

PENGARUH METODE RAWATAN KERAS PADA KUAT TEKAN, LENTUR DAN TARIK BELAH BETON UNTUK PERKERASAN KAKU

Jonudin

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan/Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM,
Yogyakarta 55281

jonudin.sipil@mail.ugm.ac.id

M. Fauzie Siswanto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan/Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

mfs_ugm@yahoo.com

Andreas Triwiyono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan/Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM,
Yogyakarta 55281

andreas.triwiyono@ugm.ac.id

Abstract

Curing, though important is sometimes underrated in concrete production. This paper describes the effect of the curing method on compressive strength, flexural, splitting tensile strength of concrete. Concrete mixtures were formulated to reach the concrete with compressive strength (f_c') = 40 MPa at 28 days. The specimens were made in 2 types of concrete job mix formula (project and experiment), and cured with three curing methods, there were water submerged method, wet geotextile non woven, and curing compound. Tests were conducted on 72 cylinders of specimens compressive (\varnothing 150 mm and heigh 300 mm), flexural specimens of 36 prisms ($150 \times 150 \times 600$ mm³), while the splitting tensile test specimens were 18 cylinders (\varnothing 150 mm and high 300 mm). The results of the study show that the concrete with project job mix formula cured with water submerged method were obtained the highest compressive and splitting tensile strength, while the wet geotextile non woven method were obtained the highest flexural strength.

Keywords: curing method, f_r , f_c' , T , rigid pavement

Abstrak

Curing, meskipun penting terkadang diremehkan dalam produksi beton. Tulisan ini menyajikan tentang pengaruh metode rawatan keras (*curing*) pada kuat tekan, lentur, tarik belah beton. Campuran beton diformulasikan untuk mencapai beton dengan kuat tekan (f_c') = 40 MPa pada umur 28 hari. Benda uji dibuat dalam 2 tipe campuran beton (JMF lapangan dan penelitian) dan dirawat dengan tiga metode, yakni direndam dalam air, *wet geotextile non woven*, dan *curing compound*. Pengujian dilaksanakan pada benda uji tekan sebanyak 72 buah (silinder \varnothing 150 mm dan tinggi 300 mm), uji lentur sebanyak 36 buah (balok $150 \times 150 \times 600$ mm³), sedangkan benda uji tarik belah sebanyak 18 buah (silinder \varnothing 150 mm dan tinggi 300 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton untuk *job mix formula* lapangan dengan metode *curing* direndam air diperoleh kuat tekan dan Tarik belah paling baik, sedangkan pada metode *wet geotextile non woven* diperoleh kuat lentur terbaik.

Kata Kunci: metode *curing*, f_r , f_c' , T , Perkerasan kaku

PENDAHULUAN

Untuk dapat memberikan layanan terbaik, suatu infrastruktur harus didukung oleh struktur bangunan yang memenuhi kriteria kesehatan struktur, yakni kekuatan, kekakuan, kemampuan layanan, stabilitas, keawetan, dan kenyamanan pengguna (Suhendro, 2016). Dari sekian banyak sarana dan prasarana infrastruktur, seperti bangunan Sumber daya air, pekerasan jalan, dan bangunan gedung, material yang dipergunakan sebagai bahan konstruksi adalah beton. Hal ini dikarenakan pertimbangan, bahwa material beton dinilai memiliki kekuatan struktur dan keawetan yang relatif lebih baik, serta mudah dalam pelaksanaannya. Kemampuan beton pada dasarnya bergantung pada proporsi empat material pengisi beton dan perawatan keras beton setelah dicor. Dari semua faktor yang berpengaruh terhadap kinerja beton, suhu *curing* kemungkinan adalah yang paling sulit terkontrol. Rawatan keras beton (*curing*) dilakukan saat beton sudah mulai mengeras yang bertujuan

untuk menjaga agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, sehingga beton mencapai mutu beton yang diinginkan. Beton yang dirawat pada saat musim panas akan memiliki suhu *curing* yang lebih tinggi, akan mendapatkan kekuatan pada tingkat yang lebih cepat dari beton yang sama dirawat pada suhu rendah. Meskipun kekuatan yang diperoleh lebih cepat pada suhu lebih tinggi pada umur awal, beton seperti itu akan memperlihatkan kekuatan yang lebih rendah pada jangka panjang dibandingkan dengan beton yang dirawat pada suhu rendah ($23\pm 1^\circ\text{C}$) (ACI, 1992).

