

Kajian Maturitas Beton untuk Memprediksi Nilai Kuat Tekan dengan Variasi Kadar *Accelerator*

Muhammad Arjunov Ramadhan Genta Buana*, Wibowo, Setiono

Universitas Sebelas Maret

Abstrak: Metode maturitas beton (*maturity method*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton. Terdapat beberapa model prediksi yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan kuat tekan dengan metode maturitas, salah satunya yaitu persamaan logaritmis. Penelitian ini menggunakan metode uji eksperimental yang bertujuan untuk menentukan indeks *maturity* dalam memprediksi nilai kuat tekan pada beton dengan variasi kadar *accelerator* sebesar 0%; 1,5%; 2%; dan 2,5% dari berat binder. Selanjutnya membandingkan nilai kuat tekan antara metode maturitas dengan metode *destructive test*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan sensor suhu yang dimasukkan sedalam ± 15 cm. Pengukuran suhu dilakukan pada umur 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dan pengujian kuat tekan dengan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode prediksi persamaan logaritmis dalam kurva hubungan kuat tekan-*maturity* pada beton dengan variasi kadar *accelerator* 0%; 1,5%; 2%; dan 2,5% menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) secara berturut-turut sebesar 0,9679; 0,9255; 0,9604; dan 0,9473. Selisih kuat tekan beton antara metode *destructive test* dan metode *maturity* pada kadar *accelerator* 1,5% saat umur 14 hari menghasilkan selisih kuat tekan paling besar, yaitu 3,35%.

Kata kunci: *Accelerator*, Kuat Tekan, Metode Maturitas, Persamaan Logaritmis.

DOI:

<https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i3.3019>

*Correspondence: Muhammad Arjunov
Ramadhan Genta Buana

Email: muhammadarjunov@gmail.com

Received: 01-05-2024

Accepted: 15-06-2024

Published: 31-07-2024



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for open access publication
under the terms and conditions of the
Creative Commons Attribution (CC BY) license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: This research stands out for its use of an innovative experimental test method to determine the maturity index in predicting the compressive strength value of concrete. The method involves variations in accelerator content of 0%, 1.5%, 2%, and 2.5% of the binder weight. The compressive strength value is then compared between the maturity and destructive test methods. The test object used was a cylinder with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm with a temperature sensor inserted ± 15 cm deep. Temperature measurements were taken at 1, 3, 7, 14, 21, and 28 days, and compressive strength testing with a *Compression Testing Machine* (CTM) was conducted at the ages of 7, 14, and 28 days. The results showed that the prediction method of the logarithmic equation in the compressive strength-maturity relationship curve in concrete with variations in accelerator content of 0%, 1.5%, 2%, and 2.5% produced a coefficient of determination (R^2) value of 0.9679; 0.9255; 0.9604; and 0.9473, respectively. The difference in concrete compressive strength between the destructive test method and the maturity method at 1.5% accelerator content at the age of 14 days produces the most significant difference in compressive strength, which is 3.35%.

Keywords: *Accelerator*, *Compressive Strength*, *Concrete Maturity*, *Logarithmic Equation*.

Pendahuluan

Dalam proyek pembangunan, terdapat beragam pilihan bahan konstruksi yang dapat digunakan. Saat ini, beton menjadi salah satu bahan konstruksi yang sangat diunggulkan. Pembangunan di Indonesia tidak bisa berjalan tanpa keterlibatan beton, yang digunakan mulai dari proyek konstruksi sederhana hingga yang paling kompleks. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan bahan baku beton yang mudah diperoleh dan proses konstruksi yang dianggap relatif mudah. Beton juga memiliki kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan terhadap cuaca, dan ketahanan terhadap air, menjadikannya pilihan ideal untuk struktur yang berinteraksi langsung dengan air.

Mc. Cormac (2014) menjelaskan bahwa beton adalah campuran dari berbagai komponen seperti pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat lainnya yang dicampur dengan pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini akan membentuk struktur yang menyerupai batuan. Terkadang, bahan aditif tertentu ditambahkan untuk memberikan sifat-sifat tertentu pada beton, seperti kemudahan dalam pengolahan, daya tahan, dan waktu pengerasan. Contoh bahan aditif yang sering digunakan adalah *accelerator*. *Accelerator* digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi), sehingga mempercepat pelaksanaan proses konstruksi. Selain itu, *accelerator* juga dapat mempercepat pencapaian kekuatan beton, sehingga menghasilkan campuran beton dengan kekuatan tinggi yang dapat dicapai dalam waktu yang singkat.

