

**ALTERNATIF PERENCANAAN KOMPOSISI CAMPURAN BETON
DENGAN GABUNGAN BAHAN TAMBAH KIMIA TIPE F DAN D
AGAR WAKTU BUKA ACUAN DIPERCEPAT
(ALTERNATIVE PLANNING OF CONCRETE MIXTURE COMPOSITION
WITH A COMBINATION OF CHEMICAL ADDITIVES TYPES F AND D
TO ACCELERATE FORMWORK OPENING TIME)**

Juandra Hartono¹⁾, Masrianto²⁾, Indira L. Widuri³⁾, Bhima Dhanardono⁴⁾, Hinawan T. Santoso⁵⁾

^{1),2),3),4),5)}Politeknik Pekerjaan Umum

^{1),2),3),4),5)}Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

e-mail: ¹⁾juandra.hartono@pu.go.id, ²⁾masrianto167@yahoo.com, ³⁾iwiduri1979@gmail.com,

⁴⁾bhimadesign@gmail.com, ⁴⁾hinawan.santoso@politeknikpu.ac.id

Diterima: 30 Juni 2021 ; direvisi: 20 Juni 2021; diterbitkan: 30 Juni 2022.

ABSTRAK

Tuntutan percepatan waktu penyelesaian proyek sering kali menjadi kendala khususnya pada pekerjaan struktur yang menjadi lintasan kritis. Lamanya perawatan beton (curing) dan bongkar acuan menghambat progres pekerjaan di lapangan. Waktu yang dibutuhkan untuk pengecoran, perawatan beton dan bongkar acuan pada proyek pembangunan jembatan bentang panjang ± 14 hari dengan catatan tidak ada kendala di lapangan. Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti mencoba memberikan solusi alternatif melalui uji kuat tekan dengan variasi mutu beton dan umur perawatan menggunakan bahan tambah kimia tipe F dan tipe D. Riset ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton minimum yang dicapai, lamanya perawatan beton, serta pengaruh pemakaian bahan tambah dengan mengacu pada standar spesifikasi umum 2018 (70% dari kuat tekan beton yang dirancang). Variasi mutu beton yang digunakan 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa sedangkan variasi umur perawatan 1,2,3,7 dan 28 hari. Dari hasil pengujian didapatkan kuat tekan minimum beton f'c 40, 50 dan 60 Mpa sebesar 28,58 Mpa, 36,85 Mpa dan 46,25 Mpa. Waktu yang dibutuhkan untuk perawatan beton selama 2 hari untuk fc' 40 dan 50 Mpa sedangkan f'c 60 Mpa proses curing membutuhkan waktu 3 hari. Pemakaian bahan tambah juga memberikan dampak pada peningkatan kuat tekan. Nilai kuat tekan maksimum umur 28 hari terdapat pada variasi f'c 60 Mpa sebesar 62,20 Mpa dengan kadar bahan tambah tipe F dan D masing-masing sebesar 0,6% dan 0,15% dari berat semen. Kuat tekan optimum tercapai jika dilakukan perawatan menggunakan metode perendaman.

Kata Kunci: lintasan kritis, acuan, bahan tambah kimia, kuat tekan, metode perendaman

ABSTRACT

The demand for an acceleration of project completion time is often an obstacle, especially in structural work which is a critical path. The length of time for concrete curing and formwork dismantling sometimes obstructs the progress of the project. The time required for casting, concrete curing and unloading of formwork in a long span bridge construction project is ± 14 days with a record that there are no obstacles in the field. Based on these problems, researchers are trying to provide an alternative solution through a compressive strength test with a variant of the concrete quality and the curing time using chemical additives type F and type D. The study aims to find the minimum concrete compressive strength, the curing time, and the effects of adding a chemical additive that refers to General Specifications Standard 2018 (70% of the designed concrete compressive strength). The variant of the concrete quality is 40 MPa, 50 Mpa, and 60 Mpa while the variant of the curing time is 1,2,3,7, and 28 days. Based on the study, the minimum concrete compressive strength for each concrete quality is 28,58 MPa, 36,85 MPa, and 46,25 MPa. The curing time needed for fc' 40 MPa and fc' 50 Mpa is 2 days while for fc' 60 MPa is 3 days. The use of chemical additives also has an impact on increasing compressive strength. The maximum compressive strength value of 28 days is found in the variation of f'c 60 Mpa of 62.20 Mpa with additive content of type F dan D of 0.6% and 0.15% of the cement weight. Optimum compressive strength is achieved when the curing process is done using the soaking method.

Key words: critical path, formwork, chemical additives, compressive strength, soaking method

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur adalah sasaran utama pemerintah yang wajib segera dituntaskan, khususnya jalan dan jembatan sebagai sarana penghubung antarwilayah. Di bidang material, beton adalah material primer yang dituntut bisa menyokong pembangunan infrastruktur lebih cepat, lebih baik, lebih hemat serta ramah lingkungan, hal ini dikarenakan beton telah menjadi bahan konstruksi yang dominan untuk infrastruktur di seluruh dunia (Mangi *et al.*, 2019). Untuk mencapai sasaran tersebut dibutuhkan teknologi mutakhir yang bisa mempercepat penyelesaian proyek, diantaranya inovasi bahan bangunan. Teknologi beton yang semakin berkembang mendorong para peneliti melakukan riset terhadap kualitas bahan campuran beton. Riset tersebut dibutuhkan untuk mendukung terselenggaranya konstruksi berbasis semen yang lebih ramping (*lean construction*) dan berkesinambungan (*sustainable*).

Tuntutan waktu percepatan penyelesaian proyek dari waktu normal memaksa adanya sebuah perubahan terhadap metode pekerjaan maupun inovasi bahan khususnya pekerjaan struktur yang menjadi lintasan kritis. Permasalahan yang terjadi di beberapa infrastruktur seperti jembatan bentang panjang, landasan pacu dan fasilitas lainnya (Anggasta dan Rahman, 2021) adalah keterlambatan proyek. Salah satu faktor penyebab keterlambatan yaitu lamanya proses curing dan bongkar acuan setelah pengecoran beton. Penelitian Prayuda (2019) menyatakan bahwa setelah beton dilakukan pengecoran minimal 1 hari, proses pembongkaran acuan dilakukan setelah umur beton mencapai 7 hari. Permasalahan lainnya seperti yang terjadi pada proyek pembangunan Jembatan Pulau Balang II yang berlokasi di teluk Balikpapan Kalimantan Timur dengan panjang bentang 804 meter (Hartono dan Khoiroh 2021). Waktu yang dibutuhkan untuk pengecoran struktur pylon per-stage diperkirakan ± 14 hari termasuk perawatan beton dan buka acuan dengan catatan tidak ada kendala di lapangan (Satuan Kerja Pelaksanaan Jembatan Pulau Balang, 2021)

