.2021.695624.
- [8] B. A. H. P. rof. V. R.Rathi, "Properties of High Strength Concrete Incorporating Colloidal Nano- Al_2O_3 ," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 04, no. 03, pp. 959–963, 2015, doi: 10.15680/ijirset.2015.0403024.
- [9] M. Criticism, "2017 53," vol. 23, no. 12, pp. 53–55, 2017.
- [10] A. Nazari, S. Riahi, S. Riahi, S. F. Shamekhi, and A. Khademno, "Influence of Al_2O_3 nanoparticles on the compressive strength and workability of blended concrete," *J. Am. Sci.*, vol. 6, no. 5, pp. 6–9, 2010.
- [11] C. Krishnaveni and S. Senthil Selvan, "Study on nano-alumina in concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 3648–3652, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.809.
- [12] P. Jaishankar and C. Karthikeyan, "Characteristics of Cement Concrete with Nano Alumina Particles," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 80, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/80/1/012005.
- [13] M. Atiq Orakzai, "Hybrid effect of nano-alumina and nano-titanium dioxide on Mechanical properties of concrete," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 14, p. e00483, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00483.
- [14] J. Szymanowski and L. Sadowski, "The development of nanoalumina-based cement mortars for overlay applications in concrete floors," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 21, 2019, doi: 10.3390/ma12213465.
- [15] S. J. Younus, M. A. Mosaberpanah, and R. Alzebaree, "The Performance of Alkali-Activated Self-Compacting Concrete with and without Nano-Alumina," *Sustain.*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.3390/su15032811.
- [16] H. I. Ahmed, "Behavior of magnetic concrete incorporated with Egyptian nano alumina," *Constr. Build. Mater.*, vol. 150, pp. 404–408, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.022.
- [17] I. Campillo, A. Guerrero, J. S. Dolado, A. Porro, J. A. Ibáñez, and S. Goñi, "Improvement of initial mechanical strength by nanoalumina in belite cements," *Mater. Lett.*, vol. 61, no. 8–9, pp. 1889–1892, 2007, doi: 10.1016/j.matlet.2006.07.150.
- [18] E. Tsampali, E. C. Tsardaka, E. Pavlidou, K. M. Paraskevopoulos, and M. Stefanidou, "Comparative study of the properties of cement pastes modified with nano-silica and Nano-Alumina," *Solid State Phenom.*, vol. 286, pp. 133–144, 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.286.133.

- [19] R. Gowda, H. Narendra, D. Rangappa, and R. Prabhakar, "Effect of nano-alumina on workability, compressive strength and residual strength at elevated temperature of Cement Mortar," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 11, pp. 12152–12156, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.09.144.
- [20] H. S. Assaedi and M. D. Olawale, "Impact of nano-alumina on the mechanical characterization of PVA fibre-reinforced geopolymer composites," *J. Taibah Univ. Sci.*, vol. 16, no. 1, pp. 828–835, 2022, doi: 10.1080/16583655.2022.2119735.
- [21] N. León, J. Massana, F. Alonso, A. Moragues, and E. Sánchez-Espinosa, "Effect of nano- SiO_2 and nano- Al_2O_3 on cement mortars for use in agriculture and livestock production," *Biosyst. Eng.*, vol. 123, pp. 1–11, 2014, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.04.009.
- [22] M. Wang, Y. Jiang, S. Liu, Z. Chen, and H. Su, "Experimental Study on Mechanical Properties of Nano-Alumina-Modified Cement Composites Exposed to High Temperatures," *Processes*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.3390/pr12010094.
- [23] S. E. Mohammadyan-Yasouj, N. Heidari, and H. Shokravi, "Influence of waste alumina powder on self-compacting concrete resistance under elevated temperature," *J. Build. Eng.*, vol. 41, no. February, p. 102360, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102360.
- [24] E. Mohseni, M. M. Khotbehsara, F. Naseri, M. Monazami, and P. Sarker, "Polypropylene fiber reinforced cement mortars containing rice husk ash and nano-alumina," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 429–439, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.124.
- [25] M. Oltulu and R. Şahin, "Single and combined effects of nano- SiO_2 , nano- Al_2O_3 and nano- Fe_2O_3 powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 528, no. 22–23, pp. 7012–7019, 2011, doi: 10.1016/j.msea.2011.05.054.
- [26] F. U. A. Shaikh and A. Hosan, "Effect of nano alumina on compressive strength and microstructure of high volume slag and slag-fly ash blended pastes," *Front. Mater.*, vol. 6, no. April, pp. 1–11, 2019, doi: 10.3389/fmats.2019.00090.
- [27] P. A. Prashanth *et al.*, " Al_2O_3 nanoparticles," *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 3, no. 3, pp. 345–351, 2015, [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tace20>.
- [28] Çiftçi, M. And Demirhan, S. (2021) Effect of nano type and slag replacement level on cement mortars.
- [29] W. Iskra-Kozak and J. Konkol, "The impact of Nano- Al_2O_3 on the physical and strength properties as well as on the morphology of cement composite crack surfaces in the early and later maturation age," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 16, 2021, doi: 10.3390/ma14164441.
