

Analisis Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Parsial Semen menggunakan Titanium Dioksida (TiO₂)

Muhammad Taufiq¹, Mustakim², Kasmaida³

^{1,2,3} Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

E-mail: muhtaufiq44550@gmail.com¹, mtq2mk@gmail.com², kasmaida80@gmail.com³

Article History:

Received: 14 Juli 2025

Revised: 05 Agustus 2025

Accepted: 16 Agustus 2025

Keywords: *Compressive Strength, Titanium Dioxide, Cement, Substitution*

Abstract: Semen merupakan komponen utama dalam beton, namun proses produksinya menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar yang berdampak pada lingkungan. Titanium dioksida (TiO₂) berpotensi menjadi bahan substitusi parsial semen yang lebih ramah lingkungan serta dapat memengaruhi kuat tekan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan perbandingan kuat tekan antara beton normal dengan beton yang disubstitusi sebagian semennya menggunakan TiO₂. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi campuran beton normal, beton dengan penambahan TiO₂ sebesar 1%, dan 3%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan TiO₂ berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada campuran 1% TiO₂, kuat tekan mencapai 20,035 MPa sesuai rencana, pada campuran 3% terjadi penurunan menjadi 19,659 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar TiO₂ tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton. Secara umum, beton dengan substitusi TiO₂ memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal.

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki kekuatan tekan tinggi, ketahanan terhadap cuaca, serta kemudahan dalam pembentukan dan pemeliharaan. Namun, salah satu komponen utama beton, yaitu semen, merupakan penyumbang signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂). Berdasarkan data dari International Energy Agency (IEA), industri semen menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO₂ global. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi dalam pengembangan material beton yang lebih ramah lingkungan, salah satunya melalui upaya substitusi parsial semen dengan material alternatif yang memiliki kinerja serupa atau bahkan lebih baik (Srinivasan & Pothukuchi Sravana, 2025).

Salah satu material yang potensial untuk digunakan sebagai substitusi sebagian semen adalah titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ dikenal sebagai material berukuran nano dengan sifat fotokatalitik, memiliki luas permukaan tinggi, dan mampu berperan sebagai filler aktif dalam campuran beton. Penambahan TiO₂ ke dalam campuran beton diyakini dapat meningkatkan kinerja mekanik beton, mempercepat reaksi hidrasi, memperhalus mikrostruktur, serta menurunkan porositas, sehingga berpotensi meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa TiO_2 mampu memberikan kontribusi positif terhadap karakteristik beton, meskipun hasilnya sangat bergantung pada dosis dan kondisi pencampuran. Penelitian oleh (Aghniaey, S., Muttill, N., & Borhani, 2023) menunjukkan bahwa substitusi semen dengan TiO_2 sebesar 2% mampu meningkatkan kuat tekan beton, namun penambahan di atas 3% justru menurunkan kekuatan karena terjadinya aglomerasi partikel. Penambahan TiO_2 sebesar 5% memberikan peningkatan kuat tekan hingga 12% (Daniyal et al., 2019). Sementara itu, penelitian lain menyatakan bahwa dosis optimal sebesar 3% mampu memperbaiki mikrostruktur dan mengurangi porositas beton (Laim et al., 2021).

Penelitian-penelitian terbaru turut menguatkan temuan tersebut. Studi oleh (Aghniaey, S., Muttill, N., & Borhani, 2023) menunjukkan bahwa penambahan nano- TiO_2 sebesar 0,6% dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 28% dibandingkan beton normal, sementara penambahan di atas 0,8% menurunkan performa akibat aglomerasi partikel. Penelitian oleh (Silawat & Kumar, 2016) dalam Innovative Infrastructure Solutions juga mengungkapkan bahwa kombinasi TiO_2 ultra-halus dengan silica fume dan nano-silica dapat meningkatkan kuat tekan hingga 14%. Selain itu, studi oleh (Srinivasan & Pothukuchi Sravana, 2025) pada beton daur ulang menyatakan bahwa penggunaan TiO_2 sebesar 0,4% mampu memperbaiki kekuatan tarik dan memperlambat degradasi internal beton.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi parsial semen dengan titanium dioksida (TiO_2) terhadap kuat tekan beton, serta menentukan dosis optimum yang memberikan hasil kuat tekan terbaik pada umur tertentu. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan beton ramah lingkungan dengan performa mekanik yang unggul.

