

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

Adib Noor Ahdi Agustiantoro, Wibowo, Endah Safitri

Universitas Sebelas Maret

Abstrak: Ketepatan waktu pada proyek menjadi hal yang sangat krusial karena akan berpengaruh pada keberlangsungan proyek. Salah satu metode untuk memprediksi kekuatan beton di tempat secara langsung adalah metode maturitas beton. Persamaan paling efisien untuk perhitungan kuat tekan beton dengan metode maturitas beton (*maturity method*) adalah persamaan logaritmis. Metode penelitian dilakukan dengan cara uji eksperimental untuk menentukan indeks *maturity* lalu diolah dengan persamaan logaritmis untuk memprediksi nilai kuat tekan beton. Sampel beton dengan variasi campuran *retarder* sebanyak 0%; 0,3%; 0,4%; serta 0,5% dari berat binder. Sampel yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 30 cm dan dengan diameter 15 cm. Kemudian kuat tekan beton metode *maturity test* dibandingkan dengan pengujian *compression test machine*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode prediksi dengan persamaan logaritmis dalam kurva hubungan kuat tekan dan *maturity* pada beton dengan variasi kadar *retarder* menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) diatas 0,9500. Dapat disimpulkan bahwa persamaan logaritmis dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi kuat tekan beton menggunakan metode *non destructive*. Selisih kuat tekan beton dengan metode *destructive test* dan *non destructive test* paling besar adalah 4,29%

Kata Kunci: Kuat Tekan, Maturitas Beton, Persamaan Logaritmis, *Retarder*.

DOI:

<https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i4.2866>

*Correspondence: Adib Noor Ahdi

Agustiantoro

Email: nooradib8@gmail.com

Received: 01-08-2024

Accepted: 15-09-2024

Published: 31-10-2024



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: The timeliness of the project is very crucial because it will affect the sustainability of the project. One direct method for predicting in-place concrete strength is the maturity method. the best formula for figuring out the compressive strength of concrete with maturity method is the logarithmic equation. The research approach uses experimental tests to calculate the maturity index, then processed using the logarithmic equation to predict the compressive strength of the concrete. The concrete samples that were used had retarder contents of 0.3%, 0.4%, 0.5%, and 0% by weight of the binder. The cylindrical test device measured 15 cm in diameter and 30 cm in height. Then the compressive strength of concrete with the maturity test method is compared with the compressive strength of concrete by testing using CTM. The results show that the prediction method of the logarithmic equation in the compressive strength-maturity relationship curve in concrete with varying retarder content produces a coefficient of determination (R^2) value above 0.9500. In conclusion, the logarithmic equation is a useful instrument for estimating concrete's compressive strength using non-destructive method. The difference in compressive strength of concrete using the destructive test and non destructive test method is the largest at 4.29%

Keywords: Compressive Strength, Concrete Maturity, Logarithmic Equation, Retarder.

Pendahuluan

Beberapa tahun terakhir Indonesia menunjukkan kemajuan yang pesat dari sektor pembangunan infrastrukturnya. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya gedung-gedung tinggi, bangunan dengan desain yang semakin menarik, dan jalan toll yang mulai tersebar di berbagai daerah. Dengan semakin banyaknya proses pembangunan ini, membuat keberadaan beton menjadi bahan konstruksi yang paling populer digunakan.

Bahan pembentuk beton adalah agregat kasar atau kerikil, agregat halus atau pasir, semen sebagai pengikat, air, dan berbagai bahan tambah lainnya. Salah satu bahan tambah paling populer digunakan pada proyek adalah *retarder*. *Retarder* berfungsi untuk menunda lamanya proses pengikatan dan pengerasan beton. Bahan tambah *retarder* biasanya digunakan ketika proyek dan *batching plant* memiliki jarak yang cukup jauh. Untuk menghindari proses pengikatan dan pengerasan beton pada saat pengiriman maka campuran beton diberi bahan tambah berupa *retarder*.

Ketepatan waktu pada proyek menjadi hal yang sangat krusial karena akan berpengaruh pada keberlangsungan proyek. Salah satu pengaruh jika proyek tidak dikerjakan dengan tepat waktu adalah biaya, semakin lama keterlambatan proyek maka semakin besar juga biaya yang harus dikeluarkan. Selain itu, langkah untuk mempercepat proyek juga dapat dilakukan dengan cara memprediksi kekuatan beton yang akurat untuk mengoptimalkan skema konstruksi dan teknis operasional, seperti pemindahan bekisting dengan waktu yang tepat, mengoptimalkan *mix design*, dll (Vázquez-Herrero *et al.*, 2012). Salah satu metode *non destructive test* yang dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton secara langsung adalah metode kematangan beton.

