

PENGARUH SUHU *CURING* BETON TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Merzy Mooy¹ (merzhymooy@yahoo.com)
 Partogi H. Simatupang² (simatupangpartogi@yahoo.com)
 John H. Frans³ (putra.portoind@gmail.com)

ABSTRAK

Beton banyak digunakan dalam dunia konstruksi karena harga yang murah dan pelaksanaan yang mudah. Namun diperlukan pengetahuan yang cukup luas mengenai sifat bahan dasar, cara pembuatan dan cara perawatan (*curing*) agar meningkatkan fungsi beton secara maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar pengaruh suhu perawatan terhadap kuat tekan beton dan dengan suhu perawatan manakah yang menghasilkan kuat tekan beton yang lebih optimal, berapa nilai kuat tekan beton pada perawatan suhu tinggi selama 28 hari hasil proyeksi menggunakan metode *long cycle steam curing* dan metode *maturity*, serta bagaimana perbandingan laju kuat tekan beton suhu perawatan normal, rendah dan tinggi. Berdasarkan perhitungan dari hasil penelitian diperoleh besar pengaruh suhu perawatan terhadap nilai kuat tekan beton rerata suhu perawatan normal 29 °C adalah sebesar 23,85 MPa, suhu perawatan rendah -10 °C adalah 26,29 MPa, dan suhu perawatan tinggi dalam oven 87,5 °C adalah 31,80 MPa sehingga kuat tekan beton yang lebih optimal adalah pada perawatan suhu tinggi. Kuat tekan beton hasil proyeksi metode *long cycle steam curing* dan metode *maturity* adalah sebesar 27,06 MPa. Perbandingan laju kenaikan kuat tekan beton perawatan suhu normal, rendah dan tinggi adalah 0,85 : 0,94 : 1,14.

Kata Kunci : Beton; Suhu *Curing*; *Long Cycle Steam Curing*; Metode *Maturity*; Kuat Tekan

ABSTRACT

Concrete is mostly used in the world of construction due to cheap price and easy implementation. However extensive knowledge is required about the quality of basic materials, ways of making, curing to increase concrete function to be more leverage. The purpose of this study is to know about the effect of curing temperature to concrete compressive strength and which one of curing temperature that produce the optimal compressive strength, compressive strength by elevated temperature curing time 28 days that projected by long cycle steam curing method and maturity method, also the compressive strength rate ratio by normal curing temperature, low and elevated curing temperature. Based on the calculation of the results obtained the effect of curing temperature to average concrete compressive strength by normal curing temperature 29 °C is 23,85 MPa, low curing temperature -10 °C is 26,29 MPa, and elevated curing temperature in the oven 87,5 °C is 31,80 MPa so that the most optimal concrete compressive strength is by elevated curing temperature. The concrete compressive strength that projected by long cycle steam curing method and maturity method is 27,06 MPa. The compressive strength rate ratio by normal, low and elevated curing temperature is 0,85 : 0,94 : 1,14.

Keywords: Concrete; Curing Temperature; Long Cycle Steam Curing; Maturity Method; Compressive Strength

¹ Jurusan Teknik Sipil, FST Undana - Kupang

² Jurusan Teknik Sipil, FST Undana - Kupang

³ Jurusan Teknik Sipil, FST Undana - Kupang

Beton merupakan kesatuan yang homogen antara campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dan air, dengan semen Portland atau semen hidrolik yang lain, dan terkadang dengan bahan tambahan (aditif) yang bersifat kimiawi ataupun fisik pada perbandingan tertentu. Perawatan (*curing*) beton dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan yang membuat beton mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat.

Penggunaan suhu yang lebih rendah dari pada perawatan suhu normal membutuhkan waktu yang lebih lama tapi memberikan kekuatan batas yang lebih baik (Mindess dan Young, 1981). A. M. Neville dan J. J. Brooks dalam bukunya *Concrete Technology* menyatakan bahwa jika beton yang telah mengeras didinginkan, sebagian air yang tertahan pada pori-pori betondan sebagian air yang seharusnya bercampur dengan semen juga akan membeku sehingga mengganggu terjadinya proses hidrasi. Hal ini menyebabkan pada saat proses pendinginan selesai, es akan mencair dan menimbulkan adanya pori-pori yang banyak sehingga akan mengurangi kekuatan beton. Institut Beton Amerika (*American Concrete Institute-ACI*) merekomendasikan jangka waktu minimum *curing* yaitu hingga mencapai kekuatan 70% dari kekuatan beton yang direncanakan apabila *curing* dilakukan pada temperatur yang tinggi atau dengan penggunaan bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mempercepat perkembangan kuat tekan beton.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Suhu *Curing* Beton Terhadap Kuat Tekan Beton”.