LANDASAN TEORI

Beton

Beton merupakan salah satu bahan material yang umum digunakan dalam dunia konstruksi khususnya pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan pembangunan gedung gedung (Sulfanita et al., 2023). Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (portland cement), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (admixture atau additivie) (Mulyono, 2004).

(SNI 2847:2013) menjelaskan bahwa beton merupakan suatu campuran semen portlan ataupun semen lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air, campuran beton juga dapat ditambahkan oleh bahan tambah (*admixture*). Beton akan mengeras dan membeku setelah mengalami pencampuran dengan air, beton akan semakin mengeras seiring dengan pertambahan umur beton. Beton akan mencapai kekuatan rencana pada umur 28 hari (Tjokrodinuljo, 2007).

Semen *Ordinary Portland Cement* (OPC)

Semen Ordinary Portland Cement (OPC) adalah jenis semen paling umum dalam industri konstruksi karena kekuatannya yang tinggi dan waktu pengerasan yang cepat. Semen ini terbuat dari batu kapur, tanah liat, dan bahan tambahan lainnya yang dibakar menjadi klinker dan digiling bersama gipsum (SNI 15-2049-2004).

Komposisi kimia utama OPC meliputi CaO (60–67%), SiO_2 (20–25%), Al_2O_3 (3–8%), dan Fe_2O_3 (0,5–6%). OPC memiliki karakteristik berupa waktu pengerasan awal 1–2 jam, kekuatan penuh dalam 28 hari, warna abu-abu atau putih pucat, dan kekuatan tekan hingga 42,5–52,5 MPa tergantung jenisnya. Semen ini banyak digunakan untuk pengecoran beton, plesteran, pembangunan jalan, dan berbagai proyek konstruksi lainnya (Mustakim et al., 2024)

Secara fisik, OPC berbentuk bubuk halus dengan kepadatan sekitar 1440 kg/m^3 dan kadar air rendah. Kelebihanannya adalah kekuatan tinggi, serbaguna, dan mudah digunakan. Namun, kekurangannya meliputi waktu pengerasan cepat dan dampak lingkungan tinggi akibat emisi CO_2 selama proses produksinya (Kasmaida et al., 2023).

Tabel 1. Komposisi Semen OPC, SNI 15-2049-2004

No	Senyawa	Persentase (%)
1.	Kalsium Oksida (CaO)	60-67%
2.	Silika (SiO_2)	20-25%
3.	Alumina (Al_2O_3)	3-8%
4.	Ferro (Fe_2O_3)	0.5-6%
5.	Magnesium Oxide (MgO)	0-5%



Gambar 2. Semen OPC

Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) adalah senyawa anorganik yang memiliki sifat fisik dan kimia unik, seperti kemampuan fotokatalitik, ketahanan terhadap korosi, daya serap terhadap sinar ultraviolet (UV), serta warna putih cerah yang khas. Dalam bidang teknik sipil, TiO_2 dimanfaatkan untuk meningkatkan ketahanan struktur, efisiensi energi, dan daya tahan terhadap pengaruh lingkungan. Senyawa ini tersedia dalam bentuk kristalin, seperti anatase, rutil, dan brookite, dengan bentuk anatase paling dikenal karena kemampuannya memecah polutan melalui reaksi fotokatalitik saat terpapar sinar UV (Laím et al., 2021).

TiO_2 digunakan secara luas dalam cat dan pelapis bangunan guna memberikan perlindungan terhadap cuaca dan polusi, serta dalam cat marka jalan yang dapat membantu menguraikan polusi udara seperti nitrogen oksida (NO_x). Selain itu, TiO_2 diaplikasikan dalam beton fotokatalitik yang mampu membersihkan diri dan mengurangi akumulasi kotoran maupun polutan, serta meningkatkan ketahanan beton terhadap lumut dan jamur. Di lingkungan yang agresif, seperti daerah pesisir, TiO_2 juga berfungsi sebagai bahan pelindung anti-korosi terhadap pengaruh garam dan bahan kimia (Daniyal et al., 2019).