Hasil penelitian Ginting (2019) menyatakan bahwa kuat tekan beton pada umur tertentu merupakan salah satu kriteria boleh tidaknya *scaffolding* dibuka. Spesifikasi teknis

Bina Marga, 2018 menjelaskan terkait acuan yang tidak boleh dibongkar dari bidang vertikal, dinding, kolom yang tipis dan struktur yang sejenis lebih awal 30 jam setelah pengecoran beton (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). Sumber lain yang dijadikan acuan adalah PBI 1971 (Wangsadinata, 1971), dijelaskan bahwa cetakan dan acuan dapat dibongkar setelah beton berumur 3 minggu. Jika ada jaminan bahwa setelah cetakan dan acuan dibongkar, beban yang bekerja pada bagian konstruksi itu tidak akan melampaui 50% dari beban rencana total, maka pembongkaran cetakan dan acuan dapat dilakukan setelah beton berumur 2 minggu. Disampaikan juga dalam SNI-03-2847-2002 (Badan Standardisasi Nasional, 2002) bahwa penopang dapat dibongkar apabila struktur sudah memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang berat sendirinya dan beban yang ditumpukan kepadanya. Kekuatan beton didasarkan pada pengujian silinder beton yang dirawat di lokasi konstruksi.

Riset ini mengkaji bagaimana kuat tekan minimum dapat tercapai pada umur beton yang relatif muda sesuai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, yaitu beton yang dibuat dengan semen yang mempunyai sifat kekuatan awal tinggi atau beton yang dibuat dengan semen biasa yang ditambah dengan bahan tambah kimia (*admixture*), harus dibasahi sampai kekuatannya mencapai minimum 70% dari kuat tekan yang dirancang (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). Jika kuat tekan minimum telah tercapai maka proses pembongkaran acuan dapat dipercepat.

Untuk mencapai kualitas beton yang baik, beton segar harus mengisi ruang dengan cepat agar tidak ada udara didalamnya, jika beton memiliki rongga pada permukaannya maka beton tersebut akan mengalami penurunan mutu. Salah satu upaya pemecahan masalah adalah dengan membuat beton *Self-Compacting Concrete* (SCC). Beton SCC atau beton yang mampu memadat sendiri adalah beton yang mudah dalam pengerjaannya dengan nilai *slump* cukup tinggi, sehingga mampu mengalir dengan beratnya sendiri dan mengisi ruangan di dalam cetakan tanpa harus adanya pemadatan. Beton SCC memiliki kandungan yang sama dengan beton konvensional, hanya saja untuk membuat beton SCC diperlukan bahan tambah *superplasticizer*. Berdasarkan hasil penelitian untuk membuat

beton SCC dapat ditambahkan bahan yang mengandung pozzolan (Fakhrunisa, Djatmika dan Karjanto 2018)

Penggunaan bahan tambah adalah suatu metode guna meningkatkan kecepatan pencapaian mutu. Perkembangan signifikan ditunjukkan dengan banyaknya tipe bahan tambah yang beredar dipasaran terutama bahan tambah yang digunakan buat campuran beton seperti *water reducer*, *plasticizer* dan *superplasticizer*. Tujuh jenis bahan tambah kimia berdasarkan riset Nugraha, Antoni dan Suyantoro (2007) antara lain bahan tambah jenis A yang berfungsi mengurangi air (*water reducer*), jenis B untuk memperlambat pengikatan (*retarder*), jenis C untuk mempercepat pengikatan (*accelerator*), jenis D yaitu jenis A+B (*water reducer and retarder*), jenis E yaitu jenis A+C (*water reducer and accelerator*), jenis F kategori *superplasticizer* (*water reducer and high range*) dan jenis G kategori *water reducer and high range and retarder*.

Superplasticizer merupakan campuran tipe peredam air yang ditambahkan kedalam campuran beton, tujuannya untuk mengurangi pemakaian air hingga 30% tanpa mengurangi *workability* pada beton (Solikin, dkk 2020). Dalam penelitian Kusnadi dan Dewi Sulistyorini (2011) menyatakan bahwa penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan nilai *slump flow* pada beton segar dan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Menurut (Fatema, *at al* 2021) tujuan akhir penggunaan *superplasticizer* adalah untuk menaikkan mutu beton atau untuk mempertahankan tingkat kinerja beton. Hal senada disampaikan oleh Muhit (2013), *superplasticizer* sangat berhubungan dengan pengurangan air pada campuran beton, mempersingkat waktu pengerasan beton, kemudahan pelaksanaan pekerjaan beton (*workability*) dan menjadikan beton kedap air. Dengan memakai bahan tambah ini maka akan menaikkan mutu beton sesuai target yang diinginkan.

Water reducer and retarder admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Bahan ini juga digunakan untuk menambah kekuatan beton, mengurangi

kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air. Bahan tambah ini hampir semuanya berwujud cair. Air yang terkandung dalam bahan ini akan menjadi bagian dari air campuran beton. Jadi, dalam perencanaan air harus ditambahkan sebagai berat air total dalam campuran beton. Bahan kimia *water reducer* memiliki tiga peran, yaitu sebagai penambah kelecakan (*plasticizer*), Mengurangi jumlah air (*water reducer*), dan mengurangi jumlah semen (*semen saver*) (Maricar, Tatong dan Hasan, 2013)

Selain penggunaan bahan tambah tipe F dan tipe D guna meningkatkan kekuatan beton ada aspek lain yang mempengaruhi perkembangan kuat tekan beton yaitu perawatan beton (*curing*). Pelaksanaan *curing* beton segera dilakukan setelah beton memasuki tahap pengerasan (fase *hardening*) atau setelah pembukaan acuan selama periode tertentu. Pada dasarnya perawatan beton bertujuan untuk mengatasi permasalahan *microcrack* saat hidrasi atau susut muai yang akan menyebabkan keretakan dalam beton, oleh karena itu dibutuhkan proses perawatan guna mempertahankan beton supaya terus menerus dalam keadaan basah, waktu *curing* terjadi selama beberapa hari atau bahkan beberapa minggu (Solikin, dan Susilo, 2016).