Metode kematangan beton adalah pendekatan pengujian *non-destruktif* yang memungkinkan untuk memperkirakan umur awal dan kuat tekan beton secara aktual di tempat. Metode kematangan beton memberikan pendekatan yang sederhana untuk menghitung evolusi kekuatan *in-situ* beton. Metode ini bergantung pada riwayat suhu yang terukur dari beton untuk memperkirakan indeks kematangan. Untuk setiap komposisi campuran beton, hubungan antara sifat mekanik dan indeks kematangan dapat ditentukan dengan percobaan pencampuran dalam kondisi terkendali (Galobardes *et al.*, 2015).

Langkah pertama menghitung dengan metode maturitas adalah dengan mencari indeks *maturity* terlebih dahulu. 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 ($^{\circ}\text{C}$),
 T_0 = temperatur datum ($^{\circ}\text{C}$)

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 ($^{\circ}\text{C}$ -jam atau $^{\circ}\text{C}$ -hari),
 a, b = konstanta

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan mengadakan percobaan secara langsung untuk mencari data primer dan dapat membuktikan hubungan antar variabel yang diteliti. Sampel beton berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan variasi kadar *retarder*. Variasi campuran beton yang berjumlah 4 dengan rincian variasi kadar *retarder*, yaitu 0%; 0,3%; 0,4%; 0,5% dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Pengujian ini menggunakan masing-masing 4 benda uji untuk setiap variasi campuran beton agar meminimalisasi kesalahan atau ketidaksesuaian data pada saat pengujian. Pengukuran suhu dicatat pada umur beton 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari; dan pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Jumlah dan kode sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

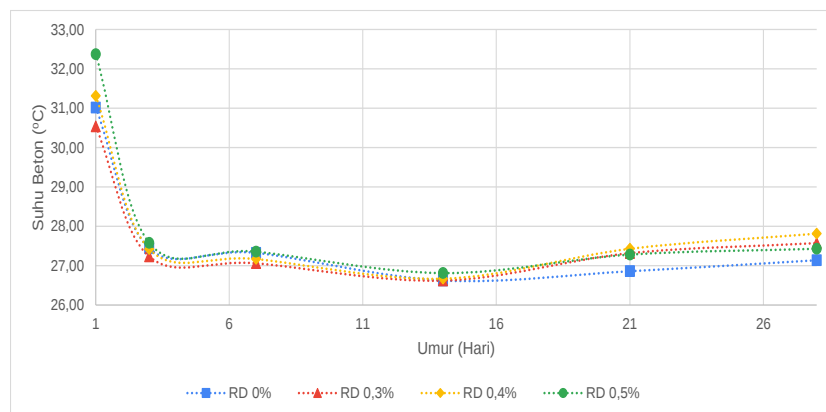
Tabel 1. Kode dan Jumlah Sampel Beton

Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran			
	<i>Retarder</i> 0%	<i>Retarder</i> 0,3%	<i>Retarder</i> 0,4%	<i>Retarder</i> 0,5%
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			

Hasil dan Pembahasan

1. Pencatatan Riwayat Suhu

Pengukuran suhu dilakukan untuk mencatat riwayat suhu beton yang kemudian dilakukan rata-rata yang selanjutnya diolah menjadi nilai *maturity* beton. Data riwayat suhu beton diperoleh dari pengecekan suhu sebanyak 4 sampel beton untuk setiap jenis campuran beton sampai dengan 28 hari. Hasil pengukuran suhu rata-rata untuk campuran beton dengan variasi bahan tambah *retarder* disajikan pada Gambar 1. Pencatatan suhu rata-rata yang telah diukur digunakan untuk menentukan indeks *maturity* (kematangan) beton yang nantinya digunakan untuk mengestimasi kuat tekan dengan menggunakan persamaan 2.