Tidak hanya itu, senyawa ini digunakan dalam bahan komposit konstruksi, seperti panel fasad dan pelapis lantai, yang menuntut daya tahan tinggi terhadap cuaca dan usia material. Meskipun memiliki banyak keunggulan, penggunaan TiO_2 masih menghadapi beberapa tantangan, seperti biaya produksi yang relatif tinggi, dampak lingkungan dari proses ekstraksi dan pemurnian, serta penurunan efektivitas dalam jangka panjang akibat paparan sinar matahari langsung (Janus et al., 2019).



Gambar 2. Titanium Dioksida TiO₂

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau tekanan per satuan luas hingga batas maksimum sebelum terjadi keruntuhan (Tangkelayuk et al., 2024). Nilai kuat tekan beton biasanya dinyatakan dalam satuan MPa (*megapascal*) atau kg/cm², yang diperoleh melalui uji tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder atau kubus. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan benda uji di mesin tekan dan memberikan tekanan secara bertahap hingga benda uji retak atau hancur. Kuat tekan adalah salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas dan kemampuan beton dalam mendukung beban struktural (SNI 1974-2011).

Perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan,

F'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang menerima beban



Gambar 3. Kuat Tekan Beton

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

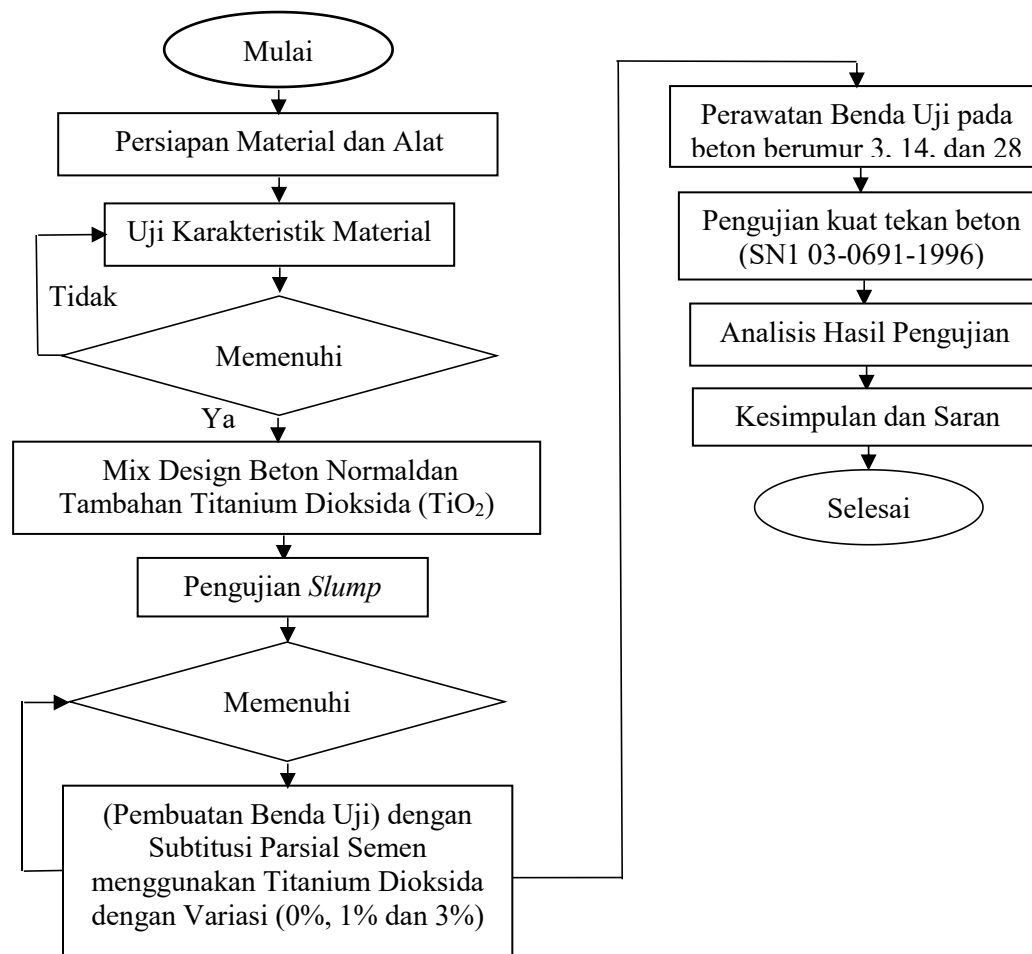
Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu metode yang melibatkan penggunaan angka mulai dari pengumpulan data hingga penyajian hasilnya, yang biasanya disertai gambar, tabel, atau grafik. Data hasil penelitian kemudian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium menggunakan metode eksperimental.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare. Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan yaitu dimulai pada tanggal 20 Januari 2025 – 15 Maret 2025.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan yang diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnya data akan disajikan dalam tabel maupun grafik sehingga kita dapat mengetahui peringkat yang dihasilkan pada umur rencana. Dari analisis ini kita dapat mengetahui karakteristik kualitas benda uji beton normal berdasarkan variasi penambahan (TiO_2) terhadap kuat tekan beton.



