

Studi Literatur: Pengaruh Nano Titanium Dioksida Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Ammar Abyan Alkatiry¹ , Suhendro Trinugroho²

¹ Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

² Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

 ammarabyano12@gmail.com

Abstract

The purpose of this review of nano titanium dioxide research is to demonstrate that high-quality concrete may indeed use nano titanium dioxide. The goal of this review of the literature is to determine whether adding nano titanium dioxide to high-quality concrete can affect the material's longevity and boost its compressive strength.

The study's findings indicate that adding too much nano titanium dioxide can lower the concrete's compressive strength; therefore, the right amount of nano titanium dioxide must be used in order to achieve the ideal and targeted compressive strength. By mixing in 1%–4% Nano Titanium Dioxide, optional compressive strength can be achieved. This data was acquired by examining a number of articles published between 2013 and 2023 about nano titanium dioxide. Scencedirect and Google Scholar databases were used to gather journals from a variety of national and international publications through the Publish & Perish program.

Keywords: Nano Titanium Dioxide; Titanium Dioxide; High Quality Concrete, Compressive Strength

Studi Literatur: Pengaruh Nano Titanium Dioksida Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Abstrak

Tinjauan penelitian tentang Nano Titanium Diodida ini adalah untuk membuktikan kemungkinan penggunaan Nano Titanium Diodida pada Beton Mutu Tinggi. Tujuan dari tinjauan literatur ini adalah untuk mengetahui bagaimana penambahan Nano Titanium Diodida pada beton mutu tinggi dapat berdampak pada ketahanan beton dan meningkatkan kuatannya.

Hasil dari penelitian ini adalah penambahan Nano Titanium Diodida yang berlebihan dapat menurunkan kualitas beton dari segi kuat tekannya sehingga penambahan jumlah Nano Titanium Diodida harus dihitung secara tepat agar didapatkan kuat tekan yang optimal dan yang diinginkan. Kuat tekan optimal didapatkan pada penambahan 1% - 4% Nano Titanium Diodida sebagai bahan campurnya. Informasi ini diperoleh melalui analisis berbagai artikel Nano Titanium Diodida dari tahun 2013 hingga 2023. Melalui aplikasi Publish & Perish, database scencedirect dan Google Scholar digunakan untuk mengumpulkan berbagai jurnal yang dikumpulkan dari berbagai publikasi nasional dan internasional.

Kata kunci: Nano Titanium Dioksida; Titanium Dioksida; Beton Mutu Tinggi; Kuat Tekan

1. Pendahuluan

Beton pertama kali digunakan dalam konstruksi dan bangunan sekitar satu abad yang lalu. Namun, seiring dengan peningkatan penggunaan beton selama bertahun-tahun. Beton berkualitas tinggi tidak mahal dan dibuat dengan mudah. Selain itu, beton juga menunjukkan kinerja yang baik dan umum digunakan. Namun, kelemahan beton, seperti kekuatan rendah, kerentanan retak, dan kegagalan mendadak karena sifatnya yang

rapuh, meningkatkan kerusakan dan biaya perbaikan. Kebanyakan degradasi terjadi di lingkungan laut karena ion klorida dan sulfat mengganggu daya tahan struktur beton. Laju korosi tulangan dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jenis semen, alkalinitas, suhu, dan konsentrasi ion klorida. Beton mengkonsumsi banyak energi karena sering digunakan dalam industri semen dan konstruksi. Satu ton karbon dioksida diproduksi dari satu ton klinker semen Portland.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas beton dengan menambahkan berbagai elemen tambahan yang mengandung semen, seperti nanopartikel dan pozzolan. Teknologi Nano telah berkembang dengan cepat dalam beberapa tahun terakhir. Kemajuan ini disebabkan oleh potensi baru penggunaan partikel nano, yang menarik perhatian penelitian di seluruh dunia tentang bagaimana partikel nano mempengaruhi bahan konstruksi, terutama mortar semen dan beton. Telah terbukti bahwa penambahan bahan pengisi halus mengubah stabilitas dimensi semen, waktu pengerasan, reaksi hidrasi awal, dan kualitas beton secara keseluruhan.