Untuk beton normal pada umur 28 hari, kuat tekan 40 MPa atau kurang, suhu *curing* tinggi akan mempercepat reaksi hidrasi semen, sementara suhu rendah akan memperlambat reaksi hidrasi. Faktanya, ketika suhu naik 7°C , reaksi hidrasi dilaporkan meningkat 100% (Hover K, 1993). Metode *curing* beton dengan merendam dalam air (merendam benda uji dalam air pada $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ dibawah 100% kelembaban udara relatif) mempertahankan kadar air tinggi sampai kuat tekan yang ditentukan tercapai. Beberapa penelitian sebelumnya telah menyelidiki efisiensi dari metode *curing* dengan direndam dalam air (Austin, 1992; Gyarre, 2014). Banyak peneliti telah menyampaikan bahwa efisiensi dari *curing* didasarkan pada tipe dari *curing*, tipe rawatan keras benda uji, dan lingkungan serta lamanya *curing*. Sebagai tambahan, pengaruh dari metode *curing* terhadap kekuatan adalah paling dipengaruhi oleh paparan lingkungan dan kondisi penyimpanan tanpa atau dengan penyiraman air dalam ruangan atau diluar ruangan.

Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa untuk semua metode *curing*, kekuatan dari benda uji beton yang disimpan dilingkungan luar ruangan lebih rendah dari yang disimpan di dalam ruangan (ACI, 2006; Al Gahtani, 2010; Austin, 1992; Bushlaibi dan Alshamsi, 2002; Ibrahim, 2013; Nassif, 2005). Suhu tinggi *curing* mempengaruhi pengerasan beton dalam dua cara. Pertama, tingkat mikroskopik, Kristal *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) berkembang dengan cepat, meskipun mereka tipis, panjang dan lebar. Kristal panjang, lebar ini relatif besar, tetapi tidak menempati semua ruang pori yang tersedia dalam matriks beton. Kedua, suhu tinggi *curing* mengakibatkan kehilangan air lebih besar dan cepat dikarenakan evaporasi, meninggalkan partikel semen yang tidak terhidrasi dalam matriks beton, sebaik rongga yang dibuat oleh evaporasi air dan tidak diisi dengan Kristal C-S-H, maka dari itu beton yang dirawat dalam suhu tinggi cenderung memperlihatkan mikrostruktur yang lebih berpori.

Akibat *curing* yang tidak baik pada beton, menghasilkan mutu beton lebih rendah dalam jangka panjang dan menurunkan kemampuan menahan penetrasi zat berbahaya seperti sulfat dalam lingkungan laut. Bahkan, jika kekuatan yang diinginkan tercapai, porositas saja bisa membuktikan menjadi sumber tantangan serius untuk isu keawetan struktur beton yang dibangun dibawah kondisi *curing* cuaca panas. Berkurangnya keawetan pada beton merupakan salah satu permasalahan utama yang disebabkan oleh kondisi cuaca panas.

Beton sebaiknya dirawat untuk periode lebih panjang pada kondisi dibawah cuaca panas, dibandingkan dengan cuaca normal dalam hal untuk mencapai persyaratan kekuatan dan keawetan. Untuk beberapa metode rawatan keras beton (*curing*), diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya dan metode yang optimal digunakan untuk merawat beton.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan dua tipe campuran beton. Campuran beton direncanakan untuk mencapai kekuatan tekan (f_c') sebesar 40 MPa.