Sesuai latar belakang diatas tujuan utama riset ini adalah untuk mengetahui mutu beton minimum serta lamanya perawatan beton (*curing*) minimum yang akan dicapai (70% dari $f'c$ rencana) sesuai (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018), membandingkan output $f'c$ beton bila perawatan beton (*curing*) menggunakan metode perendaman dan udara terbuka, mengetahui sejauh mana dampak penggunaan bahan tambah tipe F dan D terhadap kuat tekan beton minimum yang dicapai sesuai variasi mutu beton (40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa) serta lamanya perawatan beton (1, 2, 3, 7 dan 28 hari).

Secara umum penggunaan bahan tambah tipe F memiliki kemampuan untuk menambah *workability* dan *high range*, disamping itu bahan tambah tipe ini bisa mereduksi air sampai dengan 30%. Karena pemakaian air bisa direduksi lebih banyak maka beton akan cepat mengeras, dengan berjalannya waktu *workability* akan cepat habis (*slump loss*). Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibutuhkan bahan tambah lain yang bisa

memperlambat waktu setting beton. Bahan tambah tipe D (*water reducer and retarder*) bisa dijadikan alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Secara umum kemampuan bahan tambah tipe D bisa memperlambat waktu setting tapi secara workability tidak bisa menambah secara signifikan. Dari uraian diatas peneliti akan menggabungkan kedua bahan tambah tersebut untuk mendapatkan kuat tekan terbaik.

HIPOTESA

Kuat tekan minimum 70% dari kuat tekan beton yang dirancang sesuai (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) dengan penggabungan bahan tambah tipe F dan D akan tercapai untuk masing-masing mutu beton yaitu 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa pada umur 1, 2 dan 3 hari. Sehingga acuan bekisting sudah bisa dibuka untuk mempercepat progress pelaksanaan proyek.

METODOLOGI

Tahapan Penelitian

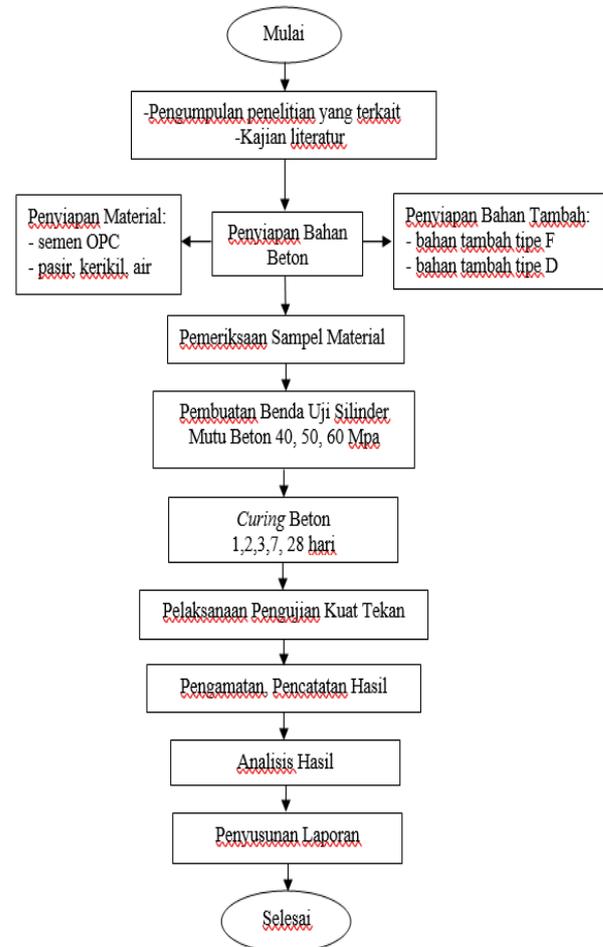
Riset ini dilaksanakan dengan kajian eksperimental di laboratorium. Waktu penelitian dimulai pada bulan Juli 2020 hingga bulan Desember 2020. Secara umum tahapan penelitian beton dapat dilihat pada Gambar 2.

Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam riset beton meliputi:

1. Semen portland tipe OPC (*Ordinary Portland Cement*). Semen yang dipakai dalam kondisi bagus dan tidak mengeras. Sifat fisik dan kimia semen OPC disesuaikan dengan standar (ASTM C150, 2004).
2. Agregat kasar yang digunakan bersumber dari sumur pitu kendal sedangkan agregat halus menggunakan pasir merapi. Bahan yang dipakai harus memenuhi standar SNI untuk percobaan beton.
3. Bahan tambah (*superplasticizer*) yang dipakai dalam penelitian ini merupakan jenis bahan tambah tipe F kategori *water-reducing, High range admixtures* sesuai (ASTM C494/C494M-17, 2017).
4. *Water reducer and retarding* yang digunakan dalam penelitian ini berupa campuran senyawa kimia tipe D

5. Air yang dipakai sesuai standar. Pada riset ini air yang dipakai bersumber dari sumur dimana riset dilaksanakan.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Pelaksanaan Penelitian

Secara umum tahapan pelaksanaan riset meliputi:

1. Pengecekan kualitas material agregat
Pengecekan mutu agregat halus dan agregat kasar seperti pengujian berat jenis, penyerapan air dan uji kadar lumpur sesuai dengan SNI 03-1750-1990 (Badan Standar Nasional, 1990). Beton berkekuatan tinggi sebaiknya menggunakan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 – 3,2 sedangkan untuk agregat kasar menggunakan ukuran nominal agregat maksimum 20 mm.
2. Perancangan *mix design*
Perancangan dan pembuatan campuran adukan beton berdasarkan SNI 03-6468-2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000).

Pada penelitian ini kuat tekan beton karakteristik atau kuat tekan beton yang diisyaratkan ($f'c$) di umur 28 hari masing-masing sebesar 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa. Karena sifat variabilitas kekuatan beton atau distribusi beton berbentuk lengkung distribusi normal, maka perencana struktur tidak menggunakan hasil kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (fcr'), sehingga desain campuran harus ditargetkan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang lebih tinggi dari kuat tekan karakteristik ($f'c$) (Sian, Tjondro dan Sidauruk, 2013).