Dalam nanoteknologi, ukuran partikel bergantung pada sifat material terpengaruh yang berada di bawah ukuran nano meter [10^{-9} meter]. Akhir-akhir ini, benda-benda berbasis nano yang dibuat pada dasarnya dapat mengurangi masalah bangunan tambahan karena berbagai karakteristik benda turunan nanoteknologi. Pada dasarnya, ada peningkatan dalam pengawasan materi imajinatif dan metode yang digunakan. Nanoteknologi mencakup pembuatan bahan baru berskala besar melalui penggunaan atau manipulasi bahan yang sangat kecil. Karena luas permukaannya yang tinggi dan reaktivitasnya yang tinggi, penambahan nanopartikel ke dalam beton semen menarik perhatian. Studi terbaru telah menunjukkan bahwa nanopartikel meningkatkan sifat mekanik C-S-H, mengurangi porositas, dan mengubah ketahanan matriks semen.

Banyak makanan dan produk konsumsi lainnya mengandung titanium dioksida sebagai aditif. Bahan berlapis TiO_2 menjadi semakin populer dalam beberapa tahun terakhir, meskipun TiO_2 jarang digunakan dalam bidang konstruksi. TiO_2 adalah bahan yang serbaguna yang dapat digunakan dalam berbagai jenis produk. Ini dapat digunakan sebagai pigmen cat, lotion tabir surya, tenaga surya sel, kapasitor, elektroda elektrokimia, dan bahkan sebagai pewarna makanan dan pasta gigi. Karakteristik fotokatalitik waktu pertama kali ditemukan pada Nano- TiO_2 pada tahun 1970an. Nano- TiO_2 semakin banyak digunakan dalam pelapis, perawatan kulit, pengecatan, dan bahan lain karena kemampuan untuk menghancurkan gas berbahaya seperti NO_x secara katalitik terkena cahaya. Fotokatalisis menghilangkan gas berbahaya dari udara tanpa menyebabkan polusi sekunder dengan mempercepat reaksi kimia dengan cahaya.

Saat ini, beberapa peneliti menggabungkan TiO_2 dengan bahan bangunan melalui pencampuran atau pelapisan. Ini memberinya sifat baru seperti pembersihan udara, pembersihan mandiri, anti kabut, anti bakteri, dan efek hidrofilik yang sangat besar. Sifat pengikatan yang kuat dari semen memungkinkan TiO_2 untuk digunakan dalam bahan ini tanpa melalui proses tambahan. Selain itu, struktur berpori mortar dan beton yang diperkeras sangat baik untuk adsorpsi partikel TiO_2 . Tiga jenis titanium dioksida yang paling umum adalah rutil, anatase, dan brookite. Mereka juga dikenal sebagai beton putih dan beton yang dapat membersihkan sendiri. Ini menjamin tidak hanya integritas struktural struktur, tetapi juga meningkatkan penampilannya. Laju reaksi hidrasi sangat dipengaruhi oleh ukuran nanopartikel TiO_2 . Sebagian besar penelitian sebelumnya tentang bagaimana bahan pengisi halus memengaruhi hidrasi semen dilakukan dengan menggunakan mikrometer partikel yang berukuran antara $0,5 \mu\text{m}$ dan $4 \mu\text{m}$.

Studi dilakukan untuk mengetahui cara yang paling hemat dan efektif untuk menggunakannya. Fokus penelitian saat ini adalah bagaimana bahan nanomaterial terutama nano TiO₂ mempengaruhi kekuatan tekan, struktur pori, dan variabel lainnya selama proses pembuatan beton. Dalam beberapa dekade terakhir, minat terhadap penambahan partikel nano pada material semen telah meningkat. Produksi dan penggunaan semen yang mengandung partikel nano akan membawa kita ke era baru struktur beton yang lebih kuat dan tahan lama. Dalam teknik sipil, beberapa penambahan nano yang paling umum digunakan adalah partikel nano seperti silika, titanium dioksida, alumina, dan besi. Jenis penambahan yang akan dipilih didasarkan pada sifat yang ingin ditingkatkan atau dicapai serta fungsi yang ingin dikembangkan.

Tujuan dari review jurnal ini adalah untuk mengetahui apakah penerapan nano titanium dioksida berdampak pada kekuatan tekan beton. Studi ini membandingkan metode yang digunakan untuk membuat nano titanium dioksida pada beton dalam beberapa jurnal dan menunjukkan penggunaan NT pada pekerjaan teknik sipil, yang biasanya digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton mutu tinggi.

2. Metode

Penelitian menggunakan tinjauan literatur sistematis, yang berarti mengumpulkan, mengevaluasi, mengintegrasikan, dan menyajikan hasil dari berbagai penelitian tentang topik atau pertanyaan yang diminati.