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I *Ordinary Portland Cement* (OPC) Ex. Indocement, agregat halus dari pasir alam berasal dari kuari Cimalaka Kab. Sumedang, agregat kasar batu pecah dengan ukuran 5-20 mm dan 20-30 mm dari kuari Bale Endah Kab. Bandung Barat, air, serta bahan tambah Admixture Plastiment P121 R Ex. Sika, *geotextile non woven* 250 gr/m² Ex. Maccaferri, *curing compound* Antisol E 125 Ex. Sika.

Proporsi Campuran

Proporsi campuran dari beton yang direncanakan digunakan untuk penelitian ini ditampilkan pada tabel 1. Campuran beton direncanakan untuk memiliki kuat tekan (f_c') 40 MPa pada umur 28 hari.

Tabel 16. Proporsi rencana campuran beton

MATERIAL DAN BAHAN	SATUAN	PROJECT/LAPANGAN	EXPERIMENT/PENELITIAN
SEMEN	Kg/m ³	400	390
AIR	Kg/m ³	156	152
PASIR ALAM	Kg/m ³	714	662
AGREGAT BATU PECAH 20-30 MM	Kg/m ³	637	650
AGREGAT BATU PECAH 5-20 MM	Kg/m ³	464	550
ADMIXTURE SIKAMENT NN	Kg/m ³	0,00	0,00
ADMIXTURE PLASTIMENT P121 R	Kg/m ³	3,2	3,12
W/C	%	0,39	0,39
SLUMP	Cm	0-5	0-5
KEPADATAN	Kg/m ³	2.371	2.400

(sumber: JMF P 45 Proyek pembangunan Jalan Cismudawu phase 2)

Persiapan benda uji

Benda uji yang disiapkan berupa silinder beton (Ø150 mm dan tinggi 300 mm) untuk uji kuat tekan masing-masing 3 buah untuk setiap variasi metode *curing*. Benda uji kuat lentur menggunakan benda uji beton balok (150 × 150 × 600 mm³), masing-masing 3 buah untuk setiap metode *curing*. Sedangkan untuk uji Tarik belah adalah silinder beton (Ø150 mm dan tinggi 300 mm) untuk uji kuat tekan masing-masing 3 buah untuk setiap variasi metode *curing*. Semua benda uji dicor sesuai standar SNI 2493-2011 dan ASTM C 192, Standar dan petunjuk membuat dan merawat benda uji beton di laboratorium.

Rawatan keras (*Curing*) benda uji beton

Rawatan keras benda uji dilakukan dengan beberapa metode *curing* yang berbeda, ada yang dilaksanakan di dalam laboratorium dan di luar ruangan laboratorium, untuk disimulasikan kondisi lingkungan seperti yang berada dilapangan pada saat pelaksanaan pekerjaan. Variasi metode *curing* dilakukan untuk mengetahui pengaruh metode yang digunakan terhadap hasil kekuatan beton yang dihasilkan. Adapun metode perlakuan *curing* yang akan diterapkan pada pelaksanaan perawatan adalah :

- Curing* direndam dalam air / *water submerge* (WS).
- Curing* dengan *wet geotextile non woven* (WGTNW).
- Curing compound* (CC).

Pengujian

pengujian kuat tekan, lentur, dan tarik belah beton ditetapkan untuk masing-masing metode *curing*, pengujian benda uji tekan pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari, pengujian benda uji lentur pada umur 7 dan 28 hari, sedangkan pengujian benda uji Tarik belah pada umur 28 hari. Semua tahapan pelaksanaan pengujian dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-1974-2011 Tentang pengujian kuat tekan beton dan standar SNI 03-4431-2011 Tentang pengujian kuat lentur beton, serta standar SNI 03-2491-2014 Tentang metode pengujian tarik belah beton.