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

Pada Gambar 1 data suhu awal (1 hari) beton rata-rata dengan campuran *retarder* 0% adalah 31,02°C, *retarder* 0,3% adalah 30,54°C, *retarder* 0,4% adalah 31,32°C, dan *retarder* 0,5% adalah 32,38°C. Data menunjukkan bahwa beton dengan campuran *retarder* yang lebih tinggi menghasilkan suhu pada umur beton 1 hari yang meningkat kecuali beton dengan kadar campuran *retarder* 0,3%. Suhu awal beton dengan kadar *retarder* 0% lebih tinggi dibandingkan dengan suhu dengan kadar *retarder* 0,3.

2. Perhitungan Indeks Maturitas

Hasil pengukuran riwayat suhu rata-rata kemudian digunakan untuk menetapkan indeks *maturity* beton menggunakan Persamaan 1. Hasil indeks *maturity* beton setiap variasi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.

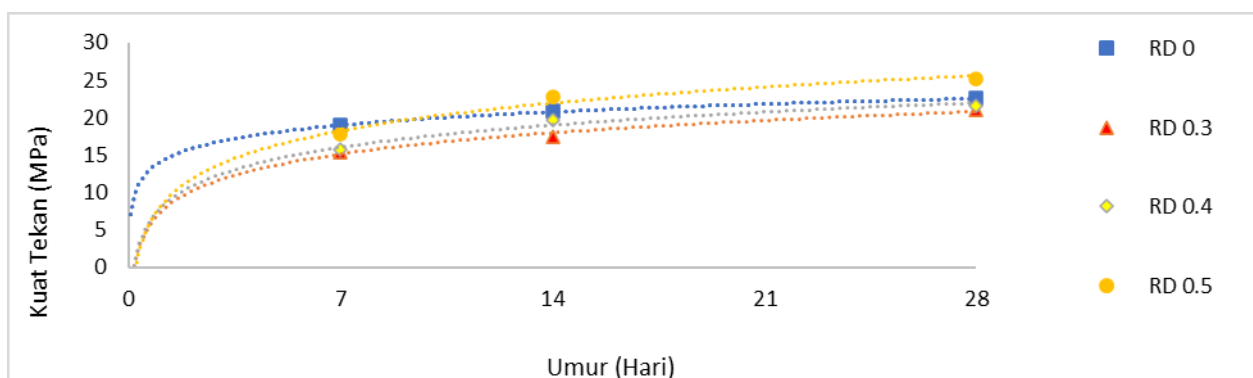
Tabel 2. Nilai Indeks *Maturity* Beton

Umur Beton (Jam)	<i>Maturity</i> (°C-jam)			
	<i>Retarder</i> 0%	<i>Retarder</i> 0,3%	<i>Retarder</i> 0,4%	<i>Retarder</i> 0,5%
0	-	-	-	-
24	247,92	249,45	261,21	283,86
72	690,90	675,99	710,91	762,78
168	1399,74	1362,27	1411,35	1479,78
336	2571,75	2511,81	2573,91	2670,06
504	3704,49	3682,98	3758,31	3854,04
672	4880,49	4934,16	5038,89	5089,89

Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa indeks *maturity* seiring bertambahnya umur beton, maka indeks *maturity* yang dihasilkan akan terus meningkat selama umur beton bertambah (28 hari). Dapat dilihat juga bahwa pada kadar *retarder* 0% umur 1 hingga 21 hari menghasilkan nilai *maturity* yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton dengan kadar *retarder* 0,3%. Namun untuk beton dengan kadar campuran *retarder* 0,4% dan 0,5% nilai *maturity* lebih besar dibandingkan beton dengan kadar campuran *retarder* 0% dan 0,3%. Untuk umur 28 hari, semakin besar kadar *retarder* nilai *maturity* yang dihasilkan semakin tinggi juga. Walaupun begitu, nilai *maturity* dari keempat variasi tersebut tidak terlalu jauh untuk setiap umurnya.