Tinjauan literatur adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi jurnal. Analisis jurnal ini melihat jurnal penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik yang digunakan, yaitu penelitian Nano Titanium Dioksida. Beberapa jurnal yang digunakan adalah jurnal yang diterbitkan dari tahun 2013 hingga 2023. Setiap hasil diperiksa kembali untuk mendapatkan informasi tentang proses pembuatan Nano Titanium Dioksida, proporsi Nano Titanium Dioksida yang digunakan sebagai pengganti semen dalam mortar atau beton, dan efek Nano Titanium Dioksida pada kuat tekan beton.

Publikasi penilaian ini menggunakan informasi dari publikasi online mulai dari skala nasional hingga internasional, yang difasilitasi oleh software publish and perish yang menggunakan data Google Scholar. Penelitian ini mengumpulkan data yang relevan dengan judul penelitian, melakukan analisis tentang metode pelaksanaan pembuatan Nano Titanium Dioksida dan membandingkan hasil ketahanan dan kelayakan penambahan beton dengan Nano Titanium Dioksida, semuanya sebagaimana didokumentasikan dalam publikasi terkait. Analisis ini akan menghasilkan hasil pemeriksaan, yang selanjutnya akan didiskusikan dan diambil kesimpulan berdasarkan temuan diskusi. Beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan acuan penulis untuk membuat judul ini disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Judul Penelitian Terdahulu

Judul	Penulis
Effect of Well-Dispersed Nano-TiO ₂ on Sulphoaluminate Cement Hydration and Its Application in Photo-Degradation	Han Wang et al., 2017
Influence of Nano Particles on Durability And Mechanical Properties Of High Performance Concrete	Shekari and Razzaghi, 2011
Hybrid effect of nano-alumina and nano-titanium dioxide on Mechanical properties of concrete	Muhammad Atiq Orakzai, 2021

Judul	Penulis
Titanium Dioxide as a photocatalyst to create self-cleaning concrete	Hansaraj Dikkar et al., 2020
Effect of nano titanium di oxide on mechanical properties of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymer concrete	Jagadesh et al., 2022
Effect on Addition of Nano "Titanium Dioxide" (TiO ₂) on Compressive Strength of Cementitious Concrete	Jay Sorathia et al., 2017
Self-Cleaning and Mechanical Properties of Modified White Cement with Nanostructured TiO ₂	Khataee et al., 2013
Durability enhancement of concrete by incorporating titanium dioxide nanopowder into binder	Mostafa Jalal, 2012
Strength and rheological aspects of concrete containing nano-titanium dioxide	Garima, Sumit and Yogesh, 2022
Assessment of the effects of the cement paste composite in presence TiO ₂ nanoparticles	Ali Nazari et al., 2014
Effect of Nano-sized Titanium Dioxide on Early Age Hydration of Portland Cement	Jayapalan, Lee, and Kurtis., 2021
Effect of Fly Ash and Nano Titanium Dioxide on Compressive Strength of Concrete	Summit et al., 2019
Effect of TiO ₂ Nanoparticles on Physical and Mechanical Properties of Cement at Low Temperatures	Li Wang et al., 2018
Flowability and strength properties of high volume of fly ash material on self-compacting concrete	Arie Wardhono, 2020
Replacement of Cement by using Nano Titanium Dioxide in Concrete	Iyappan et al., 2017
Experimental Investigation of Concrete Using Titanium Dioxide	Dr.R.Umamaheswari, S.Monisha, 2019
A critical assessment on the effect of nanotitanium dioxide on the properties of concrete	Garima, Sumit and Yogesh, 2021
Study on the Constitutive Relationship between Ordinary Concrete and Nano-Titanium Dioxide-Modified Concrete at High Temperature	Dongpeng Wu et al., 2023
Physico-mechanical properties, potent adsorptive and photocatalytic efficacies of sulfate resisting cement blends containing micro silica and nano-TiO ₂	Amr A. Essawy , S. Abd El.Aleem, 2014
Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete	Weiguo Shen et al., 2014
The Effect of Curing Temperature on the Properties of Cement Pastes Modified with TiO ₂ Nanoparticles	Karine Pimenta Teixeira et al., 2016
Influence of Nano-Materials in High Strength Concrete	Abdul Rahim and Sandanu. R.Nair, 2016
The Use of Nanoparticles To Improve The Performance of Concrete	Vivian et al., 2013
Analyzing the Effects of Nano-Titanium Dioxide and Nano-Zinc Oxide Nanoparticles on the Mechanical and Durability Properties of Self-Cleaning Concrete	Fatma et al., 2023
Laboratory Investigation of Nano Titanium Dioxide (TiO ₂) in Concrete For Pavement	Patel and Mishra, 2018
Performance evaluation of self-compacting concrete containing fly ash, silica fume and nano titanium oxide	Raghavender et al., 2021