Gambar 4. Contoh Diagram

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap

agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

Hasil Pengujian Agregat

Tabel. 2 Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 5%	4,10%
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1
3	Kadar air	2% - 5%	4,49%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1,56
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1,68
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1,52%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2,39
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,31
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2,34
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3,07

Tabel. 3 Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0,76%
2	Keausan	Maks 50%	25,5%
3	Kadar air	0,5% - 2%	1,58%
4	Berat volume		
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1,68
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1,74
5	Absorpsi	Maks 2%	3,57%
6	Berat jenis spesifik		
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	3,28
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2,9
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	3,04
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6,66

Pada Tabel 2 dan Tabel 3, menunjukkan bahwa agregat pasir sungai dan kerikil memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran beton. Dengan karakteristik tersebut, agregat pasir sungai dan kerikil dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton yang berkualitas.

Perencanaan Adukan Campuran Beton (*Mix Design*)

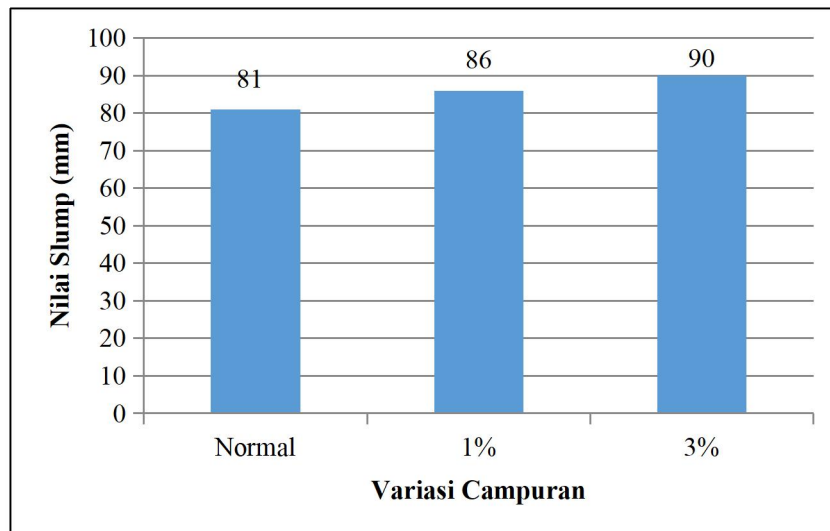
Pada penelitian ini digunakan variasi beton normal, Titanium Dioksida 1%, Titanium Dioksida 3% . Rancangan campuran beton dihitung berdasarkan SNI 7656:2012, yaitu sebagai berikut:

Tabel. 4 Mix Design Beton

No	Variasi Campuran (%)	Semen (Kg)	Kerikil (Kg)	Pasir (Kg)	Air (Kg)
1	Beton Normal	2,10	6,17	4,22	1,18
2	1%	2,08	6,17	4,22	1,18
3	3%	2,04	6,17	4,22	1,18