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

Di mana,

P : Beban maksimum (N),
 A : Luas penampang (mm^2),

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \quad (2)$$

Di mana,

P : Beban maksimum (N),
 L : Jarak dua garis dari perletakan (mm),
 b : Lebar penampang balok (mm),
 h : Tinggi penampang balok (mm),

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3)$$

Dimana,

T : Nilai Tegangan Tarik belah maksimum beton (MPa),
 P : beban maksimum (N),
 L : panjang silinder (mm),
 D : diameter silinder (mm),

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian beton segar

Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian slam dari campuran beton *project* dan *experiment*. Pengurangan volume air mengurangi nilai uji slam dari campuran penelitian sebesar 14,29%.

Tabel 17. Pengujian slam dan berat volume beton segar

Campuran	Slam (mm)	Berat volume beton segar (kg/m^3)
<i>Project</i>	17,5	2.393
<i>Experiment</i>	15,0	2.425

Pengujian berat volume beton segar

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian berat volume beton segar untuk campuran beton *experiment* lebih besar 1,31% dari campuran beton *project*.

Pengamatan suhu dan kelembaban udara relatif

Dari Tabel 3 dapat diketahui, bahwa kondisi lingkungan perawatan diluar ruangan (*outdoor*) memiliki suhu ruangan yang lebih besar dari perawatan didalam ruangan (*indoor*), sedangkan untuk kelembaban udara relatifnya lebih rendah. Kondisi ruang dan lingkungan perawatan dari ketiga metode rawatan keras dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3.

Tabel 18. Pengamatan suhu dan kelembaban udara relatif

Metode <i>Curing</i>	Hasil pengamatan rata-rata								
	Pagi			Siang			Sore		
	RH (%)	Suhu ruang (°C)	Suhu sampel (°C)	RH (%)	Suhu ruang (°C)	Suhu sampel (°C)	RH (%)	Suhu ruang (°C)	Suhu sampel (°C)
<i>Water Submerged Wet</i>	87,86	27,74	25,51	77,29	30,14	26,47	79,5	29,16	25,76
<i>Geotextile Non Woven</i>	57,14	36,76	32,20	46,00	41,53	41,64	81,2	29,76	31,91
<i>Curing Compound</i>	57,14	36,76	31,87	46,00	41,53	42,93	81,2	29,76	32,84

Gambar 33. Rawatan keras metode *water submerged*Gambar 34. Rawatan keras metode *wet geotextile non woven*Gambar 35. Rawatan keras metode *curing compound*

Pengujian berat volume beton

Pengukuran dimensi dan berat benda uji dilaksanakan pada semua benda uji beton (Gambar 4), kemudian dihitung rata-ratanya untuk masing-masing metode *curing* yang dipakai pada tiap tipe campuran beton, dan ditampilkan hasil pengujian berat volume beton pada Tabel 4.



Gambar 5. Pengukuran dimensi dan berat benda uji

Tabel 19. Pengujian berat volume beton

Metode rawatan keras (<i>Curing</i>)	Rata-rata berat volume beton (kg/m ³)	
	<i>JMF Project</i>	<i>JMF Experiment</i>
<i>Water Submerged</i>	2.367,75	2.393,34
<i>Wet Geotextile Non Woven</i>	2.321,63	2.366,20
<i>Curing Compound</i>	2.308,95	2.347,86

Dari Tabel 4 diketahui bahwa berat volume beton pada tipe JMF *experiment* lebih besar dari JMF *project*, deviasinya antara 1,06% - 1,65%. Sedangkan untuk metode *curing* direndam dalam air diperoleh nilai berat volume beton yang paling tinggi, berbeda dengan benda uji yang dirawat dengan metode *wet geotextile non woven* dan *curing compound* yang diperoleh nilai yang lebih kecil dikarenakan kondisi lingkungan perawatan diluar ruangan (*outdoor*), sehingga beton terpapar sinar matahari dengan suhu ruang yang lebih tinggi, dan kelembaban udara relatif yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi ruang perawatan didalam laboratorium (*indoor*).