Terdapat banyak kemajuan metode yang bertujuan untuk memperkirakan kekuatan beton, salah satunya dapat dilakukan langsung di lokasi proyek. Dalam rangka mempercepat waktu pelaksanaan, meningkatkan aspek keselamatan, serta memperbaiki teknik konstruksi, penetapan kekuatan beton bisa dilakukan secara *real-time*. Mengacu pada standar ASTM C1074, pengujian kuat tekan beton di tempat dapat mengoptimalkan proses konstruksi penting seperti pembongkaran dan pemasangan ulang bekisting, pengencangan kabel pra-tekan, perlindungan terhadap cuaca dingin, dan peralihan lalu lintas. Salah satu cara untuk memperkirakan kekuatan beton secara langsung di lokasi adalah dengan metode maturitas beton.

Metode maturitas beton merupakan pendekatan pengujian *non-destructive* yang memungkinkan untuk memperkirakan umur awal dan kuat tekan beton secara aktual di tempat. Pendekatan ini didasarkan pada persamaan yang menghitung suhu beton, waktu, dan perolehan kekuatan. Kematangan dihitung dengan melacak perubahan suhu beton segar dari waktu ke waktu. Setiap campuran beton memiliki hubungan antara kekuatan dan kematangannya sendiri, sehingga kematangan dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan campuran tersebut kapan saja setelah dituang. Setelah kematangan suatu beton tertentu diketahui, hubungan antara kekuatan dan kematangan beton tersebut dapat digunakan untuk membuat estimasi kekuatan yang dapat diandalkan.

Penggunaan metode maturitas (*maturity method*) diharapkan tidak perlu membuang waktu dan biaya yang berharga untuk menunggu hasil uji silinder tekan di laboratorium. Kuat tekan beton dapat diestimasi melalui persamaan yang dihasilkan dan digambarkan dalam kurva hubungan kuat tekan-*maturity*. Dalam menggambarkan data pengujian pada kurva terdapat beberapa model prediksi yang dapat digunakan, salah satunya yaitu persamaan logaritmis.

Indeks *maturity* (kematangan) beton yang telah dihitung dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton di lapangan. Pada penelitian ini indeks *maturity* (kematangan) beton dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$M_{(t)} = \sum_0^t (T - T_0) \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

$M_{(t)}$ = faktor temperatur-waktu (*maturity*) pada umur t (°C-jam atau °C-hari),

ΔT = interval waktu (jam atau hari),

T = temperatur beton rata-rata selama interval waktu (°C),

T_0 = temperatur datum (°C)

Kemudian untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan indeks *maturity* (kematangan) beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.

$$f_c = a + b \ln(M) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana,

f_c = kuat tekan beton (MPa),

M = indeks maturitas (°C-jam atau °C-hari),

a, b = konstanta

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan mengadakan percobaan secara langsung untuk mendapatkan data-data primer dan dapat membuktikan hubungan antar variabel yang ditinjau. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan variasi faktor air semen dan bahan tambah *accelerator*. Pada penelitian ini, variasi campuran beton yang digunakan berjumlah 4 dengan rincian variasi kadar *accelerator*, yaitu 0%; 1,5%; 2%; 2,5%. Pengujian ini menggunakan masing-masing 4 buah benda uji untuk setiap variasi

campuran beton agar meminimalisasi kesalahan atau penyimpangan data pada saat pengujian. Pengukuran suhu dilakukan pada umur beton 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dan pengujian kuat tekan beton dengan *Compression Testing Machine* (CTM) dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Jumlah dan kode benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji

Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran			
	<i>Accelerator</i> 0%	<i>Accelerator</i> 1,5%	<i>Accelerator</i> 2%	<i>Accelerator</i> 2,5%
7	4	4	4	4
14	4	4	4	4
28	4	4	4	4
Jumlah Benda Uji Per-Variasi (Buah)	12	12	12	12
Jumlah Seluruh Benda Uji (Buah)	48			