Kuat tekan suatu mutu beton dikategorikan memenuhi syarat jika dua hal berikut dipenuhi (Badan Standardisasi Nasional, 2002) :

- a. Setiap nilai rata-rata dari 3 benda uji kuat tekan yang berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar dari $f'c$;
- b. Tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari dua hasil uji contoh silinder mempunyai nilai

Tabel 1. Komposisi Bahan Campuran Beton

Kuat Tekan Rencana $f'c$ (Mpa)	Semen	Pasir	Kerikil	Air	Nilai Fas	Bahan Tambah Tipe F (%)	Bahan Tambah Tipe D (%)
40	515	819	756	206	0,40	0,3	0,15
50	515	953	690	170	0,33	0,5	0,15
60	515	876	809	150	0,29	0,6	0,15

Sumber: hasil mix desain

4. Perawatan benda uji
Perawatan benda uji dilakukan dengan dua metode yaitu:
 - a. Perawatan dengan metode perendaman.
Proses perawatan dilaksanakan setelah beton dikeluarkan dari cetakan, direndam dalam jangka waktu sesuai variasi umur beton (1,2,3,7 dan 28 hari).
 - b. Perawatan dengan temperatur ruangan.
Setelah beton dikeluarkan dari cetakan, beton diletakan di dalam ruangan terbuka dengan pelindung/atap dibiarkan tanpa diberi perawatan dalam jangka waktu tertentu sesuai variasi umur.
5. Pengujian sifat beton SCC
Pengujian sifat fisik meliputi slump flow dan berat volume beton. Slump flow dilakukan untuk mengetahui kemampuan dalam mengisi ruangan pada cetakan (*filling ability*) serta kemampuan mengalir (*flow ability*) terhadap kelecakan campuran beton sesuai dengan (ASTM C 1611, 2017) dan

dibawah $f'c$ lebih dari 3,5 MPa (Deviasi Standar).

- c. Dalam produksi beton kemungkinan catatan 5% di atas dengan margin keamanan :1,64 x deviasi standar MPa. Sehingga kuat tekan target = $f'c+6MPa$.
3. Pembuatan serta pengecoran benda uji.
Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berukuran 150 mm x 300 mm. Campuran beton menggunakan bahan tambah gabungan tipe F dan D. Pada tahap pelaksanaan kedua bahan tambah tersebut dicampur terlebih dahulu dengan air (sesuai *mix design*), komposisi detail bahan tambah tiap campuran beton untuk masing-masing target kuat tekan yang diisyaratkan dapat dilihat pada Tabel 1. Jumlah benda uji pada masing-masing target kuat tekan 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa sebanyak 30 buah sampel. Total benda uji keseluruhan sebanyak 90 buah benda uji. Benda uji dibuat bertujuan untuk mengevaluasi apakah campuran beton mencapai kuat rencana.

spesifikasi khusus beton SCC (Kementerian PUPR; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017)

Untuk pengujian beton SCC pada penelitian ini menggunakan metode pengujian slump flow. Uji slump flow harus dilaksanakan pada kondisi datar, rata, lembab tanpa genangan air dengan peralatan yang memenuhi syarat (ASTM C 1611, 2017). Kriteria beton SCC untuk masing-masing metode pengujian secara detail dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Beton SCC

No	Metode Pengujian	Satuan	Kriteria Penerimaan	
			Maks	Min
1	Slump Flow	mm	550	850
2	V Funnel	detik	6	12
3	L-Box	H2/H1	0,8	1
4	J-Ring		0	1
5	T-500 Slump Flow	detik	2	5
6	GTM Screen Ability	%	0	1

Sumber: spesifikasi khusus beton SCC

Target slump flow yang dirancang berkisar pada 550 – 650 mm kategori SF-1 (Kementerian PUPR; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Pengukuran slump flow diambil dari rata-rata 2 nilai slump flow (SF), berdasarkan persamaan berikut:

$$SF = \frac{(D1+D2)}{2} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

SF = nilai slump flow (mm)

D1 = aliran terbesar pada lingkaran 1 (mm)

D2 = aliran terbesar pada lingkaran 2 (mm)

6. Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan menggunakan mesin penguji kuat tekan (*compression test machine*) dengan kapasitas 2000 KN sesuai SNI 1974, 2011.

7. Bahan tambah tipe F

Penggunaan *superplasticizer* tipe F ini dapat mereduksi pemakaian air yang sangat besar, kemudahan mengalir (*flow*) serta beton dapat memadat dengan sendirinya.

Superplasticizer tipe F dikhususkan untuk beton dengan kemampuan mengalir yang tinggi dan memadat dengan sendirinya (*self-compacting concrete*), beton dengan kebutuhan pengurangan air yang sangat tinggi hingga 30%, beton yang mampu mengurangi proses penyusutan pada saat curing dan mengurangi *creep* pada saat mengeras, beton kedap air (*watertight concrete*) dan beton pracetak (*precast concrete*) (Kementerian PUPR; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Spesifikasi bahan tambah yang digunakan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi bahan tambah tipe F

Uraian	Ketentuan
Bahan Kimia	Polimer linear dengan massa molekul tinggi yang dimodifikasi dalam air (tipe F)
Kemasan	Drum 200 L, 1000 L Bulk
Penampilan / Warna	Cair / Kecoklatan
Umur Penyimpanan	12 bulan dari tanggal produksi jika disimpan dengan benar dalam kemasan asli yang tidak rusak dan belum dibuka
Kondisi penyimpanan	Simpan dalam kondisi kering pada suhu antara +5 °C dan +30 °C. Terlindungi dari sinar matahari langsung dan embun beku.
Kepadatan	1.09 ± 0.01 kg/L (at +20 °C)
Kandungan Total Ion Klorida	< 0,1% W/W
Rekomendasi dosis :	
a. Workability sedang	0,3% - 0,8% dari berat semen
b. Untuk beton dengan kemampuan kerja yang tinggi, rasio air/semen sangat rendah:	0,8% - 2,0% dari berat semen

8. Bahan tambah tipe D

Tipe D *Water reducing and set retarding* yang digunakan memiliki beberapa keuntungan antara lain peningkatan waktu setting dalam cuaca panas, meningkatkan kelecakan beton tanpa harus meningkatkan kadar air, pengurangan jumlah air tanpa kehilangan workability, peningkatan kekuatan beton, mengurangi penyusutan beton, mengontrol *slump loss* dan bebas klorida (tidak menyerang tulangan). Pada perbandingan air/semen yang sama, *slump loss* beton dengan bahan tambah lebih tinggi dari beton tanpa *admixture* sebagai fungsi dari jenis bahan tambah. Kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 61,4% dibandingkan dengan beton normal pada usia

90 hari (Lianasari, 2010). Spesifikasi bahan tambah *water reducing and set retarding* yang digunakan sesuai Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi bahan tambah tipe D

Uraian	Ketentuan
Bahan Kimia	Senyawa kimia tipe D
Kemasan	Drum 240 kg
Penampilan / Warna	Transparan/Kekuningan
Umur Penyimpanan	Minimal 1 tahun jika disimpan dalam wadah asli yang belum dibuka
Kondisi penyimpanan	Tempat kering, sejuk, teduh
Kepadatan	1.17 – 1.19 kg/ ltr
Rekomendasi dosis	0.15% - 0.40 % dari berat semen

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Uji Slump Flow

Uji slump flow dilaksanakan sebelum campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder, dalam riset ini direncanakan nilai slump flow antara 550 mm - 650 mm (Kementerian PUPR; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Hasil uji slump flow pada $f'c$ 40 Mpa, $f'c$ 50 Mpa serta $f'c$ 60 Mpa terlihat pada Tabel 5.