Tujuan Penelitian

Mengetahui besar pengaruh suhu *curing* terhadap kuat tekan beton dan untuk membuktikan perawatan (*curing*) beton dengan suhu manakah yang dapat menghasilkan kuat tekan beton yang lebih optimal, mengetahui nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan *curing* suhu tinggi 100 °C setelah diproyeksikan pada umur awal beton dengan menggunakan metode kematangan (*maturity method*), mengetahui perbandingan laju kenaikan kekuatan tekan beton pada *curing* suhu normal 20° - 30 °C, suhu *curing* rendah dibawah 10 °C dan suhu *curing* tinggi 100 °C.

Manfaat Penelitian

Membuktikan perawatan (*curing*) beton dengan suhu manakah yang dapat menghasilkan kuat tekan beton yang lebih optimal sebagai bahan pertimbangan perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi bangunan yang menggunakan bahan beton khususnya bagi perencanaan dan pelaksana konstruksi.

Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang, NTT.
2. Beton yang direncanakan adalah beton tanpa tulangan 17,5 MPa.
3. Benda uji beton yang direncanakan berbentuk silinder yang berukuran 5 cm x 10 cm.

4. Bahan material yang digunakan adalah semen Portland berupa semen Kupang, agregat kasar (batu pecah) ukuran maksimum diameter 10 mm dari Takari, agregat halus (pasir) dari Takari dan air bersih.
5. Perencanaan campuran beton dan analisisnya mengacu pada metode SNI03-2834-2000.
6. Metode kematangan (*maturity method*) yang mengacu pada SNI 03-6805-2002 tentang metode pengujian untuk mengukur nilai kuat tekan beton pada umur awal dan memproyeksikan kekuatan pada umur berikutnya.
7. Pengujian kekuatan beton dilakukan setelah masa perawatan selama 28 hari untuk *curing* 5 buah benda uji beton suhu normal dan 5 buah benda uji beton pada *curing* suhu rendah, sedangkan untuk *curing* beton suhu tinggi menggunakan benda uji beton sebanyak 25 buah berupa 5 buah benda uji untuk *long cycle steam curing*, 5 buah benda uji untuk *curing* selama 3 hari, 5 buah benda uji untuk *curing* selama 6 hari, 5 buah benda uji untuk *curing* selama 8hari dan 5 buah benda uji untuk *curing* selama 28 hari kemudian diproyeksikan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan menggunakan metode kematangan (*maturity method*).
8. Berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, toleransi variasi suhu beton khususnya untuk uji kuat tekan beton pada *curing* suhu tinggi yaitu 40 °C-80 °C pada saat dilakukan *curing* dengan 5 jam suhu dinaikkan menjadi 80 °C dan toleransi suhu 80 °C-100 °C pada saat dilakukan 3 jam *curing* konstan dalam oven pada suhu 100 °C.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Sebagai Bahan Konstruksi Bangunan

Material penyusun beton terdiri dari semen Portland, agregat kasar, agregat halus, air dan dengan atau tanpa bahan tambahan lain. Semen Portland semen yang digunakan sebagai bahan pembentuk beton berupa semen hidrolis yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004). Agregat kasar adalah bahan penyusun beton yang ukuran butirannya adalah 4,80 mm (SII. 0052-1980), 4,75 mm (ASTM C33, 2002) dan 5,00 mm (BS. 812, 1975). Pengujian terhadap agregat kasar dapat dibagi menjadi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian gradasi, pengujian kadar air dan pengujian berat volume. Agregat halus adalah agregat yang memiliki syarat-syarat tidak boleh mengandung lumpur lebih besar dari 5 % berat agregat, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, pasir harus terdiri dari butir tajam dan keras (PBI 1971). Pengujian terhadap agregat halus dapat dibagi menjadi pengujian berat jenis, pengujian gradasi, pengujian kadar lumpur, pengujian kadar air dan pengujian berat volume.