Mix Design

Ketentuan terkait material yang digunakan dan perhitungan rancang campur beton merujuk pada ketentuan yang terdapat di SNI sesuai spesifikasi beton K-250. *Mix Design* dengan variasi penambahan *accelerator* diambil berdasarkan SNI dengan faktor air semen (fas) yang digunakan adalah sebesar 0,4 dan kadar *accelerator* sebanyak 0%; 1,5%; 2%; 2,5% dari berat *binder*. Rekapitulasi *Mix Design* terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi *Mix Design*

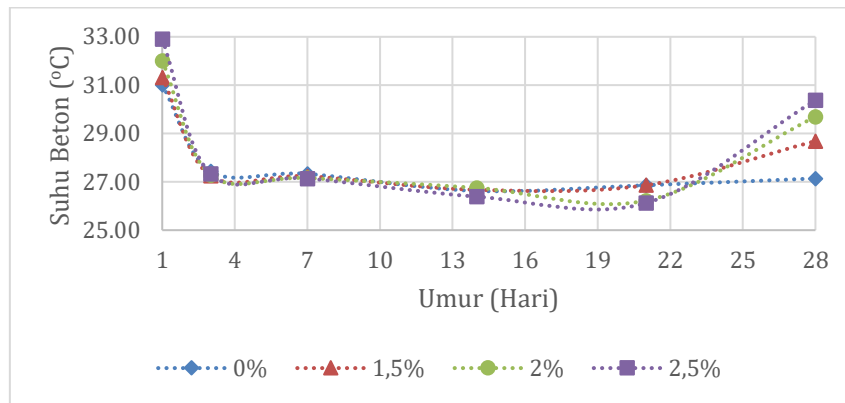
Variasi	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	<i>Accelerator</i> (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
<i>Accelerator</i> 0%	363,17	979,30	828,99	0	207,55
<i>Accelerator</i> 1,5%	363,17	979,30	828,99	5,45	203,92
<i>Accelerator</i> 2%	363,17	979,30	828,99	7,26	202,10
<i>Accelerator</i> 2,5%	363,17	979,30	828,99	9,08	200,29

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Suhu Beton

Pengukuran suhu beton dilakukan pada masing-masing variasi benda uji selama 28 hari. Riwayat suhu beton rata-rata yang didapatkan dari pengukuran suhu digunakan untuk menghitung indeks *maturity* (kematangan) beton. Hasil pengukuran suhu untuk campuran beton dengan variasi bahan tambah *accelerator* disajikan pada Gambar 1. Riwayat

suhu beton rata-rata yang telah diukur digunakan untuk menghitung indeks *maturity* (kematangan) beton kemudian indeks *maturity* (kematangan) beton yang telah dihitung dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton di lapangan.



Gambar 1. Grafik Temperatur Rata-Rata Benda Uji Umur 1,3, 7, 14, 21, dan 28 Hari

Pada Gambar 1 menunjukkan beton yang tidak mengandung *accelerator* mengalami kenaikan suhu lebih cepat dibandingkan beton yang mengandung *accelerator*. Data suhu awal beton rata-rata (umur 1 hari) kadar *accelerator* 0% adalah 29,64°C, kadar *accelerator* 1,5% adalah 30,82°C, kadar *accelerator* 2% adalah 31,69°C, dan kadar *accelerator* 2,5% adalah 31,94°C. Data tersebut menunjukkan bahwa beton dengan kadar *accelerator* yang lebih besar akan menghasilkan suhu awal yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan mekanisme retardasi pada pasta semen tergantung pada jenis campurannya.