Dari hasil pengujian slump flow terlihat perbedaan nilai slump flow antara campuran normal dan campuran beton menggunakan bahan tambah. Penambahan *superplasticizer* berpengaruh terhadap karakteristik SCC yaitu tingkat kelecakan aliran (*workability*). Semakin besar penambahan *superplasticizer* yang diberikan maka semakin tinggi nilai slump flow yang diperoleh. Penggunaan bahan tambah tipe F dapat memperbaiki *workability* beton serta mampu mereduksi pemakaian air sampai dengan 30%. Disisi lain penggunaan bahan tambah tipe D sebesar 0,15% juga bisa meningkatkan nilai slump flow, hal ini dikarenakan adanya unsur kimia *polyhidroxy carbon salts* yang terkandung di dalam bahan tambah tersebut. Selain mempunyai sifat retarder, bahan tambah tipe D mempunyai sifat *plasticizer* yaitu meningkatkan kelecakan. Alasan lain perlunya menggunakan bahan tambah *Water Reducing and Set Retarder* adalah untuk menunda proses pengikatan semen. Retarder akan membungkus butir semen dengan OH sehingga memperlambat reaksi

awal dari hidrasinya. Terbentuknya garam Ca dalam air mengurangi konsentrasi ion Ca dan memperlambat kristalisasi selama fase hidrasi (Nugraha, Antoni dan Suyantoro, 2007). penggunaan bahan tambah tipe F dan D ini sangat diperlukan di lapangan bilamana kondisi jarak antara tempat pencampuran beton dengan tempat penuangan campuran cukup jauh. Penundaan waktu setting bertujuan untuk mempertahankan campuran beton dalam kondisi segar ketika sampai di lokasi pengecoran akhir.

Tabel 5. Hasil Pengujian Slump Flow

Targe t Kuat Tekan (Mpa)	Variasi Bahan Tamba h Tipe F	Variasi Bahan Tambah Tipe D	Slump Flow Norma l (mm)	Slump Flow Gabunga n (mm)
40	0,3 %	0,15 %	485	570
50	0,5 %	0,15 %	500	590
60	0,6 %	0,15 %	515	600

Sumber: hasil pengujian (2020)

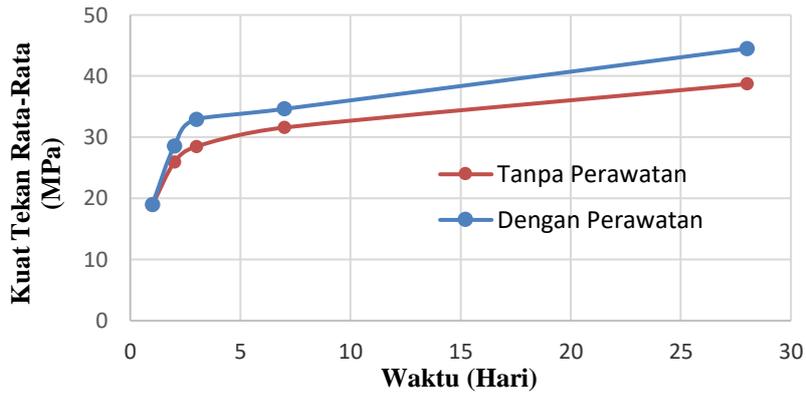
Kuat Tekan Rata-Rata Beton Menggunakan Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D

Hasil kuat tekan rata-rata menggunakan gabungan bahan tambah tipe F dan D untuk variasi kuat tekan 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa pada umur 1,2,3,7 dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6 s/d Tabel 8 dan Gambar 3 s/d Gambar 5. Perawatan beton yang digunakan menggunakan dua metode yaitu perendaman dan udara terbuka.

Tabel 6. Kuat Tekan Rata-Rata Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 40 Mpa

Jenis Perawatan	Umur				
	1 hari MPa	2 hari MPa	3 hari MPa	7 hari MPa	28 hari MPa
Perendaman	18,97	28,58	32,94	34,63	44,50
Udara Terbuka	18,86	25,91	28,49	31,59	38,70

Sumber: Hasil Pengujian (2020)

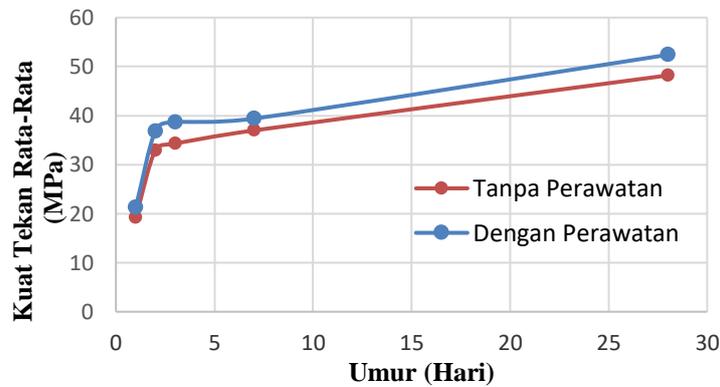


Gambar 3. Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 40 Mpa Umur 1, 2, 3, 7 dan 28 Hari

Tabel 7. Kuat Tekan Rata-Rata Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 50 Mpa

Jenis Perawatan	Umur				
	1 hari MPa	2 hari MPa	3 hari MPa	7 hari MPa	28 hari MPa
Perendaman	21,24	36,85	38,69	39,39	52,40
Udara Terbuka	19,26	32,92	34,28	36,98	48,20

Sumber: Hasil Pengujian (2020)