Pengujian kuat tekan beton

Kuat tekan dari beton JMF *project* dan *experiment* dirawat dengan menggunakan tiga metode *curing* berbeda ditampilkan pada Tabel 5, dan Gambar 5. Sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 5, beton JMF *project* dirawat dengan metode *water submerged* (WS) dibawah kondisi laboratorium pada suhu $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban udara relatif 80% memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan metode *curing* diluar ruangan.

Tabel 20. Pengujian kuat tekan beton

Umur	Metode Rawatan Keras (<i>Curing</i>)	Hasil Kuat Tekan (MPa)	
		JMF <i>Project</i>	JMF <i>Experiment</i>
3	WS	36,27	39,69
	WGTNW	33,74	34,23
	CC	35,60	29,63
7	WS	38,29	41,15
	WGTNW	38,07	37,38
	CC	36,33	35,39
14	WS	49,04	46,01
	WGTNW	42,16	41,60
	CC	43,58	39,16
28	WS	54,45	44,16
	WGTNW	47,75	36,48
	CC	44,54	37,25

Benda uji beton yang dirawat dengan metode *curing* diluar ruangan, yakni *wet geotextile non woven* dan *curing compound* diperoleh nilai tekan yang lebih rendah, dengan nilai deviasi terhadap nilai yang diperoleh dari metode *curing* didalam ruangan antara 12 - 18%.



Gambar 37. Pengujian kuat tekan beton



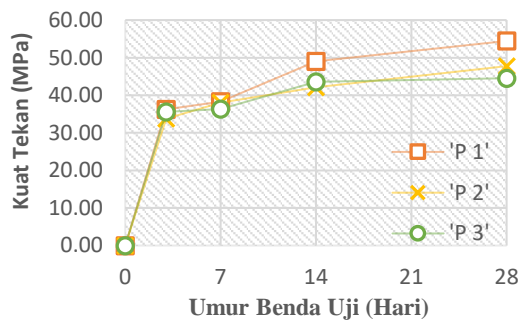
Gambar 38. Pengujian kuat lentur beton



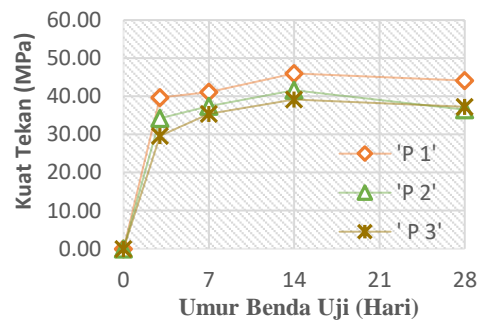
Gambar 39. Pengujian kuat tarik belah beton

Data hasil pengujian dilakukan analisis statistik, dari populasi hasil pengujian kuat tekan masing-masing metode perawatan keras (*curing*) menggunakan program SPSS 22 analisa varian (anova), diketahui bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara varian populasi masing-masing metode *curing* atau dari hasil pengujian kuat tekan pada masing-masing metode *curing* menghasilkan rata-rata yang sama.