Perhitungan Indeks Maturitas

Hasil pengukuran riwayat suhu beton rata-rata kemudian digunakan untuk menghitung indeks *maturity* (kematangan) beton menggunakan Persamaan 1. Hasil indeks *maturity* (kematangan) beton setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

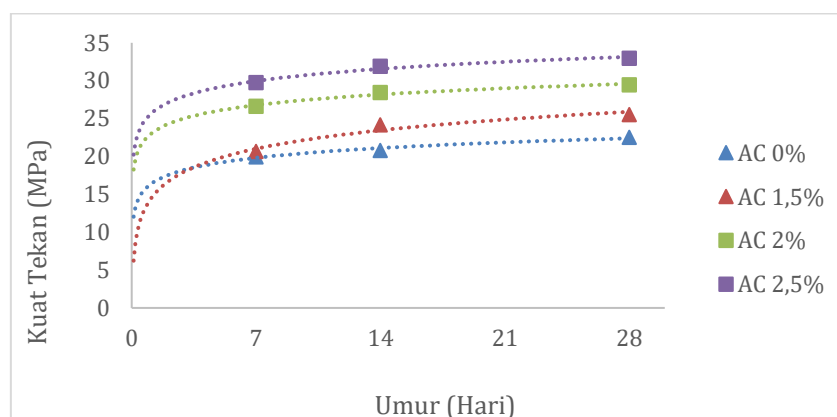
Tabel 3. Indeks *Maturity* Beton

Umur Beton (Jam)	<i>Maturity</i> (°C-jam)			
	<i>Accelerator</i> 0%	<i>Accelerator</i> 1,5%	<i>Accelerator</i> 2%	<i>Accelerator</i> 2,5%
0	-	-	-	-
24	247,92	265,56	284,28	298,08
72	690,90	711,06	747,06	783,66
168	1399,74	1406,10	1440,06	1478,10
336	2571,75	2573,91	2608,29	2614,41
504	3704,49	3710,64	3698,19	3665,25
672	4880,49	5016,63	5035,05	5051,04

Dapat dilihat pada Tabel 3 bahwa indeks *maturity* berbanding lurus dengan umur beton, dimana seiring bertambahnya umur beton maka akan semakin bertambah juga indeks *maturity* yang dihasilkan, tetapi hal ini berlaku pada saat beton berumur 0 sampai 28 hari. Selain itu, semakin tinggi kadar *accelerator* yang digunakan pada beton maka indeks *maturity* yang dihasilkan akan lebih besar juga dengan selisih nilai yang tidak begitu jauh. Untuk beton tanpa tambahan kadar *accelerator* menghasilkan indeks *maturity* yang paling kecil daripada beton dengan bahan tambah *accelerator*.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat umur beton 7, 14, dan 28 hari. Berdasarkan ASTM C 1074, sampel beton yang dilakukan *destructive test* minimal 2 sampel pada setiap umur beton dan kemudian dihitung rata-rata kuat tekannya. Apabila range dari 2 nilai tekan tersebut melebihi 10% dari rata-rata kuat tekan, maka dilakukan pengujian ketiga lalu dihitung rata-rata nilai kuat tekan dari 3 sampel. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.



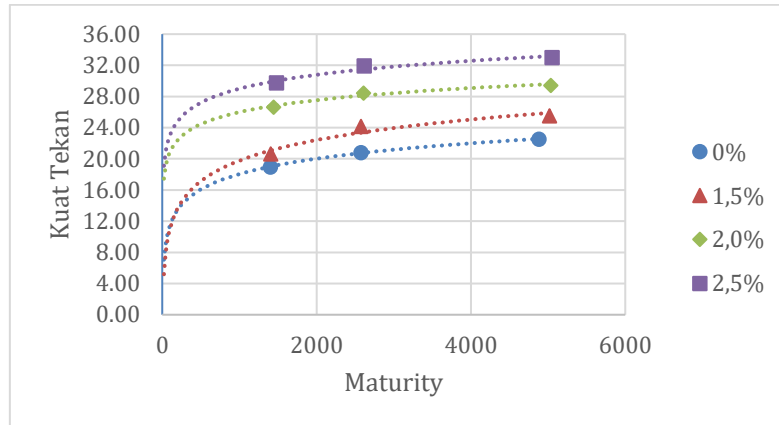
Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton Hingga Umur 28 Hari

Gambar 2 menggambarkan nilai kuat tekan beton dengan variasi kadar bahan tambah *accelerator*. Pada beton yang mengandung kadar *accelerator* 2,5% menghasilkan kuat tekan paling besar sedangkan beton yang tidak menggunakan bahan tambah *accelerator* menghasilkan kuat tekan paling kecil. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar *accelerator* yang digunakan pada beton maka akan semakin besar juga kuat tekan yang dihasilkan.