Nilai Slump Test

Kerucut Abraham digunakan untuk menilai validitas Slump tes. Kerucut Abraham pertama kali dibasahi sebelum diletakkan di permukaan yang rata. Kerucut kemudian diisi dengan tiga lapis beton baru, yang bagian atasnya diratakan setelah tiap lapis diisi dengan 1/3 volume kerucut abraham dan ditusuk 25 kali, dengan tusukan berlanjut hingga dasar tiap lapis. Kerucut dinaikkan perlahan secara vertikal selama sekitar 30 detik, setelah itu nilai slump dihitung dengan mengukur tinggi campuran dan membandingkannya dengan tinggi kerucut:



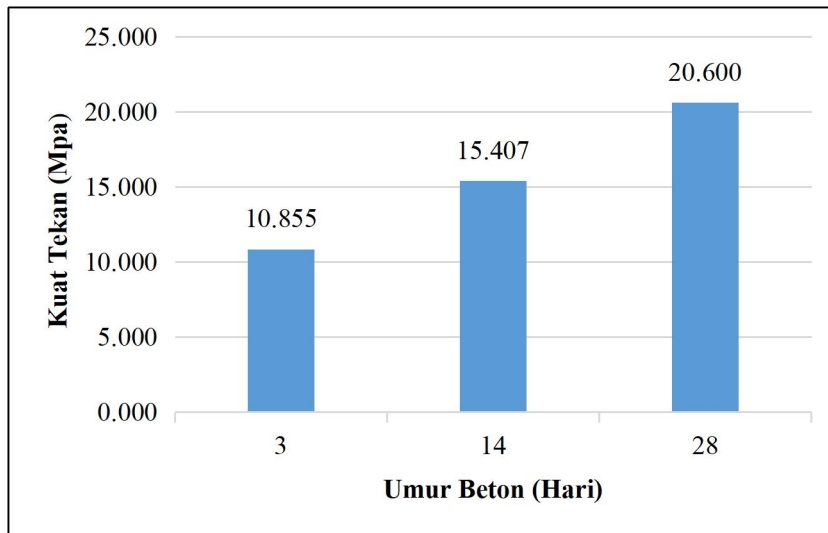
Gambar 5. Perbandingan Nilai Slump pada Setiap Variasi

Pada Gambar 5, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton normal dengan variasi penambahan 1% Titanium dioksida mengalami kenaikan nilai slump test sebesar 6%, sedangkan beton normal dengan variasi penambahan 3% Titanium dioksida mengalami nilai slump test sebesar 11%.

Kuat Tekan Beton

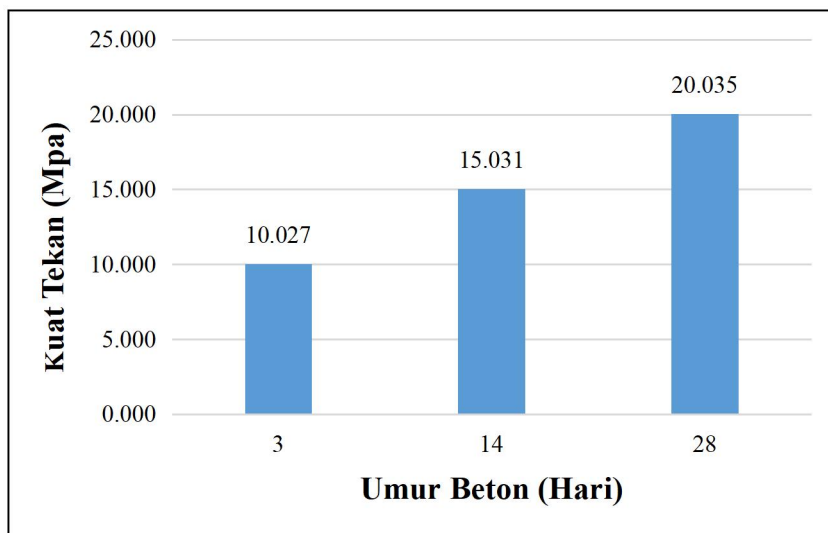
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kuat tekan pada silinder ukuran 15 x 30 cm, sehingga benda uji yang telah selesai diberikan perawatan selama 7, 21 dan 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat tekan.