Metode Perawatan (*Curing*) Beton

Lamanya proses *curing* tergantung pada faktor-faktor berupa: jenis semen yang digunakan, proporsi dari campuran, ukuran dan bentuk beton, kondisi cuaca disekitarnya dan kondisi cuaca setelahnya.

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur oleh mesin tekankemudian dihitung dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dimana

- f_c = kuat tekan beton (kN/mm²)
- P = beban (kN)
- A = luas penampang (mm²)

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, diketahui persamaan untuk menghitung standar deviasi yaitu sebagai berikut :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2}$$

Dimana

- s = standar deviasi
- x_i = kuat tekan masing-masing benda uji
- \bar{x} = kuat tekan beton rerata
- n = jumlah benda uji beton

sedangkan kuat tekan beton rerata diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{3}$$

Metode Kematangan (*Maturity Method*)

Metode kematangan (*maturity method*) adalah prosedur untuk membuat, memelihara dan menguji benda uji beton keras pada umur awal dalam kondisi perawatan standar dan diukur riwayat temperaturnya untuk digunakan dalam menghitung indeks kematangan yang dihubungkan dengan kenaikan kekuatannya dengan cara menggunakan hasil kuat tekan pada umur awal untuk memproyeksikan kekuatan potensial pada umur berikutnya (SNI 03-6805-2002). Setelah diuji kuat tekan beton pada umur 1, 3, 6, dan 8 hari, dihitungfaktor temperatur-waktu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M(t) = \sum_0^t (T_n - T_0) \Delta t \tag{4}$$

Dimana

- $M_{(t)}$ = faktor temperatur-waktu pada umur t (°C.jam)
- Δt = rentang waktu (jam)
- T_n = temperatur beton selama rentang waktu Δt (°C)
- T_0 = temperatur dasar/*datum temperature* (°C)

Hitung faktor temperatur-waktu pada umur awal benda uji dengan rumus :

$$\text{TTF} = \text{Umur Beton} \times (T - T_0) \quad (5)$$

Persamaan pendugaan kekuatan beton pada umur selanjutnya dengan menggunakan rumus :

$$S_M = S_m + b (\log M - \log m) \quad (6)$$

Dimana

S_M = kekuatan yang diproyeksikan

S_m = kuat tekan rata-rata yang pada faktor temperatur-waktu awal (m)

b = jarak vertikal antara ujung garis lurus teratas dengan ujung garis lurus terbawah dari satu siklus pada sumbu X (MPa)

M = hasil penjumlahan antara faktor temperatur-waktu ($C \cdot \text{jam}$)

METODE PENELITIAN

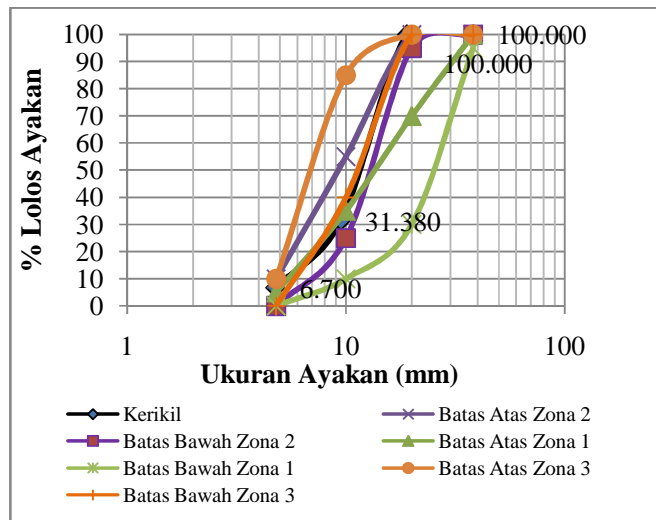
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Undana Kupang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Oktober 2016 sampai April 2017.

Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan kemudian dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat beton. Setelah dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan dan hasilnya memenuhi syarat, dilakukan perencanaan campuran dan pembuatan benda uji beton kemudian dilakukan perawatan (*curing*) terhadap benda uji tersebut. Perawatan (*curing*) beton pada suhu normal $20^\circ - 30^\circ\text{C}$ dilakukan dengan cara memasukkan beton ke dalam air bersih bersuhu $20^\circ - 30^\circ\text{C}$ selama 28 hari, lalu diuji kuat tekan beton dengan menggunakan mesin tekan. Perawatan (*curing*) beton pada suhu rendah dibawah 10°C dilakukan dengan cara memasukkan beton ke dalam *freezer* bersuhu dibawah 10°C selama 28 hari lalu diuji kuat tekan beton dengan menggunakan mesin tekan. Perawatan (*curing*) beton pada suhu tinggi dilakukan dengan menggunakan metode *long cycle steam curing* selama 1 hari yaitu beton dimasukkan ke dalam air bersih bersuhu normal $20^\circ - 30^\circ\text{C}$ selama 2 jam, kemudian diikuti dengan 5 jam beton dimasukkan ke dalam oven bersuhu 80°C , selanjutnya suhu oven dinaikkan menjadi 100°C , kemudian beton diletakan kembali ke dalam air bersih bersuhu normal $20^\circ - 30^\circ\text{C}$ dan selanjutnya diuji kekuatan beton dengan menggunakan mesin tekan. *Curing* suhu tinggi juga dilakukan dengan memasukkan beton ke dalam oven bersuhu 100°C selama 3, 6, dan 8 hari.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan SNI03-1969-1990 diperoleh berat jenis kering permukaan rata-rata agregat kasar adalah 2,50 gram sehingga memenuhi syarat berat jenis kering permukaan menurut AASHTO (1990) minimum 2,50 gram. Sedangkan rata-rata penyerapan air hasil pengujian adalah 1,23% sehingga memenuhi syarat penyerapan air agregat kasar menurut AASHTO (1990) yaitu maksimum 3%. Pengujian gradasi berdasarkan SNI03-1968-1990 diperoleh Modulus Halus Kerikil (MHK) sebesar 6,62 sehingga memenuhi syarat modulus halus kerikil 3,0 – 8,0.

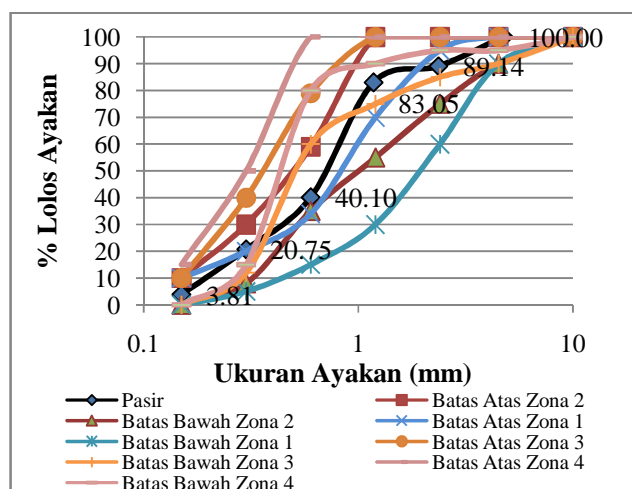


Gambar 1 Grafik Gradasi Kerikil Termasuk Dalam Zona 2

Pengujian kadar air berdasarkan SNI 03-1971-1990 diperoleh rata-rata kadar air agregat kasar sebesar 0,85% sehingga memenuhi syarat kadar air agregat kasar kurang dari 5%. Pengujian berat volume berdasarkan SNI 03-4804-1998 diperoleh rata-rata berat volume lepas agregat kasar adalah 1300,90 kg/m³ sedangkan rata-rata berat volume padat agregat kasar adalah 1548,39 kg/m³ sehingga memenuhi syarat berat volume agregat kasar yaitu kurang dari 1600 kg/m³.

Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan SNI 03-1970-1990 diperoleh berat jenis kering permukaan agregat halus adalah 2,56 gram sehingga termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat jenis kering permukaan 2,50 – 2,70 gram. Sedangkan penyerapan air agregat halus hasil penelitian adalah 2,11% memenuhi syarat penyerapan air agregat kasar menurut ASTM yaitu maksimum 2,30%. Pengujian gradasi berdasarkan SNI 03-1968-1990 diperoleh Modulus Halus Pasir (MHP) sebesar 3,63 sehingga memenuhi syarat modulus halus pasir yaitu 1,50 – 3,80.