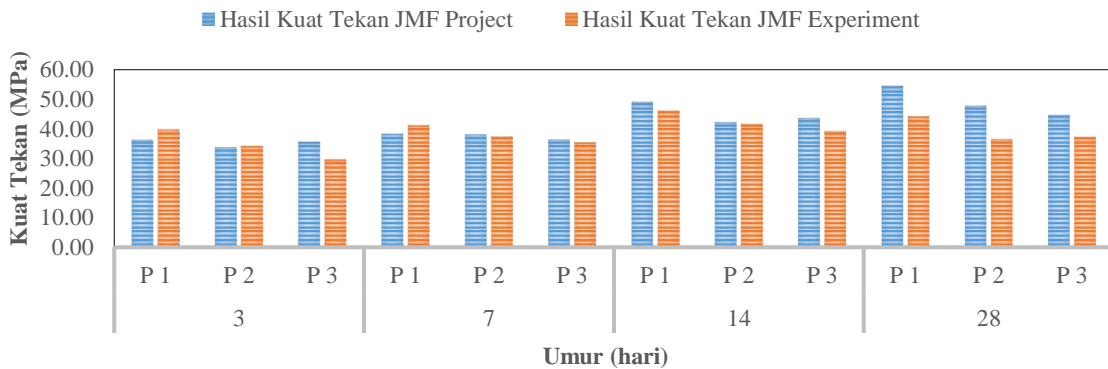
Grafik perkembangan kuat tekan beton dari dua tipe campuran beton JMF *project* dan *experiment* pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10. Secara statistik, tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengujian dari ketiga metode *curing*, sehingga hasil pengujian rata-rata kuat tekan yang dihasilkan dari ketiga metode secara signifikan adalah sama. Pada JMF *project* dengan metode perawatan keras *water submerged* diperoleh kuat tekan optimum, sebesar 54,45 MPa.



Gambar 41. Perkembangan kuat tekan beton JMF *project*



Gambar 40. Perkembangan kuat tekan beton JMF *experiment*



Keterangan:

P1 = Perawatan keras metode *water submerged*

P2 = Perawatan keras beton metode *wet geotextile non woven*

P3 = Perawatan keras beton metode *compound*

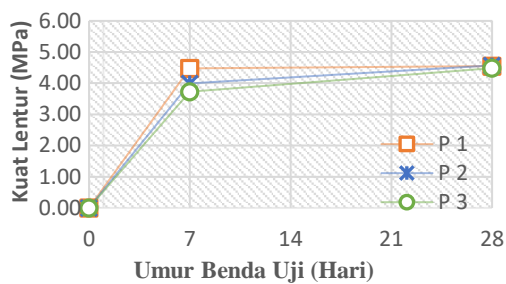
Gambar 11. Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat lentur beton

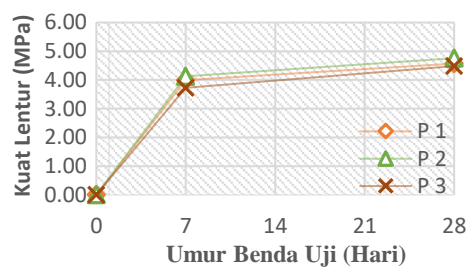
Hasil pengujian kuat lentur beton tipe JMF *project* dan *experiment* dilakukan pada umur 7 dan 28 hari, ditampilkan pada Tabel 6, dan Gambar 11, 12 dan 13. Pada penelitian ini, dari beton tipe JMF *project* dirawat dengan metode *wet geotextile non woven* diperoleh hasil kuat lentur paling baik dibanding metode lainnya, dengan deviasi sebesar 1% - 4%.

Tabel 21. Pengujian kuat lentur beton

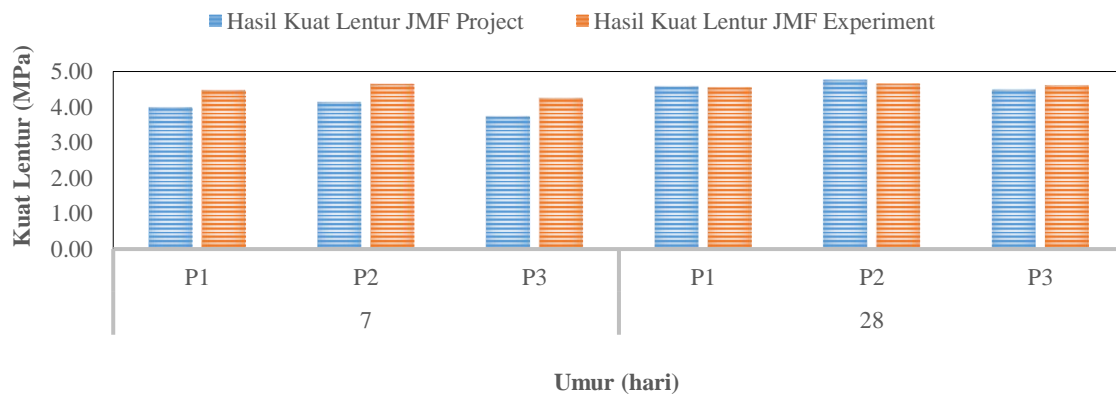
Umur	Metode Rawatan Keras (<i>Curing</i>)	Hasil Kuat Lentur	
		JMF <i>Project</i>	JMF <i>Experiment</i>
7	WS	3,99	4,48
	WGTNW	4,13	4,65
	CC	3,72	4,25
28	WS	4,57	4,55
	WGTNW	4,76	4,65
	CC	4,48	4,61