- [30] Z. F. Jawad, A. J. Salman, R. J. Ghayyib, and M. N. Hawas, "Investigation the effect of different nano materials on the compressive strength of cement mortar," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2213, no. March, 2020, doi: 10.1063/5.0000164.
- [31] M. H. Dheyaaldin, M. A. Mosaberpanah, and R. Alzeebaree, "Performance of Fiber-Reinforced Alkali-Activated Mortar with/without Nano Silica and Nano Alumina," *Sustain.*, vol. 14, no. 5, pp. 1–24, 2022, doi: 10.3390/su14052527.
- [32] R. Gopalakrishnan and R. Jeyalakshmi, "The effects on durability and mechanical properties of multiple nano and micro additive OPC mortar exposed to combined chloride and sulfate attack," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 106, no. October 2019, p. 104772, 2020, doi: 10.1016/j.mssp.2019.104772.
- [33] R. Roychand, S. De Silva, S. Setunge, and D. Law, "A quantitative study on the effect of nano SiO_2 , nano Al_2O_3 and nano CaCO_3 on the physicochemical properties of very high volume fly ash cement composite," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 24, no. 6, pp. 724–739, 2020, doi: 10.1080/19648189.2017.1418681.
- [34] F. Shahrajabian and K. Behfarnia, "The effects of nano particles on freeze and thaw resistance of alkali-activated slag concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 172–178, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.033.

- [35] Z. Zidi, M. Ltifi, Z. Ben Ayadi, and L. El Mir, "Synthesis of nano-alumina and their effect on structure, mechanical and thermal properties of geopolymer," *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 7, no. 4, pp. 524–535, 2019, doi: 10.1080/21870764.2019.1676498.
- [36] A. E. Al-Salami, M. S. Morsy, S. Taha, and H. Shoukry, "Physico-mechanical characteristics of blended white cement pastes containing thermally activated ultrafine nano clays," *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 138–145, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.011.
- [37] S. Donatello, C. Kuenzel, A. Palomo, and A. Fernández-Jiménez, "High temperature resistance of a very high volume fly ash cement paste," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 45, pp. 234–242, 2014, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2013.09.010.
- [38] C. Herath, C. Gunasekara, D. W. Law, and S. Setunge, "Long term mechanical performance of nano-engineered high volume fly ash concrete," *J. Build. Eng.*, vol. 43, no. August, p. 103168, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103168.
- [39] A. S. Kadhim, A. A. Atiyah, and S. A. Salih, "Properties of self-compacting mortar containing nano cement kiln dust," *Mater. Today Proc.*, vol. 20, no. xxxx, pp. 499–504, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.09.177.
- [40] R. Kancharla, V. R. Maddumala, T. V. N. Prasanna, L. Pullagura, R. R. Mukiri, and M. V. Prakash, "Flexural Behavior Performance of Reinforced Concrete Slabs Mixed with Nano- And Microsilica," *J. Nanomater.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/1754325.
- [41] S. Mengxiao, W. Qiang, and Z. Zhikai, "Comparison of the properties between high-volume fly ash concrete and high-volume steel slag concrete under temperature matching curing condition," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 649–655, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.134.
- [42] P. A. G and J. C. M, "Effect of Nano Flyash on Strength of Concrete," *Int. Civ. Struct. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 475–482, 2011.
- [43] N. B. Singh, M. Kalra, and S. K. Saxena, "Nanoscience of Cement and Concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 4, pp. 5478–5487, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.06.003.
- [44] J. A. Abdalla, B. S. Thomas, R. A. Hawileh, J. Yang, B. B. Jindal, and E. Ariyachandra, "Influence of nano- TiO_2 , nano- Fe_2O_3 , nanoclay and nano- $CaCO_3$ on the properties of cement/geopolymer concrete," *Clean. Mater.*, vol. 4, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100061.
- [45] I. A. Ahmad, N. A. S. Taufieq, and A. H. Aras, "Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 2, p. 63, 2009, doi: 10.5614/jts.2009.16.2.2.
- [46] F. U. A. Shaikh and S. W. M. Supit, "Mechanical and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concrete containing calcium carbonate ($CaCO_3$) nanoparticles," *Constr. Build. Mater.*, vol. 70, pp. 309–321, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.099.
- [47] L. P. Singh, D. Ali, I. Tyagi, U. Sharma, R. Singh, and P. Hou, "Durability studies of nano-engineered fly ash concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 194, pp. 205–215, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.022.
- [48] G. Raghavendra, S. Ojha, S. Kumar Acharya, and S. K. Pal, "Fabrication and characterization of nano Fly ash by planetary ball Milling," *Artic. Int. J. Mater. Sci. Innov.*, vol. 2, no. 3, pp. 59–68, 2014, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/265384549>
- [49] Z. Zhou, M. Sofi, J. Liu, S. Li, A. Zhong, and P. Mendis, "Nano-CSH modified high volume fly ash concrete: Early-age properties and environmental impact analysis," *J. Clean. Prod.*, vol. 286, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124924.
- [50] S. Srikanth *et al.*, "Effect of Nano Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) Volume % on Mechanical Behaviour of High-Performance Sustainable Concrete," *J. Nanomater.*, vol. 2022, pp. 1–5, 2022, doi: 10.1155/2022/3742194.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)