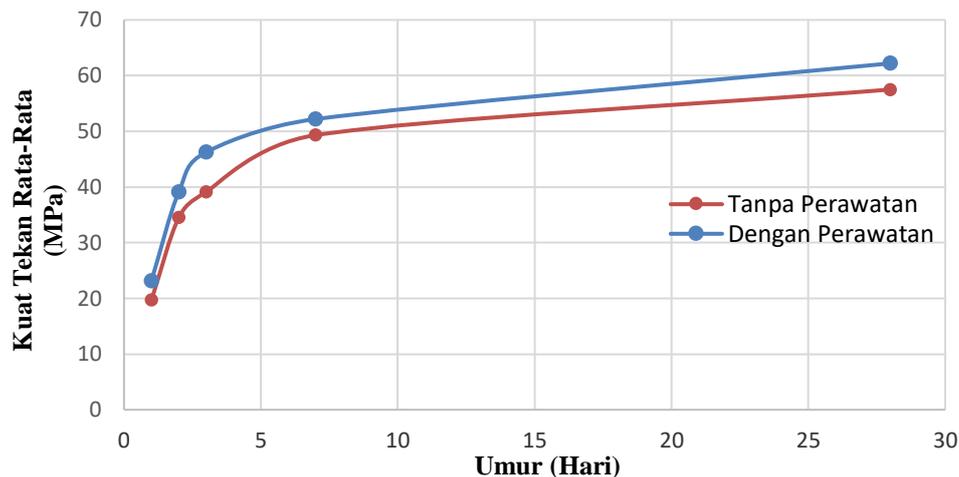


Gambar 4. Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 50 Mpa Umur 1, 2, 3, 7 dan 28 Hari

Tabel 8. Kuat Tekan Rata-Rata Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 60 Mpa

Jenis Perawatan	Umur				
	1 hari MPa	2 hari MPa	3 hari MPa	7 hari MPa	28 hari MPa
Perendaman	23,15	39,12	46,25	52,15	62,20
Udara Terbuka	19,67	34,49	39,09	49,31	57,50

Sumber: Hasil Pengujian (2020)



Gambar 5. Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Beton Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D 60 Mpa Umur 1, 2, 3, 7 dan 28 Hari

Tabel 6 s/d Tabel 8 dan Gambar 3 s/d Gambar 5 memperlihatkan perkembangan kuat tekan beton SCC dengan gabungan bahan tambah tipe F dan D untuk $f'c$ 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa. Hasil uji kuat tekan beton pada umur yang relatif muda mengalami kenaikan yang cukup signifikan paling tidak hingga umur 7 hari untuk kuat tekan beton 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa. Pada umur 28 hari terlihat hasil kuat tekan yang berbeda untuk dua metode perawatan. Perawatan dengan metode perendaman pada kuat tekan rencana 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa menghasilkan kuat tekan masing-masing sebesar 44,50 Mpa, 52,40 Mpa dan 62,20 Mpa sedangkan untuk perawatan dengan udara terbuka kuat tekan yang dihasilkan masing-masing sebesar 38,70 Mpa, 48,20 Mpa dan 57,50 Mpa.

Perawatan dengan metode perendaman menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi jika

dibandingkan dengan udara terbuka, hal ini disebabkan beton dalam keadaan lembab sehingga proses hidrasi terus berlanjut tanpa mengalami kendala sebaliknya bila perawatan dilakukan dengan udara terbuka beton mengalami penguapan sehingga beton menjadi susut dan kuat tekan beton menjadi rendah.

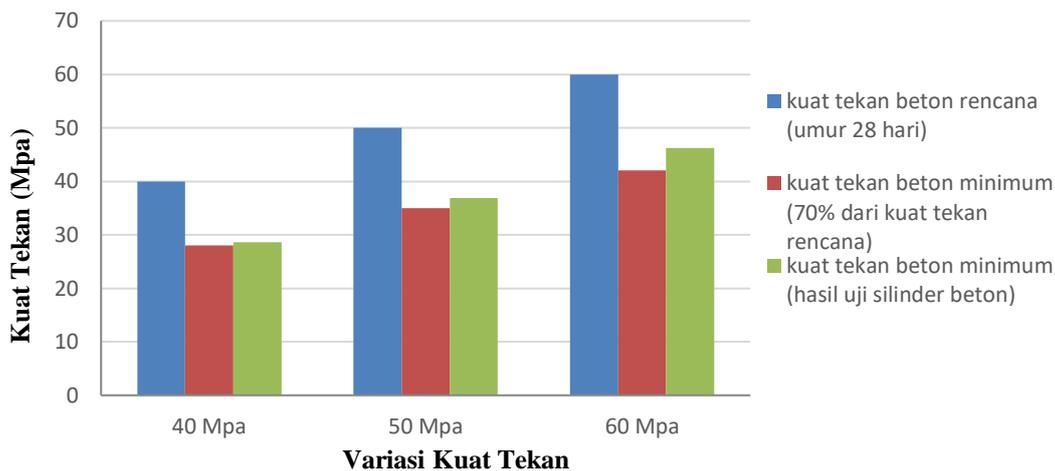
Kuat Tekan Minimum Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D

Kuat tekan minimum beton yang dicapai (70% dari kuat tekan beton yang dirancang) dijadikan kontrol berapa lama proses perawatan beton dilaksanakan sesuai variasi kuat tekan yang dirancang. Hasil uji kuat tekan beton minimum lapangan untuk $f'c$ 40 Mpa, $f'c$ 50 Mpa dan $f'c$ 60 Mpa bisa dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 6.

Tabel 9. Hasil Uji Kuat Tekan Minimum Lapangan Gabungan Bahan Tambah Tipe F dan D

Kuat Tekan Rencana Umur 28 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Minimum (70% dari Kuat Tekan Rencana) (Mpa)	Kuat Tekan Minimum Pengujian Silinder (Mpa)	Tercapai Hari Ke-	Jenis Perawatan
40	28	28,58	2	Perendaman
50	35	36,85	2	Perendaman
60	42	46,25	3	Perendaman

Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan Minimum Gabungan Tipe F dan D (70% dari Kuat Tekan Rencana) dan Kuat Tekan Beton Minimum Gabungan Tipe F dan D Hasil Uji Lapangan

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 6 terlihat perbandingan kuat tekan beton minimum hasil uji lapangan dan kuat tekan beton minimum (70% dari kuat tekan rencana). Untuk mutu beton 40 Mpa dan 50 Mpa dari hasil pengujian kuat tekan beton, kuat tekan minimum tercapai pada hari kedua masing-masing sebesar 28,58 Mpa dan 36,85 Mpa dari kuat tekan yang ditargetkan yaitu 28 Mpa dan 35 Mpa dengan metode perawatan dengan cara perendaman. Hasil yang berbeda nampak pada kuat tekan beton 60 Mpa, dari hasil pengujian silinder beton, kuat tekan minimum tercapai pada hari ketiga sebesar 46,25 Mpa dari kuat tekan yang ditargetkan 42 Mpa (70% dari kuat tekan rencana).