Gambar 2 Grafik Gradasi Pasir Termasuk Dalam Zona 2

Pengujian kadar lumpur berdasarkan SNI 13-6669-2002 diperoleh rata-rata kadar lumpur pasir sebesar 2,00% sehingga telah memenuhi syarat kadar lumpur agregat halus yang tidak boleh lebih besar dari 5% untuk beton yang tidak mengalami abrasi. Pengujian kadar air berdasarkan SNI 03-1971-1990 diperoleh rata-rata kadar air pasir sebesar 1,34% sehingga memenuhi syarat kadar air yaitu maksimum 2%. Pengujian berat volume berdasarkan SNI 03-4804-1998 diperoleh rata-rata berat volume lepas pasir adalah $1345,48 \text{ kg/m}^3$ sedangkan rata-rata berat volume padat pasir adalah $1426,13 \text{ kg/m}^3$ sehingga memenuhi syarat berat volume agregat halus yaitu $1250 \text{ kg/m}^3 - 1500 \text{ kg/m}^3$.

Hasil *Mix Design* Beton

Perhitungan *mix design* dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Hasil *Mix Design* Beton

Bahan	Volume Silinder (m^3)	Kebutuhan Bahan	Kebutuhan Bahan Untuk 1 Silinder
Semen	$0,2 \times 10^{-3}$	$425,45 \text{ kg/m}^3$	0,096 kg
Pasir	$0,2 \times 10^{-3}$	$832,69 \text{ kg/m}^3$	0,188 kg
Kerikil	$0,2 \times 10^{-3}$	$756,31 \text{ kg/m}^3$	0,171 kg
Air	$0,2 \times 10^{-3}$	$247,56 \text{ lt/m}^3$	0,056 lt

Hasil Pengujian *Slump* Beton

Nilai *slump* yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 6,0-18,0 cm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai *slump* untuk kuat tekan rencana 17,5 MPa menggunakan pasir Takari adalah 7,4 cm. Nilai *slump* hasil pengujian berada dalam rentang nilai *slump* yang direncanakan.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pada *Curing* Suhu Normal dan *Curing* Suhu Rendah

Pengujian kuat tekan beton yang dilakukan mengacu pada SNI 03-1974-1990.

Tabel 2 Hasil *Mix Design* Beton

Waktu	Suhu <i>Curing</i>	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	Normal 29 °C	N1	20,38
		N2	17,83
		N3	20,38
		N4	20,38
		N5	20,38
		Rata-Rata	19,87
28 Hari	Rendah -10 °C	R1	22,93
		R2	20,38
		R3	22,93
		R4	22,93
		R5	20,38
		Rata-Rata	21,91

Berdasarkan persamaan 2 dan 3 untuk menghitung standar deviasi kuat tekan beton maka diperoleh perhitungan berikut :

- a) Untuk *curing* suhu normal

$$\bar{x} = 3,97 ; s = 3,97$$

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, data yang dihitung tidak diperlukan faktor pengali standar deviasi. Sehingga, kuat tekan beton rerata yang diperoleh + standar deviasi = $19,87 + 3,97 = 23,85$ MPa

Jadi, kuat tekan beton rerata pada suhu *curing* normal adalah 23,85 MPa.

- b) Untuk *curing* suhu rendah

$$\bar{x} = 4,38 ; s = 4,38$$

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, data yang dihitung tidak diperlukan faktor pengali standar deviasi. Sehingga, kuat tekan beton rerata yang diperoleh + standar deviasi = $21,91 + 4,38 = 26,29$ MPa

Jadi, kuat tekan beton rerata pada suhu *curing* rendah adalah 26,29 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pada *Curing* Suhu Tinggi Setelah Diproyeksika Dengan Metode Maturity

Benda uji beton yang selesai dicetak, dilakukan perawatan dengan cara dimasukkan ke dalam oven selama 1, 3, 6, dan 8 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $f_c' = 17,5$ Mpa *Curing* Suhu Tinggi