Judul	Penulis
The performance and functionalization of modified cementitious materials via nano titanium-dioxide: A review	Li Shaocun et al., 2023
Preparation and Evaluation of Exhaust-Purifying Cement Concrete Employing Titanium Dioxide	He Rui et al., 2019
Influence of nano TiO ₂ on strength and durability properties of geopolymer concrete	Gopala et al., 2020

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari berbagai jurnal sebelumnya menunjukkan bahwa variasi kuat tekan yang dihasilkan berbeda yang disebabkan oleh perbedaan jumlah Nano Titanium Dioksida, yang digunakan dalam bahan penggantian semen dalam pembuatan beton. Berikut merupakan hasil beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan Nano Titanium Dioksida, dan kuat tekan yang dihasilkan yang disajikan pada [Tabel 2](#)

Tabel 2. Persentase nano material dan kuat tekan yang dihasilkan

Peneliti	Persentase Nano Titanium Dioksida	Persentase Bahan Material Lain	Kuat Tekan (28 hari)	Unit
Shekari and Razzaghi, 2011	1,5 %	-	113,3	N/mm ²
Muhammad Atiq Orakzai, 2021	0,5% 0.5 % 1% 1%	Nano-Al ₂ O ₃ (0,5%) Nano-Al ₂ O ₃ (1%) Nano-Al ₂ O ₃ (0,5%) Nano-Al ₂ O ₃ (1%)	37,01 40,47 32,12 31,87	N/mm ²
Hansaraj Dikkar et al., 2020	0,5 %; 1%; 1,5%	-	46,26; 46,12; 26,66	N/mm ²
Jay Sorathia et al., 2017	0,5%; 0,75%; 1%; 1,25%; 1,5%	-	65,75; 76,9; 85; 70,2; 60,9	N/mm ²
Garima, Sumit and Yogesh, 2022	0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 2,5%, 3%	-	38,72; 39,01; 39,32; 41,42; 40,76; 41,17; 40,66	N/mm ²
Ali Nazari et al., 2014	0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%;	-	36,8; 41,9; 43,4; 42,5; 39,3	N/mm ²
Summit et al., 2019	0%; 1%; 1,5%; 2%; 0%; 1%; 1,5%; 2%;	- 10% Fly Ash	35,6; 41,3; 44,3; 39,2 33,6; 40,3; 42,7; 38,4	N/mm ²
Li Wang et al., 2018	0%; 1%; 2%; 3%; 4%; 5%	-	60; 62,11; 64,79; 63,45; 61,66; 59,56	N/mm ²
Iyappan et al., 2017	0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%;	-	37,11; 43,38; 45,51; 49,82; 45,24	N/mm ²
Dr.R.Umamaheswari, S.Monisha, 2019	0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%;	-	43,25; 49,46; 52,32; 59,64; 47,54	N/mm ²
Karine Pimenta Teixeira et al., 2016	0,8%; 2,5%; 5%;	-	45,6; 43,4; 36,1	N/mm ²
Abdul Rahim and Sandanu. R.Nair, 2016	2%; 3%; 4%; 5%; 6%	-	70,92; 77,20; 79,70; 76,80; 74,24	N/mm ²
Fatma et al., 2023	0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2%; 2,5%	-	47,7; 50,1; 52,43; 53,3; 56,85; 58,5	N/mm ²
Patel and Mishra, 2018	0%; 0,5%; 1%; 1,5%	-	59,75; 54,87; 64,65; 61,04	N/mm ²
Raghavender et al., 2021	1%; 2%; 3%; 1%; 2%; 3%; 1%; 2%; 3%;	20% Fly Ash 10% Silica Fume 20% Fly Ash & 10% Silica Fume	58,52; 59,94; 56,78 49,64; 53,05; 60,03 46,55; 52,17; 58,69	N/mm ²
He Rui et al., 2019	0%; 1%; 2%; 3%; 4%; 5%	Fe ³⁺	46,4; 47,1; 47,7; 48,4; 46,8; 45,3	N/mm ²
Gopala et al., 2020	0%; 1%; 2%; 3%; 4%; 5%	-	34,51; 40,88; 43,11; 46,37; 50,63; 54,59	N/mm ²

Pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan berbeda berdasarkan dengan variasi Nano Titanium Dioksida yang digunakan. Beberapa penelitian membuktikan bahwa penggunaan Nano Titanium Dioksida yang berlebihan dapat menurunkan kuat tekan beton itu sendiri.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Muhammad Atiq Orakzai, 2021) menunjukkan kuat tekan yang optimal didapatkan ketika penambahan Nano Titanium Dioksida sebanyak 0,5% dan Nano Alumina sebanyak 1%. Efek pengisi dihasilkan oleh partikel nano yang menghentikan pergerakan uap air bebas di dalam beton. Penyebab utama hal ini, yaitu peningkatan fakta bahwa nano-TiO₂ dan nano-Al₂O₃ berpartisipasi dalam reaksi pozzolan. Ini meningkatkan serapan Ca(OH)₂ dan, sebagai akibatnya, mempercepat hidrasi saat pembentukan C-S-H terjadi. Dampak buruknya adalah karena berkurangnya atau tidak tersedianya kristal Ca(OH)₂ diperlukan untuk pengembangan gel C-S-H dan dispersi partikel nano yang tidak seragam dalam beton.

Hasil dari penelitian (Garima, Sumit and Yogesh, 2022) menunjukkan hasil kuat tekan beton optimal pada penambahan 1,5 % nano-TiO₂. Penambahan NT secara berlebihan dapat menurunkan kekuatan tekan beton. ini disebabkan oleh Sifat ekspansif dan porositas NT membuat penambahan NT pada beton mengurangi kemerosotan nilai dan meningkatkan sorptivitas dan penyerapan air. Oleh karena itu, superplasticizer adalah komponen yang sangat penting dalam meningkatkan kemampuan kerja.

Penelitian dari (Summit et al., 2019) menunjukkan bahwa beton yang digunakan secara konvensional dengan penggantian fly ash 0% memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah pada umur 28 hari dibandingkan dengan beton tanpa menggunakan fly ash.

Penelitian selanjutnya mendapatkan Hasil uji kekuatan tekan beton dengan dan tanpa nano titanium dioksida (TiO₂) menunjukkan bahwa dosis TiO₂ meningkat sebesar 0,5%, 1,0% dari berat semen, namun mengalami penurunan saat penambahan 1,5% TiO₂ (Patel and Mishra, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (He Rui et al., 2019) menunjukan kekuatan tekan beton tersebut awalnya meningkat, tetapi kemudian menurun seiring dengan peningkatan TiO₂ secara terus menerus. Hal ini menunjukkan bahwa penggabungan nano-TiO₂ meningkatkan kekuatan beton, terutama karena pengisian mikro nano-TiO₂, yang membuat beton lebih padat dan meningkatkan kekuatan. Penambahan Fe³⁺ juga dapat mendorong pembentukan produk hidrasi yang mengandung zat besi, yang membuat struktur internal lebih kompak.

Dari beberapa penelitian mengemukakan bahwa pengujian yang dipublikasikan di berbagai jurnal memiliki tingkat kekuatan yang berbeda-beda. Hal ini dapat disebabkan oleh fakta bahwa ketika beton digunakan untuk benda uji yang memiliki komposisi bahan yang berbeda dan kemudian ditambahkan nano-TiO₂ yang sama pada bahan tersebut, nilai ketahanan maksimalnya akan berbeda. Pada penelitian ini, menunjukkan bahwa beton yang menggunakan nano-TiO₂ sebagai bahan campurnya memiliki dampak terhadap kuat tekan yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Hasil dari beberapa penelitian tentang pengaruh Nano Titanium Dioksida yang dilakukan peneliti terdahulu adalah sebagai berikut:

1. Salah satu komoditas terbesar yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi adalah beton, memiliki pengaruh yang besar, tetapi tidak memiliki semua potensinya. Dengan pemahaman yang lebih baik dan rekayasa yang tepat tentang struktur bahan berbasis

semen pada tingkat nano, beton generasi baru akan lebih kuat dan tahan lama, dengan perilaku tegangan-regangan yang diinginkan, dan mungkin memiliki jangkauan yang baru dengan properti "pintar" seperti konduktivitas listrik, penginderaan suhu, kelembapan, dan stress.