Pada Gambar 6, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton berumur 3 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 42% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 4,552 Mpa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 34% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,193 Mpa.



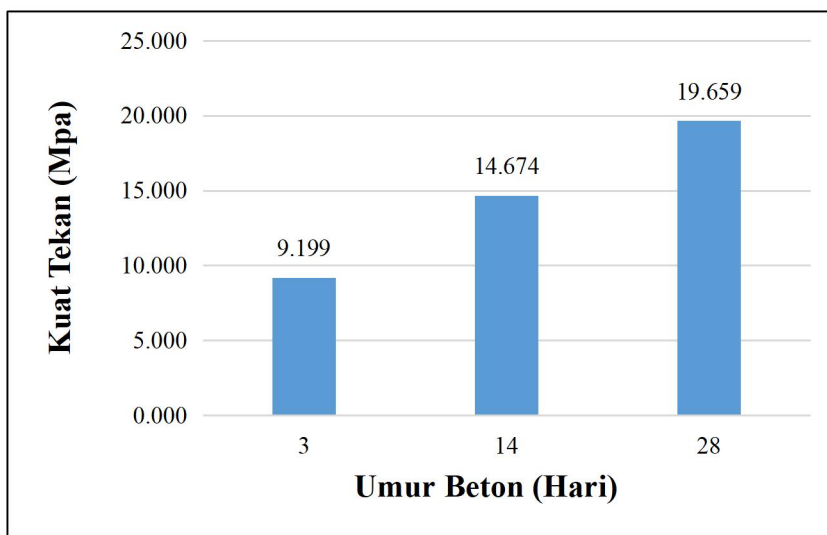
Gambar 6. Kuat Tekan Beton Normal

Pada Gambar 7, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton berumur 3 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 50% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,004 Mpa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 33% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,004 Mpa.



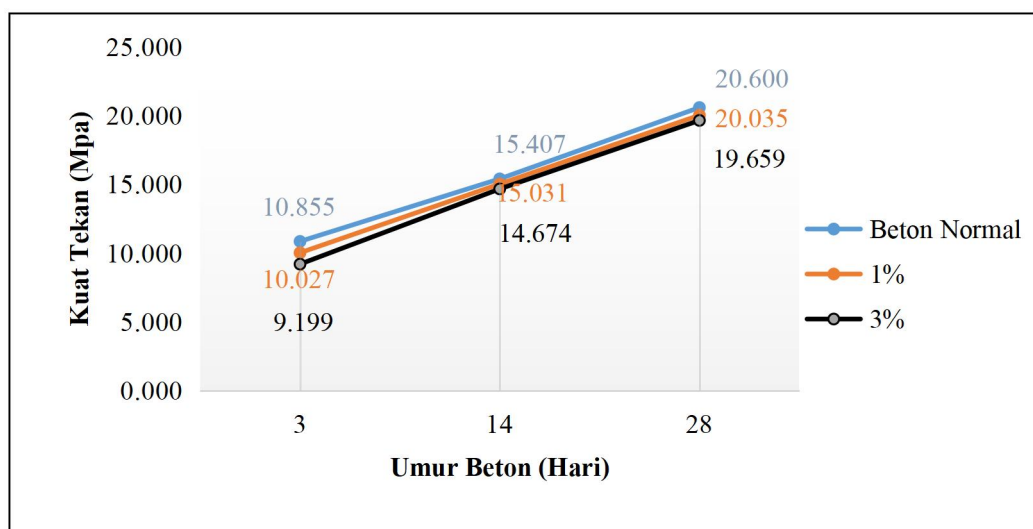
Gambar 7. Kuat Tekan Beton Variasi Titanium Dioksida 1%

Pada Gambar 8, dapat diuraikan penjelasan bahwa pada beton berumur 3 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 60% dari beton berumur 14 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 5,475 Mpa, dan untuk beton yang berumur 14 hari kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 34% dari beton berumur 28 hari dengan hasil kuat tekan sebesar 4,985 Mpa.