Waktu	Suhu <i>Curing</i>	Benda Uji	Kuat Tekan(MPa)
<i>Long Cycle Steam Curing</i> 2 jam 5 jam 3 jam 10 jam	29 °C	T1A	10,19
		T1B	10,19
	65 °C	T1C	11,72
	87,5 °C	T1D	12,74
	29 °C	T1E	10,19
	Rata-Rata	11,01	
3 Hari	87,5 °C	T3A	10,19
		T3B	10,19
		T3C	12,74
		T3D	11,72
		T3E	12,74
		Rata-Rata	11,52
6 Hari	87,5 °C	T6A	15,29
		T6B	12,74
		T6C	12,74
		T6D	15,29
		T6E	17,83
		Rata-Rata	14,78
8 Hari	87,5 °C	T8A	15,29
		T8B	17,83
		T8C	15,29
		T8D	17,83
		T8E	18,85
		Rata-Rata	17,02

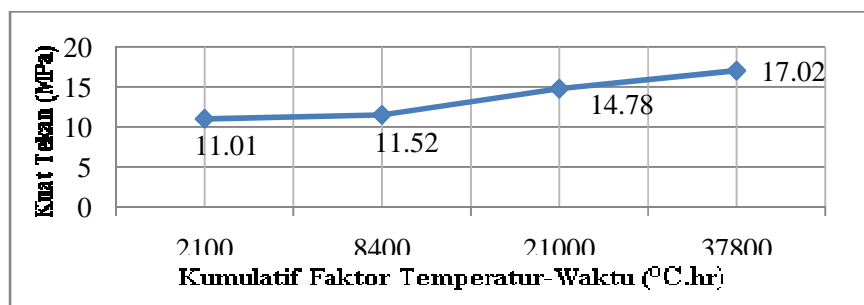
Perhitungan faktor temperatur-waktu

Faktor temperatur-waktu (*Temperature Time Factor*) dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut ini.

- a) TTF 1 hari = 1 x 24 jam x 87,5 °C = 2100 °C.jam
- b) TTF 3 hari = 3 x 24 jam x 87,5 °C + 2100 °C.jam = 8400 °C.jam
- c) TTF 6 hari = 6 x 24 jam x 87,5 °C + 8400 °C.jam = 21000°C.jam
- d) TTF 8 hari = 8 x 24 jam x 87,5 °C + 21000 °C.jam = 37800 °C.jam

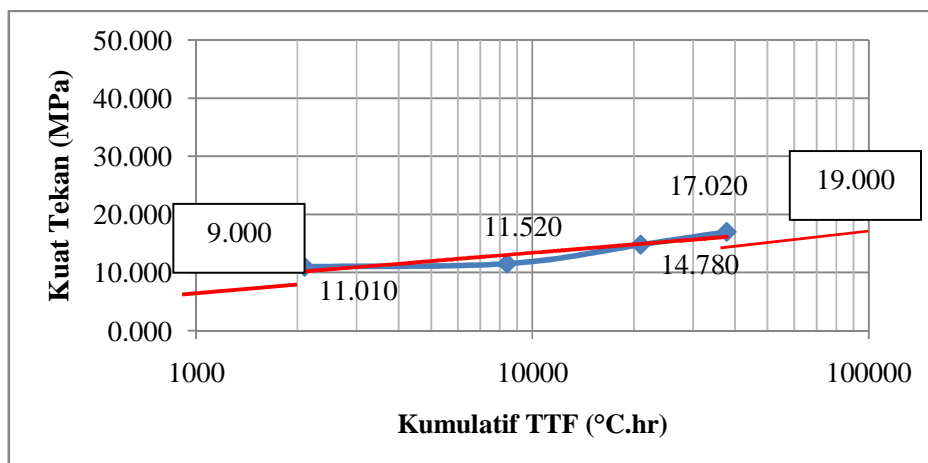
Pembuatan kurva kematangan

Kurva kematangan adalah kurva yang terdiri dari variabel kuat tekan beton dan nilai indeks kematangan berupa nilai dari faktor temperatur-waktu (TTF) pada setiap umur pengujian kuat tekan beton yang telah dilakukan.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan Kumulatif TTF

Dari grafik di atas, selanjutnya akan dibuat grafik hubungan kuat tekan rata-rata dengan kumulatif faktor temperatur-waktu skala logaritma untuk diperoleh nilai b yang merupakan selisih ujung tertinggi 19 Mpa dan ujung terendah garis lurus 9 Mpa yang ditarik dari garis yang menghubungkan kuat tekan rata-rata pada kumulatif TTF yang menyentuh siklus. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata dengan kumulatif TTF skala logaritma dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4 Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Dengan KumulatifTTF Skala Logaritma

Prediksi kuat tekan beton pada umur 28 hari

Nilai faktor temperatur-waktu dalam kondisi perawatan standar (M) diperoleh dari hasil perhitungan berikut ini.