Gambar 43. Perkembangan hasil uji kuat lentur JMF *project*



Gambar 44. Perkembangan hasil uji kuat lentur JMF *experiment*



Gambar 14. Hasil pengujian kuat lentur

Dari Tabel 6, gambar 11, 12, dan 13, diketahui bahwa nilai perkembangan kuat lentur beton pada umur 7 hari telah mencapai 0,87 – 0,90 untuk kedua tipe campuran beton. Pada tipe campuran beton JMF *project* dengan metode perawatan keras *wet geotextile non woven* diperoleh kuat lentur optimum, sebesar 4,76 MPa. Proses pelaksanaan dan layout pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 6.

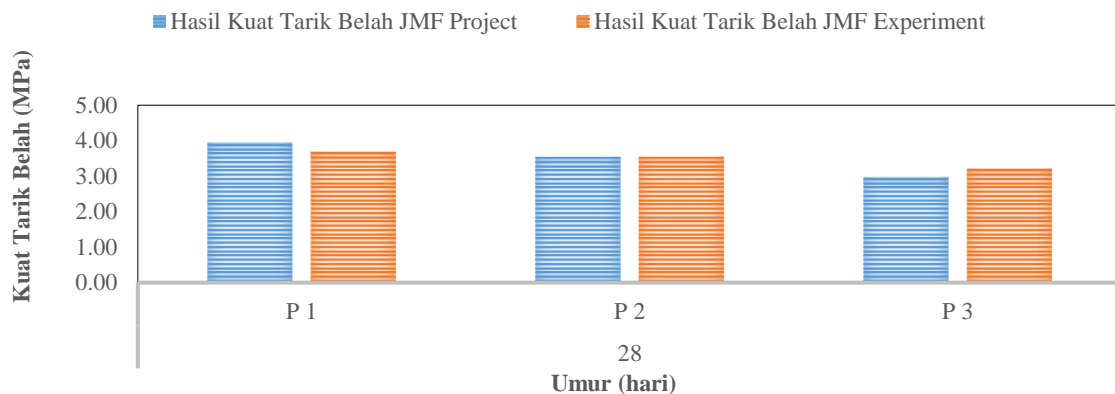
Pengujian tarik belah beton

Dari pengujian Tarik belah beton, diketahui bahwa tipe campuran beton JMF *project* dengan metode *curing water submerged* (WS) dihasilkan kuat tarik belah yang terbaik, seperti yang dapat kita lihat pada Tabel 7.