2. Metode penggabungan semen Portland dengan bahan nano material semakin populer saat proses pembangunan struktur.
3. Kemampuan kerja, kemampuan mengalir, pengaturan awal waktu, dan waktu setting akhir berkurang ketika kandungan nano-titanium dioksida dalam semen sistem meningkat.. Ini disebabkan oleh penurunan kandungan kristal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diperlukan untuk pembentukan gel C-S-H serta tidak terdispersinya nanopartikel dalam matriks beton. Sehubungan dengan peningkatan kandungan titanium dioksida dalam beton, partikel nano- TiO_2 meningkatkan kemampuan kerja beton segar.
4. Secara umum, penambahan nano-titanium dioksida meningkatkan kekuatan beton. Faktor - faktor seperti rasio berat/volume, kondisi pengawetan, umur pengawetan, jenis pozzolana, kandungan pozzolana, campuran kimia, dan ukuran nanopartikel menentukan konsentrasi yang ideal. Namun, tampaknya konsentrasi nano-titanium dioksida antara 1% - 4% persen dalam beton ideal untuk menghasilkan kuat tekan yang optimal.
5. Karena konsolidasi yang lebih baik dan struktur pori-pori yang lebih kecil, penambahan nanomaterial dapat meningkatkan kinerja dan membantu mengurangi permeabilitas beton.
6. Diharapkan bahwa studi literatur ini akan memberi peneliti selanjutnya pilihan baru untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang topik yang sesuai.

Referensi

- [1] Akono, A. T. (2020). Effect of nano- TiO_2 on C-S-H phase distribution within Portland cement paste. *Journal of Materials Science*, *55*(25), 11106–11119. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04847-5>
- [2] Al-Rbaihat, R., & Al-Marafi, M. N. (2023). Combined Effect of Silicon Dioxide and Titanium Dioxide Nanoparticles on Concrete Properties. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(12), 319–335. <https://doi.org/10.12911/22998993/173210>
- [3] Amin M, Abu El-Hassan K (2015) Effect of using different types of nano materials on mechanical properties of high strength concrete. *Constr Build Mater* *80*:116–124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.075>
- [4] Askari Dolatabad, Y., Kamgar, R., & Gouhari Nezaad, I. (2020). Rheological and Mechanical Properties, Acid Resistance and Water Penetrability of Lightweight Self-Compacting Concrete Containing Nano- SiO_2 , Nano- TiO_2 and Nano- Al_2O_3 . *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, *44*, 603–618. <https://doi.org/10.1007/s40996-019-00328-1>
- [5] Atiq Orakzai, M. (2021). Hybrid effect of nano-alumina and nano-titanium dioxide on Mechanical properties of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, *14*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00483>
- [6] Bica, B. O., & de Melo, J. V. S. (2020). Concrete blocks nano-modified with zinc oxide (ZnO) for photocatalytic paving: Performance comparison with titanium dioxide (TiO_2). *Construction and Building Materials*, *252*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119120>
- [7] Chinthakunta, R., Ravella, D. P., Sri Rama Chand, M., & Janardhan Yadav, M. (2020). Performance evaluation of self-compacting concrete containing fly ash, silica fume and nano titanium oxide. *Materials Today: Proceedings*, *43*, 2348–2354. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.681>