PEMBAHASAN

Ditinjau dari Pemakaian Bahan Tambah Tipe F

Hasil analisa kuat tekan rata-rata beton umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan kadar *superplasticizer* sebesar 0,6% menghasilkan kuat tekan beton tertinggi sebesar 62,20 Mpa. Pemakaian *superplasticizer* mutlak diperlukan pada beton mutu tinggi hal ini dikarenakan kondisi fas yang sangat rendah, namun dalam segala hal penggunaan harus sesuai dengan standar ASTM-C 494-81 tipe F (ASTM C494/C494M-17, 2017). Pemakaian *superplasticizer* bertujuan untuk mengontrol serta menghasilkan nilai slump yang optimal sehingga dapat menghasilkan kinerja beton terbaik. Sesuai dengan riset (Pujianto, 2011) terkait beton mutu tinggi dengan *admixture*

superplasticizer dan aditif *silicafume* menggunakan fas sebesar 0,28 dan kadar *superplasticizer* sebesar 2%. Dari hasil pengujian didapat kuat tekan optimum sebesar 51,35 Mpa pada kadar *superplasticizer* 2%. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa semakin besar kadar *superplasticizer* yang digunakan semakin besar kuat tekannya, namun penggunaan *superplasticizer* sampai dengan kadar 2% mengakibatkan kuat tekan beton semakin kecil. Senada dengan riset (Fatema dan Habib, 2021) dengan judul pengaruh *high range water reducing (HRWR) superplasticizer* pada kekuatan kompresif blok padat pasir semen. Penelitian difokuskan kepada efek penggunaan *superplasticizer* dan pengaruh rasio air semen pada kekuatan campuran. Hasil pengujian menunjukkan pada umur 28 hari dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 66,07% jika menggunakan *superplasticizer* dibandingkan dengan beton normal tanpa bahan tambah. Kuat tekan yang dicapai pada umur 28 hari sebesar 65,03 Mpa.

Riset yang berbeda disampaikan oleh (Faqihuddin, Hermansyah dan Kurniati 2021) terkait perencanaan campuran beton dengan mutu $f'c$ 25 Mpa. *Superplasticizer* tipe F yang digunakan dengan variasi sebesar 0% 0,3% 0,5% dan 0,7%. Hasil penelitian menunjukkan pemakaian *superplasticizer* pada variasi 0,7% menyebabkan penurunan kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 8,83% dibandingkan variasi sebelumnya. Hal ini dikarenakan penambahan dosis *superplasticizer* pada variasi ini termasuk dalam jumlah yang tidak sedikit. Dosis sebesar

0,7% memberikan dampak *dispersi* (tolak-menolak) pada pasta semen, artinya reaksi kimia C3S dan C2S pada semen dan air saling melepaskan diri dengan proses hidrasi yang terhambat sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk setting (pengerasan) yang mengakibatkan penurunan kekuatan awal pada umur beton muda.

Ditinjau dari Pemakaian Bahan Tambah Tipe D

Dari hasil pengujian slump flow terlihat peningkatan nilai slump flow pada masing-masing mutu beton. Penggunaan bahan tambah tipe D mampu meningkatkan workability beton SCC, hal ini dikarenakan bahan tambah tipe D mempunyai sifat *plasticizer* yaitu meningkatkan kelecakan. Hasil penelitian ini diperkuat oleh (Maricar, Tatong dan Hasan, 2013). Penelitian terkait beton normal dengan variasi penggunaan bahan tambah tipe D sebesar 0%, 0,2%, 0,4% dan 0,6%. Hasil penelitian menunjukkan nilai slump tertinggi sebesar 150 mm terdapat pada variasi 0,6% sedangkan nilai slump terendah ada pada variasi 0% sebesar 100 mm. Dari data diatas dikatakan bahwa semakin tinggi persentase penggunaan bahan tambah maka nilai slump akan semakin tinggi. Pengujian slump flow ini diperkuat juga dengan hasil uji kuat tekan oleh (Maricar, Tatong and Hasan, 2013). Dari hasil uji kuat tekan beton umur 14 hari dengan variasi bahan tambah sama dengan pengujian slump flow diatas, didapat nilai kuat tekan awal (beton normal) sebesar 24,345 Mpa, kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 0,4% sebesar 25,195 Mpa sedangkan pada variasi 0,6% nilai kuat tekan cenderung mengalami penurunan sebesar 24,251 Mpa. Terlihat bahwa penggunaan bahan tambah tipe D dapat meningkatkan nilai kuat tekan namun pada variasi tertentu akan cenderung menurun.

Hasil penelitian lain dari (Sasongko dan Iqbal, 2017) terkait pemakaian bahan tambah tipe D pada beton mutu tinggi. Pemakaian bahan tambah kimia tipe D *Water Reducer and Retarder* sebesar 1,16 ml. Berdasarkan hasil uji kuat tekan didapat kuat tekan tertinggi sebesar 83,4 Mpa jauh melampaui kuat tekan rencana sebesar 40 Mpa. Jika ditinjau dari pemeriksaan waktu pengikatan awal dan akhir menurut (Maricar, Tatong dan Hasan, 2013) bahwa waktu pengikatan awal paling cepat terjadi pada

beton normal (persentase 0) dengan waktu 86,86 menit (1,45 jam) dan paling lambat terjadi pada variasi penggunaan bahan tambah sebesar 0,60% dengan waktu 1231,35 menit (20,52 jam). Untuk pengikatan akhir paling cepat 120 menit (2 jam) terjadi pada beton normal (persentase 0) dan paling lambat terjadi pada penggunaan bahan tambah sebesar 0,60% yaitu 1630 menit (27,17 jam). Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa Pengunduran waktu ikatan awal pada pasta semen menggunakan bahan tambah tipe D disebabkan adanya unsur kimia *polyhidroxy carbon salts* yang mempunyai sifat menghambat waktu pengikatan beton atau biasa disebut retarder.

Ditinjau dari Metode Curing

Metode perawatan sangat berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton. Dari hasil analisa didapat metode curing terbaik jika menggunakan metode perendaman. Perkembangan kuat tekan beton meningkat secara signifikan pada umur beton yang relatif muda. Hal ini dikarenakan beton dalam keadaan lembab sehingga proses hidrasi terus berlanjut tanpa mengalami kendala sebaliknya bila perawatan dilakukan dengan udara terbuka beton mengalami penguapan sehingga beton menjadi susut dan kuat tekan beton menjadi rendah. Hasil riset ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ramezianpour, 2014) mengenai perkembangan kuat tekan beton dengan campuran abu sekam padi, dari hasil riset disimpulkan bahwa kuat tekan beton pada tahap awal sangat baik meskipun metode perawatan tidak menggunakan uap panas (*steam curing*). Senada dengan riset (Nahata, Kholia and Tank, 2014) dalam penelitiannya terkait pengaruh metode curing terhadap efisiensi perawatan semen mortar. Hasil tes laboratorium menunjukkan bahwa beton di lingkungan kering dapat kehilangan sebanyak 50 persen dari kekuatan potensialnya dibandingkan dengan beton sejenis yang dirawat lembab dengan kata lain sampel yang terkena udara kering (curing) menunjukkan kinerja terendah dalam hal kekuatan. Para peneliti menyatakan untuk menghasilkan kekuatan kinerja campuran beton yang tinggi dapat dilakukan dengan cara pencegahan kehilangan air dari sampel beton.