Tabel 22. Pengujian Tarik belah beton

Umur	Metode <i>Curing</i>	Hasil Kuat Tarik Belah	
		JMF <i>Project</i>	JMF <i>Experiment</i>
28	WS	3,95	3,69
	WGTNW	3,54	3,54
	CC	2,97	3,21

Pada Gambar 14, dapat dilihat bahwa hasil pengujian rata-rata kuat tarik belah dari kedua tipe campuran beton dengan ketiga metode *curing* yang dipergunakan, diperoleh hasil rata-rata kuat tarik belah beton yang tidak jauh berbeda. Data dianalisa secara statistik dengan menggunakan metode analisa varian (anova), diketahui bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara varian populasi dari ketiga metode *curing*. Proses pelaksanaan dan layout pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 15. Hasil pengujian Tarik belah beton

Hasil pengujian tarik belah beton dari ketiga metode perawatan keras (*curing*) untuk masing-masing tipe campuran beton, secara statistik memiliki signifikansi nilai rata-rata yang sama. Pada tipe campuran JMF *project* dengan metode perawatan keras *water submerged* diperoleh kuat tarik optimal, sebesar 3,95 MPa.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan didasarkan pada hasil pengujian dan analisa, adalah sebagai berikut:

1. Beton dengan kuat tekan (f_c') sebesar 40 MPa atau kuat lentur (f_r) sebesar 4,41 MPa dapat diproduksi dalam kondisi lingkungan diluar ruangan dengan *job mix formula* (JMF) *project* dan *experiment* melalui metode *curing wet geotextile non woven* dan *curing compound*.
2. Beton dengan campuran JMF *project* dirawat dengan metode direndam dalam air, dihasilkan kuat tekan, kuat tarik belah optimal, yaitu sebesar 54,45 MPa dan 3,95 MPa, sementara itu untuk metode *curing wet geotextile non woven* diperoleh kuat lentur optimal sebesar 4,76 MPa.
3. Terdapat perbedaan antara kondisi suhu dan kelembaban udara relatif lingkungan perawatan di dalam ruangan (*indoor*) dengan diluar ruangan (*outdoor*), kondisi ini mengakibatkan penurunan nilai berat volume pada beton.
4. Rawatan keras (*Curing*) pada pekerjaan beton dengan metode yang tepat, sangat penting diberikan dalam pelaksanaan pekerjaan beton untuk perkerasan kaku dengan dimensi permukaan yang luas, agar diperoleh mutu beton paling baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Pusat Pendidikan dan Pelatihan 2 Sumber Daya Air dan Konstruksi Kemenpu, Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Bebas Hambatan Cileunyi-Sumedang-Dawuan, yang telah membantu proses pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI, 2006. *Hot Weather Concreting*, ACI Committee (ACI 305.1-06). Amerika Serikat.
- Al-Gahtani, A., 2010. *Effects of Curing Methods on the Properties of Plain and Blended Cement Concretes*. Const. Build Mater. 24.3 : 308-314
- Austin, S. Robins, and P., Isaad, A., 1992. *Influence of Curing Methods on the Strength and Permeability of GGBFS Concrete in a Simulated Arid Climate*. Cem. Concr. Compos. 14 (3) : 157-167
- Badan Standarisasi Nasional, 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 03-2834-2000. Jakarta, BSN, hal. 4-15.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SNI 03-2491-2002. Jakarta, BSN, hal. 3-6.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton SNI 03-1974-2011. Jakarta, BSN, hal. 2-8.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. Metode Pengujian Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan SNI 03-4431- 2011. Jakarta, BSN, hal. 2-5.
- Gayarre, F. I., Perez, C.L.C., Lopez, and M.A.S., Cabo, A.D., 2014. *The Effects of Curing Conditions on the Compressive Strength of the Recycled Aggregate Concrete*. Const. Build. Mater. 53 : 260-266
- Ibrahim, M., Shameem, M., Al-Mehthel, M.H., and Maslehuddin, M., 2013. *Effect of Curing Methods on Strength and Durability of Concrete Under Hot Weather Conditions*. Cem Concr. Compos. 41 : 634-641
- Nassif, H.H., Najm, and H., Suksawang, N., 2005. *Effect of Pozzolanic Materials and Curing Methods on the Elastic Modulus of HPC*. Cem Concr. Compos. 27 (6) : 661-670
- Suhendro, B., 2016. Monitoring dan Instrumentasi, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik. Yogyakarta: UGM, hal. 22-23.