3. Pengujian Kuat Tekan

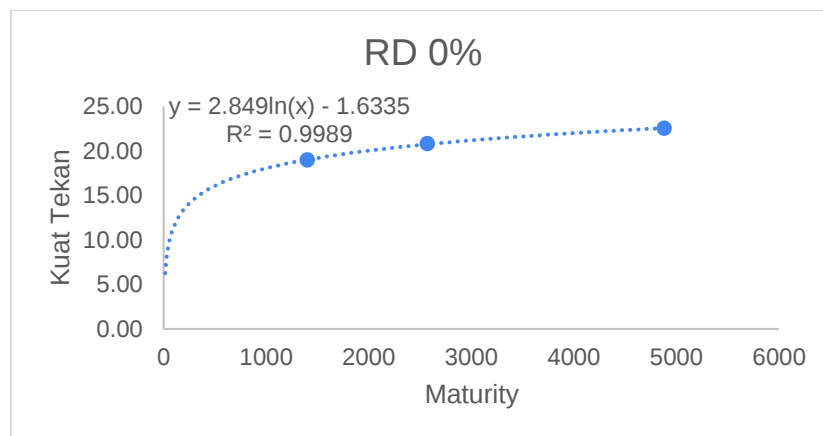
Uji kuat tekan beton dilakukan dengan alat *compression test machine* (CTM) pada saat umur beton 7, 14, dan 28 hari. Sampel beton yang dilakukan *destructive test* minimal 2 sampel untuk setiap umur betonnya, kemudian kuat tekan dicari rata-ratanya. Apabila perbedaan nilai dari 2 nilai kuat tekan tersebut lebih dari 10% dari rata-rata kuat tekannya, maka pengujian ditambahkan menggunakan sampel ketiga lalu dihitung rata-rata nilai kuat tekan menggunakan 3 sampel. Hasil uji kuat tekan dilihat pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Grafik Kuat Tekan Beton Hingga Umur 28 Hari

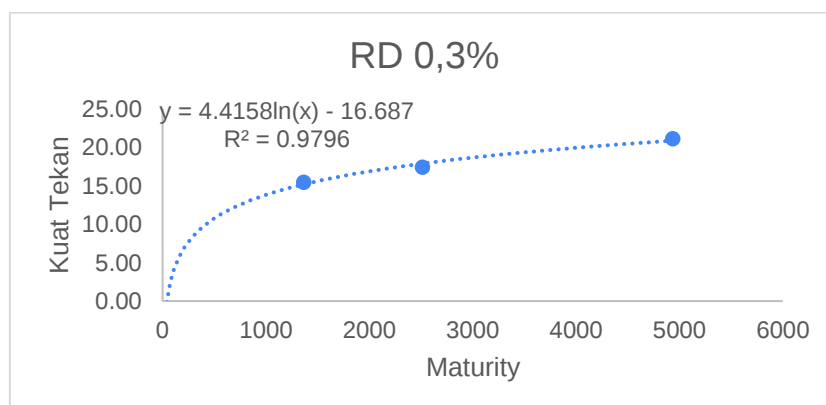
Gambar 2 Menunjukkan data kuat tekan beton dengan berbagai kadar campuran *retarder*. Kuat tekan paling besar pada umur 28 hari, yaitu beton kadar *retarder* sebanyak 0,5% dengan kuat tekannya sebesar 25,20 MPa. Meski begitu, nilai kuat tekan tiap variasi kadar campuran tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

4. Prediksi Kuat Tekan Beton dengan Indeks *Maturity*

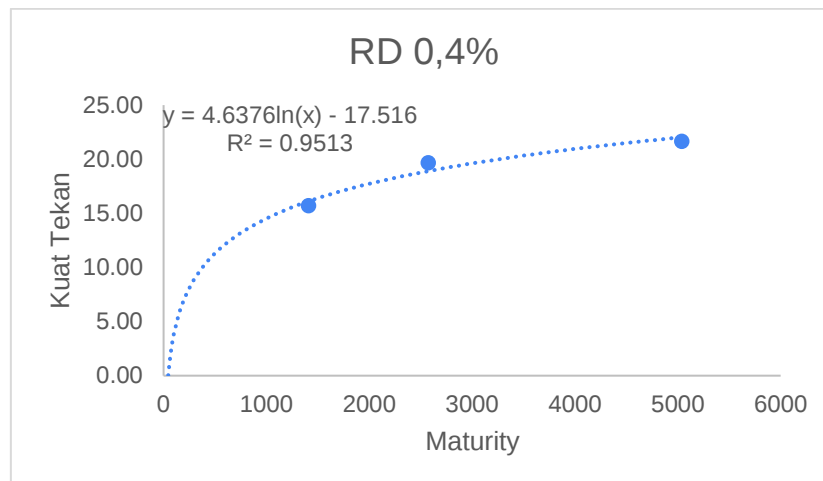
Persamaan yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan persamaan logaritmis. Kemudian menentukan konstanta dan koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan dari grafik untuk diolah dengan Persamaan 2 di atas supaya mendapatkan nilai kuat tekan prediksi beton. Konstanta dan koefisien determinasi persamaan didapatkan dari grafik hubungan kuat tekan dan *maturity* seperti pada Gambar 3 sampai Gambar 6.