Prediksi Kuat Tekan Beton dengan Indeks Maturitas

Persamaan logaritmis dinilai dapat digunakan dengan baik untuk mengestimasi nilai kuat tekan berdasarkan indeks *maturity*. Untuk dapat memprediksi nilai kuat tekan beton

dengan menggunakan persamaan logaritmis, harus dapat menentukan konstanta dari persamaan tersebut terlebih dahulu. Konstanta dan koefisien determinasi persamaan didapatkan dari grafik hubungan kuat tekan dan *maturity* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Hubungan Kuat Tekan dengan *Maturity*

Dari Gambar 3 kemudian diperoleh konstanta untuk persamaan logaritmis yang dapat digunakan untuk mengestimasi kuat tekan beton berdasarkan indeks *maturity* untuk masing-masing variasi. Persamaan-persamaan tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Persamaan Logaritmis

Kadar Accelerator	Persamaan Logaritmis
0%	$fc = 4,8741 + 2,0633 \ln(M)$
1,5%	$fc = 4,7016 + 2,4727 \ln(M)$
2%	$fc = 10,568 + 2,2316 \ln(M)$
2,5%	$fc = 11,116 + 2,5869 \ln(M)$

Setelah indeks *maturity* dimasukkan ke dalam persamaan pada Tabel 4 sehingga dihasilkan nilai kuat tekan beton. Hasil perhitungan nilai kuat tekan berdasarkan indeks *maturity* (kematangan) beton dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Indeks *Maturity*

Kadar Accelerator							
0%		1,5%		2%		2,5%	
<i>Maturity</i> (°C-jam)	Kuat Tekan (MPa)	<i>Maturity</i> (°C-jam)	Kuat Tekan (MPa)	<i>Maturity</i> (°C-jam)	Kuat Tekan (MPa)	<i>Maturity</i> (°C-jam)	Kuat Tekan (MPa)
1399,74	19,96	1406,10	22,36	1440,06	26,63	1478,10	29,77
2571,75	20,81	2573,91	24,63	2608,29	28,45	2614,41	31,91
4880,49	22,53	5016,63	25,53	5035,05	29,44	5051,04	32,98

Berdasarkan Tabel 5 beton dengan kadar *accelerator* 0% saat umur 7 hari memiliki indeks *maturity* sebesar 1399,74°C-jam dengan prediksi kuat tekannya 19,96 MPa, sedangkan beton dengan kadar *accelerator* 2% memiliki indeks *maturity* sebesar 1478,10°C-jam dengan prediksi kuat tekannya 29,77 MPa. Dapat disimpulkan bahwa kadar *accelerator* pada beton mempengaruhi indeks *maturity*, semakin banyak beton mengandung *accelerator* maka akan semakin tinggi indeks *maturity* yang dihasilkan. Apabila indeks *maturity* semakin besar, maka nilai kuat tekan beton akan semakin besar juga.

Perbandingan Kuat Tekan dengan Metode Maturitas dan *Destructive Test*

Pada Tabel 6 dapat dilihat perbandingan nilai kuat tekan beton dengan metode *maturity* dan *destructive test*.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton

Umur Beton (Hari)	Metode Pengujian	Kadar Accelerator			
		0%	1,5%	2%	2,5%
7	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	19,82	22,63	26,80	30,00
	Metode <i>Destructive</i> (MPa)	19,96	22,36	26,63	29,77
	Selisih (%)	0,70	1,19	0,63	0,76
14	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	21,08	24,12	28,11	31,47
	Metode <i>Destructive</i> (MPa)	20,81	24,63	28,45	31,91
	Selisih (%)	1,28	2,03	1,19	1,37
28	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	22,40	25,77	29,60	33,18
	Metode <i>Destructive</i> (MPa)	22,53	25,53	29,44	32,98
	Selisih (%)	0,57	0,93	0,54	0,60

Pada Tabel 6 beton dengan kadar *accelerator* yang lebih banyak dihasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian (Zamroni et al., 2020) yang menunjukkan bahwa menambahkan *accelerator* pada beton dapat menaikkan daya tekan dan daya tarik beton. Pada umur 28 hari beton dengan kandungan *accelerator* 2,5% menghasilkan kuat tekan 32,98 MPa berdasarkan metode *destructive*, sedangkan berdasarkan metode *maturity* menghasilkan kuat tekan 33,18 MPa. Selisih kuat tekan dengan 2 metode pada masing-masing variasi kurang dari 4%, hal ini dapat disimpulkan bahwa persamaan logaritmis merupakan model prediksi yang dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan untuk umur beton di bawah 28 hari.

Simpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan analisis data adalah penambahan kadar *accelerator* yang digunakan membuat indeks *maturity* yang dihasilkan tinggi sehingga prediksi nilai kuat tekan beton tinggi juga. Indeks *maturity* berbanding lurus dengan umur beton, dimana seiring bertambahnya umur beton (di bawah 28 hari) maka akan semakin bertambah juga indeks *maturity* yang dihasilkan. Penggunaan metode prediksi persamaan logaritmis pada beton dengan variasi kadar Accelerator 0%; 1,5%; 2%; dan 2,5% menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) secara berturut-turut sebesar 0,9679; 0,9255; 0,9604; dan 0,9473. Selisih kuat tekan beton dengan menggunakan metode *maturity* dan metode *destructive test* di bawah 4%.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials. 1982. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. , ASTM Designation: C 494-82. USA.
- American Society for Testing and Materials. 2015. Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM Designation: C 1074-87. Philadelphia. PA.
- Antoni dan Nugraha, P. 2007. Teknologi Beton. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2000. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal. SNI 03-2834-2000. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. Semen Portland. SNI 15-2049-2004. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2874-2019. Jakarta
- Fadillah, Y., Wibowo., & Sunarmasto (2017). Kajian Pengaruh Variasi Penambahan Bahan Accelerator Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i4.36922>
- Guterres, S., Safitri, E., Maturitas Peridiksi Kuat Tekan Beton di Bawah Umur, M., & Beton Konvensional, H. (2023). Kajian Penerapan Persamaan Fungsi Regresi Non-Linier untuk Memprediksi Kuat Tekan Beton di Bawah Umur 28 Hari Kata kunci. Action Research Literate, 7(9). <https://arl.ridwaninstitute.co.id/index.php/arl>
- Irawan, C., Ekaputri, J. J., Aji, P., & Triwulan. (2012). Prediksi Kuat Tekan Beton Berbahan Campuran Fly Ash dengan Perawatan Uap Menggunakan Metode Kematangan. Jurnal Teknik ITS, 1(1), D1–D5. <http://www.ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/1041%0Ahttp://ejurnal.its.ac.id>
- Jin, N. J., Yeon, K. S., Min, S. H., & Yeon, J. (2017). Using the Maturity Method in Predicting the Compressive Strength of Vinyl Ester Polymer Concrete at an Early Age. Advances in Materials Science and Engineering, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4546732>

- Nurkholis, M., & Zainudin (2020). PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN ACCELERATOR ADMIXTURE TERHADAP KUAT TEKAN BETON. *Jurnal teknik sipil*, 5(1), 37–48. <https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/DeTeksi/article/view/243>
- Ray, N. (2016). Studi Angka Koefisien Korelasi Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Umur & Bentuk Benda Uji Standar SNI 03-2847-2002. *AGREGAT*, 1(2). <https://doi.org/10.30651/ag.v1i2.338>.
- Soutsos, M., Kanavaris, F., & Elsageer, M. (2021). Accuracy of maturity functions' strength estimates for fly ash concretes cured at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121043>
- Soutsos, M., Kanavaris, F., & Elsageer, M. (2021). Accuracy of maturity functions' strength estimates for fly ash concretes cured at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121043>
- Soutsos, M., Kanavaris, F., & Hatzitheodorou, A. (2018). Critical analysis of strength estimates from maturity functions. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00183. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00183>
- Wibowo, Safitri, E., & Rafi Baihaqi, T. (2020). KAJIAN PENERAPAN PERSAMAAN FUNGSI LOGARITMIS UNTUK MEMPREDIKSI KUAT TEKAN BETON DI BAWAH UMUR 28 HARI. 8(4). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v8i3>
- Zamroni, Z., Susanti, E., & Fitriyah, D. K. (2021). Pengaruh Penggunaan Zat Aditif Tipe C Pada Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 132–138. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2020.v1i2.1419>