- a) suhu air normal adalah 29 °C
- b) suhu oven untuk rentang 80 °C adalah 65 °C
- c) suhu oven untuk rentang 100 °C adalah 87,5 °C

$$M_{Steam} = (29\text{ °C} \times 2\text{ jam}) + (65\text{ °C} \times 5\text{ jam}) + (87,5\text{ °C} \times 3\text{ jam}) + (29\text{ °C} \times 10\text{ jam})$$

$$= 935,5\text{ °C.hr}$$

$$M_{Moist} = 29\text{ °C} \times 27\text{ hari} \times 24\text{ jam} = 18792\text{ °C.hr}$$

Sehingga nilai M dapat dihitung sebagai berikut.

$$M = M_{Steam} + M_{Moist}$$

$$= 935,5 + 18792$$

$$= 19727,5\text{ °C.hr}$$

Perhitungan nilai kuat tekan rata-rata pada faktor temperatur-waktu awal (S_m)

Kuat tekan rata-rata pada faktor temperatur-waktu awal(S_m) adalah nilai kuat tekan benda uji yang diperoleh setelah *curing* suhu tinggi selama 1, 3, 6, dan 8 hari yaitu

$$S_m = \frac{(1,01 + 11,52 + 14,78 + 17,02)}{4}$$

$$= 13,58\text{ Mpa}$$

Perhitungan kumulatif faktor temperatur-waktu pada umur 1 hari (m)

Tabel 4 Pencatatan Temperatur dan Perhitungan Untuk Menentukan Faktor Temperatur-Waktu Pada Umur Pengujian 1 Hari

Umur (Jam)	Temp. (°C)	Rentang Umur (Jam)	Temp. Rerata (°C)	T-T ₀ (°C)	TTF (°C.Jam)	Kum. (°C.Jam)
2	29	-	-	-	-	-
7	65	5	47	47	235	235
10	87,5	3	76,25	76,25	228,75	463,75
20	29	10	58,25	58,25	582, 50	1046,25

Dengan demikian, diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_m = 13,58\text{ MPa}$$

$$b = 10\text{ MPa}$$

$$M = 19727,5 \quad ^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$$

$$m = 1046,25 \quad ^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$$

Sehingga diperoleh

$$S_M = S_m + b (\log M - \log m)$$

$$= 13,58 + 10 (\log 19727,5 - \log 1046,25) = 26,33 \text{ MPa}$$

Jadi, diperoleh prediksi kuat tekan beton pada umur 28 hari *curing* suhu tinggi menggunakan metode kematangan (*maturity method*) adalah sebesar 26,33 MPa.

Berdasarkan persamaan 2 dan 3 untuk menghitung standar deviasi kuat tekan beton maka diperoleh perhitungan berikut :

$$\bar{x} = 0,68 ; s = 0,68$$

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, data yang dihitung standar deviasi berjumlah 20 buah benda uji maka faktor pengali standar deviasinya adalah sebesar 1,08. Sehingga,

Standar deviasi x faktor pengali = $0,68 \times 1,08 = 0,73$

Kuat tekan beton rerata yang diperoleh + standar deviasi = $26,33 + 0,73 = 27,06 \text{ MPa}$

Jadi, kuat tekan beton rerata pada suhu *curing* tinggi hasil proyeksi adalah 27,06 MPa.

Hasil kuat tekan aktual di lapangan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton $f_c' = 17,5 \text{ Mpa}$ *Curing* Suhu Tinggi Umur 28 Hari

Waktu	Suhu <i>Curing</i>	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)
28 Hari	Suhu Tinggi (87,5 °C)	T28A	28,03
		T28B	22,93
		T28C	28,03
		T28D	25,48
		T28E	28,03
		Rata-Rata	26,50

Berdasarkan persamaan 2 dan 3 untuk menghitung standar deviasi kuat tekan beton maka diperoleh perhitungan berikut :

$$\bar{x} = 5,30 ; s = 5,30$$

Oleh karena dalam SNI 03-2834-2000 data yang dihitung standar deviasi telah memenuhi persyaratan maka tidak diperlukan faktor pengali standar deviasi. Sehingga,

Kuat tekan beton rerata yang diperoleh + standar deviasi = $26,50 + 5,30 = 31,80 \text{ MPa}$

Jadi, kuat tekan beton rerata pada suhu *curing* tinggi di lapangan adalah 31,80 MPa.