Gambar 8. Kuat Tekan Beton Variasi Titanium Dioksida 3%

Dari Gambar 9 grafik yang ditampilkan, diketahui bahwa penambahan Titanium Dioksida (TiO_2) menyebabkan penurunan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Pada umur 3, 14, dan 28 hari, penurunan kuat tekan terjadi baik pada variasi 1% maupun 3% TiO_2 , dengan nilai penurunan tertinggi pada variasi 3%. Meski demikian, kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur. Beton dengan variasi 1% TiO_2 masih memenuhi kuat tekan rencana dan layak digunakan, sedangkan variasi 3% tidak memenuhi standar kuat tekan sehingga tidak disarankan untuk konstruksi.



Gambar 9. Grafik Gabungan Kuat Tekan Beton

Beton tanpa penambahan Titanium dioksida (TiO_2) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan penambahan TiO_2 pada semua umur pengujian (3, 14, dan 28 hari). Misalnya, pada umur 28 hari, beton normal mencapai kuat tekan 20,600 MPa, sedangkan beton dengan 1% dan 3% TiO_2 masing-masing hanya mencapai 20,035 MPa dan 19,659 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 dalam campuran semen secara parsial justru menurunkan kuat tekan beton.

KESIMPULAN

Penambahan Titanium dioksida (TiO_2) berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pada campuran dengan 1%, kuat tekan beton mencapai 20,035 MPa, sesuai dengan yang direncanakan. Namun, pada campuran dengan 3% Titanium dioksida (TiO_2), kuat tekan menurun menjadi 19,659 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak Titanium dioksida (TiO_2) yang ditambahkan, semakin rendah kuat tekan beton. Perbandingan kuat tekan beton tanpa Titanium dioksida (TiO_2), dengan kuat tekan beton dengan campuran Titanium dioksida (TiO_2) memiliki kuat tekan yang lebih rendah.

DAFTAR REFERENSI

- Mustakim Mustakim, Muh. Faridh Wajeni R, & Adnan Adnan. (2024). Kekuatan Tekan Beton Berpori Additive Sika Fume Mix Self Compacting Concrete. *Manufaktur*, 2(2), 134–148.
- Aghniaey, S., Muttill, N., & Borhani, M. (2023). Effect of nano- TiO_2 on mechanical and durability properties of concrete: An experimental and statistical study. *Journal of Building Engineering*, 63, 105742.
- Daniyal, M., Akhtar, S., & Azam, A. (2019). Effect of nano- TiO_2 on the properties of cementitious composites under different exposure environments. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6158–6172.
- Indonesia, S. N. (2004). *SNI 15- 2049-2004: Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional.
- Indonesia, S. N. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011*. Badan Standardisasi Nasional.
- Indonesia, S. N. (2012). *SNI 2847:2013: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Janus, M., Madraszewski, S., Zajac, K., Kusiak-Nejman, E., Morawski, A. W., & Stephan, D. (2019). Photocatalytic activity and mechanical properties of cements modified with TiO_2/N . *Materials*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/ma12223756>
- Kasmaida, K., Syamsuddin, M. S., Hamsyah, H., & Jabir, M. (2023). Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton K-200 Dan Substitusi Serbuk Tempurung Kelapa Terhadap Beton Normal. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 107–110. <https://doi.org/10.31850/karajata.v3i2.2690>
- Laím, L., Caetano, H., & Santiago, A. (2021). Effects of nanoparticles in cementitious construction materials at ambient and high temperatures. *Journal of Building Engineering*, 35(102008).
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi Offset.
- Silawat, R., & Kumar, A. (2016). *Studies on Fiber Reinforced Concrete*. 4(07), 764–766.
- Srinivasan, M., & Pothukuchi Sravana. (2025). Experimental Study on the Influence of TiO_2 and GGBS on Concrete Durability and Impact Strength. *Journal of Building Material Science*, 7(2), 136–152. <https://doi.org/10.30564/jbms.v7i2.9695>
- Sulfanita, A., Fadly, I., Syahril, M., & Ruslan, A. S. N. (2023). Studi Eksperimen Pengujian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar terhadap Beton Normal. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(2), 1199–1205.
- Tangkelayuk, B., Tonapa, S. R., & Febriani, L. (2024). Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Pada Beton Normal. *Paulus Civil Engineering Journal*, 6(4), 587–597.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Andi Offset.