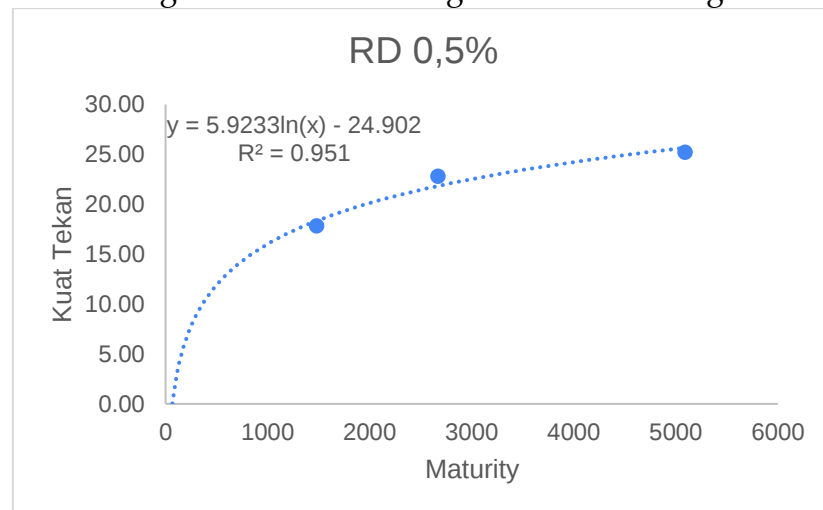
Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Maturitas dengan Kadar *Retarder* 0%



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Maturitas dengan Kadar *Retarder* 0,3%



Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Maturitas dengan Kadar *Retarder* 0,4%



Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Maturitas dengan Kadar *Retarder* 0,5%

Dari Gambar 3 sampai Gambar 6 kemudian diperoleh konstanta untuk persamaan logaritmis yang digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton berdasarkan indeks *maturity* pada masing-masing variasi. Persamaan-persamaan tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Persamaan Logaritmis

Kadar <i>Retarder</i>	Persamaan Logaritmis
0%	$fc = -1,6335 + 2,8490 \ln(M)$
0,3%	$fc = -16,6870 + 4,4158 \ln(M),$
0,4%	$fc = -17,5160 + 4,6376 \ln(M)$
0,5%	$fc = -24,9020 + 5,9233 \ln(M)$

Kemudian nilai indeks *maturity* dimasukkan ke dalam persamaan pada Tabel 4 sehingga dihasilkan nilai kuat tekan. Hasil perhitungan nilai kuat tekan dengan indeks *maturity* (kematangan) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kuat Tekan Berdasarkan Indeks *Maturity*

Umur (Hari)	Kadar Retarder							
	0%		0,3%		0,4%		0,5%	
	<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)
7	1399,74	19,00	1362,27	15,18	1411,35	16,12	1479,78	18,34
14	2571,75	20,74	2511,81	17,88	2573,91	18,90	2670,06	21,83
28	4880,49	22,56	4934,16	20,86	5038,89	22,01	5089,89	25,65

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa kadar campuran *retarder* pada beton mempengaruhi indeks *maturity*, semakin banyak kadar campuran *retarder* pada beton maka akan semakin tinggi indeks *maturity* yang didapatkan kecuali pada kadar *retarder* 0,3%, nilai *maturity* pada kadar *retarder* 0% lebih besar dibanding dengan kadar *retarder* 0,3%.

5. Perbandingan Kuat Tekan dengan Metode Maturitas dan *Destructive Test*

Pada Tabel 5 dapat dilihat perbandingan antara nilai kuat tekan metode *non destructive test* dengan menggunakan *maturity* dan *destructive test* menggunakan alat *Compression Test Machine* (CTM).