Laju kenaikan kuat tekan beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, maka dapat dihitung laju kenaikan kuat tekan beton pada setiap suhu *curing*. Sebagai contoh perhitungan yaitu nilai kuat tekan beton rata-rata *curing* suhu tinggi pada umur 28 hari adalah 31,80 MPa. Sehingga rata-rata laju kenaikan kuat tekan beton adalah rata-rata kuat tekan beton dibagi umur beton yaitu sebesar 1,14. Laju kenaikan kuat tekan beton pada masing-masing suhu *curing* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6 Laju Kenaikan Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Suhu <i>Curing</i>	Kuat Tekan (MPa)	Umur Beton (Hari)	Kenaikan Kuat Tekan Beton (MPa/Hari)
Suhu Normal (29 °C)	23,85	28	0,85
Suhu Rendah (-10 °C)	26,29	28	0,94
Suhu Tinggi (87,5 °C)	31,80	28	1,14

PENUTUP

Kesimpulan

1. Besar pengaruh suhu *curing* terhadap nilai kuat tekan beton rata-rata pada *curing* suhu normal 29 °C adalah sebesar 23,85 Mpa, *curing* suhu rendah -10°C adalah sebesar 26,29 MPa dan *curing* suhu tinggi dalam oven 87,5°C adalah sebesar 31,80 MPa. Hal ini membuktikan bahwa kuat tekan beton yang lebih optimal adalah kuat tekan beton pada *curing* suhu tinggi.
2. Kuat tekan beton hasil proyeksi pada *curing* suhu tinggi dengan metode *long cycle steam curing* 1 hari, pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 6 dan 8 hari selanjutnya diproyeksikan menggunakan metode kematangan (*maturity method*) adalah sebesar 27,06 MPa.
3. Perbandingan laju kenaikan kuat tekan beton pada *curing* suhu normal, *curing* suhu rendah dan *curing* suhu tinggi adalah 0,85 : 0,94 : 1,14. Sehingga dapat diketahui bahwa laju kenaikan kuat tekan beton pada *curing* suhu tinggi lebih besar dibandingkan dengan laju kenaikan kuat tekan beton pada *curing* suhu normal dan *curing* suhu rendah.

Saran

1. Perawatan (*curing*) beton menggunakan suhu tinggi dengan kekuatan tekan beton yang lebih besar dibandingkan dengan *curing* suhu rendah dan *curing* suhu normal dapat diterapkan pada daerah-daerah yang memiliki iklim tropis namun disarankan agar dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai cara *curing* suhu tinggi yang tepat pada konstruksi-konstruksi yang akan dibangun.

2. Metode kematangan (*maturity method*) dengan *error* yang kecil dapat digunakan untuk memproyeksikan kekuatan beton pada umur berikutnya dengan metode perawatan suhu normal, suhu rendah maupun suhu tinggi dalam dunia konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute ACI 318-89. 1990. *Building Code Requirements for Reinforce Concrete*. Illinois : PCA.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Indonesia*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1968-1990. *Analisis Saringan Agregat*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1971-1990. *Prosedur Pengujian Kadar Air Agregat*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2000. SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. SNI-13-6669-2002. *Penentuan Kadar Lempung Bahan Pasir*. Bandung : Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. SNI 03-6805-2002. *Metode Pengujian untuk Mengukur Nilai Kuat Tekan Beton Pada Umur Awal dan Memproyeksikan Kekuatan Pada Umur Berikutnya*. Bandung : Badan Standardisasi Nasional.
- Mindess, S. dan Young, J. F. 1981. *Concrete*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. Englewoos Cliffs.
- Neville, A. M. dan Brooks, J. J. 1987. *Concrete Technology*. New York : Longman Scientific & Technical.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Biro Penerbit Universitas Gadjadarmas.