- [8] Dikkar, H., Kapre, V., Diwan, A., & Sekar, S. K. (2020). *ScienceDirect Titanium Dioxide as a photocatalyst to create self-cleaning concrete*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320386193>
- [9] Essawy, A. A., & Abd, S. (2014). Physico-mechanical properties, potent adsorptive and photocatalytic efficacies of sulfate resisting cement blends containing micro silica and nano-TiO₂. *Construction and Building Materials*, 52, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.026>
- [10] Flores Vivian, I., Pradoto, R., Moini, M., & Sobolev, K. (2013). *THE USE OF NANOPARTICLES TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF CONCRETE*.
<https://www.researchgate.net/publication/258510750>
- [11] FranklinS, F., Professor, A., & Student, B. (2017). Replacement of Cement by using Nano Titanium Dioxide in Concrete. In *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development/* (Vol. 5). www.ijssrd.com
- [12] Haider, A. J., Al-Anbari, R. H., Kadhim, G. R., & Salame, C. T. (2017). Exploring potential Environmental applications of TiO₂ Nanoparticles. *Energy Procedia*, 119, 332–345. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.117>
- [13] Hassan, M. M., Dylla, H., Mohammad, L. N., & Rupnow, T. (2010). Evaluation of the durability of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 24(8), 1456–1461.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.009>
- [14] He, R., Huang, X., Zhang, J., Geng, Y., & Guo, H. (2019). Preparation and evaluation of exhaust-purifying cement concrete employing titanium dioxide. *Materials*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/ma12132182>
- [15] Jagadesh, P., Nagarajan, V., Karthik, T., & Karthik Arunachalam, K. (2022). *Effect of nano titanium di oxide on mechanical properties of fly ash and ground granulated blast furnace slag based geopolymer concrete*.
- [16] Jalal, M. (2012). Durability enhancement of concrete by incorporating titanium dioxide nanopowder into binder. In *Journal of American Science* (Vol. 8, Issue 4).
<http://www.americanscience.org>
<http://www.americanscience.org>.39.
- [17] Jayapalan, A. R., Lee, B. Y., & Kurtis, K. E. (n.d.). *Effect of Nano-sized Titanium Dioxide on Early Age Hydration of Portland Cement*.
- [18] Joshaghani, A., Balapour, M., Mashhadian, M., & Ozbakkaloglu, T. (2020). Effects of nano-TiO₂, nano-Al₂O₃, and nano-Fe₂O₃ on rheology, mechanical and durability properties of self-consolidating concrete (SCC): An experimental study. *Construction and Building Materials*, 245.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118444>
- [19] Khataee, R., Heydari, V., Moradkhannejhad, L., Safarpour, M., & Joo, S. W. (2013). Self-cleaning and mechanical properties of modified white cement with nanostructured TiO₂. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(7), 5109–5114. <https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7586>
- [20] Lee, B. Y. (2012). *EFFECT OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES ON EARLY AGE AND LONG TERM PROPERTIES OF CEMENTITIOUS MATERIALS*.
- [21] Li, S., Hu, M., Chen, X., Sui, S., Jin, L., Geng, Y., Jiang, J., & Liu, A. (2023). The performance and functionalization of modified cementitious materials via nano titanium-dioxide: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02414>
- [22] Mahmood, R. A., & Kockal, N. U. (2021). Nanoparticles used as an ingredient in different types of concrete. In *SN Applied Sciences* (Vol. 3, Issue 5). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04461-3>
- [23] Mohamed, A. M. (2016). Influence of nano materials on flexural behavior and compressive strength of concrete. *HBRC Journal*, 12(2), 212–225.
<https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.11.006>
- [24] Mohseni, E., & Tsavdaridis, K. D. (2016). Effect of nano-alumina on pore structure and durability of class F fly ash self-compacting mortar. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(2), 323–333.
<https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.323.333>
- [25] Mostafa, F. E. Z. M., Smarzewski, P., el Hafez, G. M. A., Farghali, A. A., Morsi, W. M., Faried, A. S., & Tawfik, T. A. (2023). Analyzing the Effects of Nano-

- Titanium Dioxide and Nano-Zinc Oxide Nanoparticles on the Mechanical and Durability Properties of Self-Cleaning Concrete. *Materials*, 16(21). <https://doi.org/10.3390/ma16216909>
- [26] Nazari, A., & Riahi, S. (2011). The effects of TiO₂ nanoparticles on properties of binary blended concrete. In *Journal of Composite Materials* (Vol. 45, Issue 11, pp. 1181–1188). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0021998310378910>
- [27] Nazari, A., Riahi, S., Riahi, S., Fatemeh Shamekhi, S., & Khademno, A. (2010). Assessment of the effects of the cement paste composite in presence TiO₂ nanoparticles. In *Journal of American Science* (Vol. 6, Issue 4). <http://www.americanscience.org/editor@americanscience.org>
- [28] Patel, N., & Mishra, C. B. (2018). LABORATORY INVESTIGATION OF NANO TITANIUM DIOXIDE (TiO₂) IN CONCRETE FOR PAVEMENT. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- [29] Rafieipour, M. H., Nazari, A., Mohandesi, M. A., & Khalaj, G. (2012). Improvement compressive strength of cementitious composites in different curing media by incorporating ZrO₂ nanoparticles. *Materials Research*, 15(2), 177–184. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392012005000008>
- [30] Rahim, A., & Nair, S. R. (n.d.). *Influence of Nano-Materials in High Strength Concrete*. www.jchps.com
- [31] Rawat, G., Gandhi, S., & Murthy, Y. I. (2022). A critical assessment on the effect of nano-titanium dioxide on the properties of concrete. *Gradjevinar*, 74(8), 553–560. <https://doi.org/10.14256/JCE.3291.2021>
- [32] Rawat, G., Gandhi, S., & Murthy, Y. I. (2022). Strength and rheological aspects of concrete containing nano-titanium dioxide. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(8), 1197–1208. <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00476-2>
- [33] Reches Y (2018) Nanoparticles as concrete additives: review and perspectives. *Constr Build Mater* 175:483–495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.214>
- [34] Reches, Y., Thomson, K., Helbing, M., Kosson, D. S., & Sanchez, F. (2018). Agglomeration and reactivity of nanoparticles of SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, and clays in cement pastes and effects on compressive strength at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 167, 860–873. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.032>
- [35] Salman, M. M., Eweed, K. M., & Hameed, A. M. (n.d.). Influence of partial replacement TiO₂ nanoparticles on the compressive and flexural strength of ordinary cement mortar. In *College of Engineering Journal (NUCEJ)* (Vol. 91, Issue 2).
- [36] Saloma, Nasution, A., Imran, I., & Abdullah, M. (2015). Improvement of concrete durability by nanomaterials. *Procedia Engineering*, 125, 608–612. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.078>
- [37] Sastry, K. V. S. G. K., Sahitya, P., & Ravitheja, A. (2021). Influence of nano TiO₂ on strength and durability properties of geopolymer concrete. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1017–1025. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.139>
- [38] Selvasofia, S. D. A., Sarojini, E., Moulica, G., Thomas, S., Tharani, M., Saravanakumar, P. T., & Kumar, P. M. (2021). Study on the mechanical properties of the nanoconcrete using nano-TiO₂ and nanoclay. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1319–1325. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.242>
- [39] Sharma, S., Kaur, I., & Gupta, S. (2019). Effect of Fly Ash and Nano Titanium Dioxide on Compressive Strength of Concrete. *Compressive Strength of Concrete Article in International Journal of Engineering and Technology*, 9001, 2262. <https://www.researchgate.net/publication/337811656>
- [40] Shekari, A. H., & Razzaghi, M. S. (2011). Influence of nano particles on durability and mechanical properties of high performance concrete. *Procedia Engineering*, 14, 3036–3041. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.382>
- [41] Shen, W., Zhang, C., Li, Q., Zhang, W., Cao, L., & Ye, J. (2015). Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning

- concrete. *Journal of Cleaner Production*, 87(C), 762–765.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.014>
- [42] Sorathiya, J., Shah, S., & Kacha, S. (2018). *Effect on Addition of Nano "Titanium Dioxide" (TiO₂) on Compressive Strength of Cementitious Concrete. 1*, 219–211. <https://doi.org/10.29007/sq9d>
- [43] Staub de Melo, J. V., & Trichês, G. (2018). Study of the influence of nano-TiO₂ on the properties of Portland cement concrete for application on road surfaces. *Road Materials and Pavement Design*, 19(5), 1011–1026.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1285811>
- [44] Teixeira, K. P., Rocha, I. P., Carneiro, L. D. S., Flores, J., Dauer, E. A., & Ghahremaninezhad, A. (2016). The effect of curing temperature on the properties of cement pastes modified with TiO₂ nanoparticles. *Materials*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/ma9110952>
- [45] Umamaheswari, R., & Monisha, S. (2008). EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CONCRETE USING TITANIUM DIOXIDE. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2326. www.irjet.net
- [46] Vasudevareddy, P., Prabhakaran, G., Sreeja, K., Naik, R. N., Sailaja, C., & Indraja, V. (n.d.). Effect Of Nano-Titanium Dioxide and Amorphous Silica on Fresh and Hardened Concrete. In *Journal of Survey in Fisheries Sciences* (Vol. 10, Issue 4S).
- [47] Wang, H., Zhao, P., Wang, S., Lu, L., & Cheng, X. (2017). Effect of well-dispersed nano-TiO₂ on sulphoaluminate cement hydration and its application in photo-degradation. *Ceramics - Silikaty*, 61(4), 301–308.
<https://doi.org/10.13168/cs.2017.0029>
- [48] Wang, L., Zhang, H., & Gao, Y. (2018). Effect of TiO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties of cement at low temperatures. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018.
<https://doi.org/10.1155/2018/8934689>
- [49] Wu, D., Wang, Z., Pan, Y., Huang, J., Fernández-Steeger, T. M., Xu, C., Tang, X., Long, Z., & Tang, Y. (2023). Study on the Constitutive Relationship between Ordinary Concrete and Nano-Titanium Dioxide-Modified Concrete at High Temperature. *Materials*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/ma16144910>
- [50] Wu, L., Mei, M., Li, Z., Liu, S., & Wang, X. (2022). Study on photocatalytic and mechanical properties of TiO₂ modified pervious concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01606>
- [51] Yu, X., Kang, S., & Long, X. (2018). Compressive strength of concrete reinforced by TiO₂ nanoparticles. *AIP Conference Proceedings*, 2036.
<https://doi.org/10.1063/1.5075659>



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