Tabel 5. Selisih Nilai Kuat Tekan

Umur Beton (Hari)	Metode Pengujian	Kadar Retarder			
		0%	0,3%	0,4%	0,5%
7	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	19,00	15,18	16,12	18,34
	Metode <i>Destructive Test</i> (MPa)	18,97	15,43	15,70	17,84
	Selisih (%)	0,18	1,62	2,56	2,77
14	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	20,74	17,88	18,90	21,83
	Metode <i>Destructive Test</i> (MPa)	20,81	17,41	19,68	22,79
	Selisih (%)	0,32	2,68	4,00	4,29
28	Metode <i>Maturity</i> (MPa)	22,56	20,86	22,02	25,65
	Metode <i>Destructive Test</i> (MPa)	22,53	21,09	21,66	25,20
	Selisih (%)	0,15	1,07	1,67	1,80

Pada Tabel 5 terlihat prediksi kuat tekan beton metode *non destructive test* yang menggunakan persamaan logaritmis dengan kuat tekan metode *destructive test* dengan cara pengtesan menggunakan alat *compression test machine* tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Beton dengan kandungan *retarder* 0,5% dengan umur 28 hari menghasilkan kuat tekan 25,20 MPa untuk *destructive test* dan 25,65 MPa untuk *non destructive test*. Selisih antara

nilai kuat tekan beton menggunakan metode *non destructive test* dan metode *destructive test* tidak terlalu jauh, selisihnya hanya di bawah 5%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa metode maturitas beton dengan persamaan logaritmis merupakan model yang dapat diandalkan untuk memprediksi kuat tekan beton hingga 28 hari.

Simpulan

Dari hasil pengujian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa indeks *maturity* berbanding lurus seiring dengan bertambahnya umur beton, dimana indeks *maturity* yang dihasilkan akan terus meningkat selama umur beton bertambah (28 hari). Penggunaan metode *maturity* pada beton variasi kadar *retarder* 0%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5% menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9989; 0,9796; 0,9513; dan 0,9510. Hal ini dapat disimpulkan bahwa persamaan logaritmis dapat digunakan dengan baik untuk memperkirakan kuat tekan beton hingga usia 28 hari dengan metode *non destructive*. Metode *maturity test* dan metode *destructive test* menghasilkan selisih kuat tekan antara 0 - 5%.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials. 2002. Standard specification for concrete aggregates. ASTM Designation: C 33. Philadelphia. PA.
- American Society for Testing and Materials. 2015. Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM Designation: C 1074. Philadelphia. PA.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. SNI 03-2834-2000. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Tata Cara Estimasi Kekuatan Beton dengan Metode Maturity. SNI 03-6809-2002. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. Semen Portland. SNI 15-2049-2004. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. SNI 1970:2008. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. SNI 2847:2013. Jakarta.
- Galobardes, I., Cavalaro, S. H., Goodier, C. I., Austin, S., & Rueda, Á. (2015). Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete. *Construction and Building Materials*, 79, 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.038>
- Guterres, S., Wibowo, & 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>
- Kamkar, S., & Eren, Ö. (2018). Evaluation of maturity method for steel fiber reinforced concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 213–221. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1761-9>

- Miller, D., Ho, N. M., & Talebian, N. (2022). Monitoring of in-place strength in concrete structures using maturity method – An overview. *Structures*, 44(August), 1081–1104. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.077>
- Myrdal. (2007). Accelerating admixtures for concrete. State of the art. *SINTEF Building and Infrastructure; COIN - Concrete innovation Centre*. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmloi/handle/11250/2424150>
- Nandhini, K., & Karthikeyan, J. (2021). The early-age prediction of concrete strength using maturity models: a review. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s41024-020-00102-1>
- Rayhan, Mohammad. (2023). Kajian Penerapan Persamaan Fungsi Eksponensial Untuk Memprediksi Kuat Tekan Beton di Bawah Umur 28 Hari. (Skripsi Sarjana, Universitas Sebelas Maret). <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/108003/Kajian-Penerapan-Persamaan-Fungsi-Eksponensial-untuk-Memprediksi-Kuat-Tekan-Beton-di-Bawah-Umur-28-Hari>
- Tjokrodinuljo, K. (2007). Teknologi Beton. Teknik Sipil Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- Utepov, Y., Aniskin, A., Tulebekova, A., Aldungarova, A., Zharassov, S., & Sarsembayeva, A. (2021). Complex maturity method for estimating the concrete strength based on curing temperature, ambient temperature and relative humidity. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167712>
- Vázquez-Herrero, C., Martínez-Lage, I., & Sánchez-Tembleque, F. (2012). A new procedure to ensure structural safety based on the maturity method and limit state theory. *Construction and Building Materials*, 35, 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.040>
- 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>
- Yikici, T. A., & Chen, H. L. (2015). Use of maturity method to estimate compressive strength of mass concrete. *Construction and Building Materials*, 95, 802–812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.026>