Riset dari (Fan, et al 2017). Dalam konteks ini, suhu *curing* yang dipakai yaitu

20°C, 40°C dan 60°C. Sampel dirawat di kolam perawatan standar. Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan benda uji beton yang diawetkan pada suhu 60°C memiliki kuat tekan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan spesimen yang diawetkan pada suhu 20°C. Disimpulkan bahwa penyebab utama penurunan kuat tekan adalah densitas internal yang rendah dan porositas yang tinggi akibat curing pada temperatur tinggi. Pernyataan ini didukung oleh riset (Zhang, Zhang and Yan, 2016) yang menyelidiki efek dari suhu curing yang berbeda pada hidrasi dan kuat tekan beton yang mengandung *silika fume*. Pada penelitian ini digunakan dua jenis curing yang berbeda. Metode pertama beton di curing dibawah suhu 20°C dan kelembaban 95% diudara terbuka sedangkan metode kedua beton di curing di bawah suhu 50°C dengan kelembaban 95% di udara terbuka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis perawatan beton pada suhu yang lebih tinggi sangat mempengaruhi kuat tekan pada usia dini namun pada saat umur beton mencapai usia yang lebih tua kuat tekan cenderung menurun jika dibandingkan dengan perawatan dengan suhu yang lebih rendah.

Dari hasil pembahasan diatas terkait pemakaian bahan tambah tipe F dan D dan pengaruh curing beton dapat disimpulkan bahwa pemakaian bahan tambah kimia dapat meningkatkan kuat tekan beton pada usia yang relatif muda namun pada kadar tertentu pemakaian bahan tambah dapat menyebabkan penurunan kuat tekan pada usia beton yang relatif muda sedangkan jika ditinjau dari segi perawatan beton, perawatan beton dengan suhu yang lebih rendah membuat kuat tekan beton lebih optimum hal ini disebabkan beton dalam keadaan lembab sehingga proses hidrasi terus berlanjut tanpa mengalami gangguan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemakaian bahan tambah kimia tipe F dan D memberikan dampak peningkatan kuat tekan pada umur beton yang relatif muda. Terbukti dengan penggunaan bahan tambah tipe F pada variasi 0,3%, 0,5% dan 0,6% dan penggunaan bahan tambah tipe G sebesar 0,15% untuk tiap-tiap mutu beton 40 Mpa, 50 Mpa dan 60 Mpa target kuat tekan tercapai lebih cepat diumur awal. Lamanya waktu perawatan

(*curing*) berdasarkan target kuat tekan minimum (70% dari $f'c$ rencana) masing-masing mutu beton yaitu untuk $f'c$ 40 Mpa dan 50 Mpa selama 2 hari sedangkan untuk $f'c$ 60 Mpa selama 3 hari.

Perawatan beton dengan metode perendaman dapat memberikan kuat tekan optimal dibandingkan dengan udara terbuka, hal ini disebabkan kondisi beton mutu tinggi dalam keadaan lembab sehingga proses hidrasi yaitu reaksi mineral semen dengan air untuk menghasilkan kekuatan dan daya tahan beton terus berlanjut tanpa mengalami gangguan sedangkan jika perawatan dilakukan dengan udara terbuka proses hidrasi mengalami kendala sehingga beton menjadi susut dan kuat tekan beton menjadi rendah.

Saran

Riset ini perlu dilanjutkan dengan kombinasi *silika fume* dan *superplasticizer*. Kombinasi kedua bahan tersebut dianjurkan untuk meningkatkan kuat tekan serta keawetan beton terhadap lingkungan, disamping itu penambahan dosis *superplasticizer* juga diperlukan guna mempercepat kekuatan awal beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan jurnal ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Direktur Politeknik Pekerjaan Umum, Satker Pelaksanaan Jembatan Pulau Balang, Dosen Politeknik Pekerjaan Umum dan Team Lapangan yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggasta, G. dan Rahman, H. 2021. Pengaruh Jenis Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-1000. *Technology of Renewable Energy and Development, FTI Universitas Jayabaya Agustus 2021*: 42–49.
- ASTM C 1611. 2017. *Method, Standard Test Con, for Slump Flow of Self-Compacting Crete*. USA: West Conshohocken.
- ASTM C150. 2004. *Standard Specification for Portland Cement*. USA: West Conshohocken.
- ASTM C494/C494M–17. 2017. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International*. USA: West Conshohocken.

- Badan Standar Nasional. 1990. *SNI 03-1750-1990 Agregat Beton Mutu dan Cara Uji*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Sni 03-6468-2000 Tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002*, Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Fakhrunisa, N. Djatmika, B. dan Karjanto, A. 2018. *Kajian penambahan abu bonggol jagung yang bervariasi dan bahan tambah superplasticizer terhadap sifat fisik dan mekanik beton memadat sendiri (self compacting concrete)*. Jurnal Bangunan 23(2): 9–18.
- Fan, L., Zhang, Z., Yu, Y., Li, P. and Cosgrove, T. 2017. *Effect of Elevated Curing Temperature on Ceramsite Concrete Performance, Construction and Building Materials*, 153 (Oktober 2017): 423–429.
- Faqihuddin, A. Hermansyah dan Kurniati, E. 2021. *Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%;0,3%;0,5% dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen*, Journal of Civil Engineering and Planning, 2(1): 34–45.
- Fatema, K. Sarker, M. A., Habib, A., and Alam, M. A. 2021. *Effect of High Range Water Reducing (HRWR) Superplasticizer on Compressive Strength of Sand Cement Solid Block*, April (2021): 7-14.
- Ginting, A. 2019. *Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kuat Lentur pada Berbagai Umur Beton*, Jurnal Teknik Sipil, 7(2): 110–125
- Hartono, J. dan Khoiroh, U. 2021. *Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor Structure Health Monitoring System Jembatan Pulau Balang II*, Jurnal Teras, 11(2): 423-436.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR); Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Spesifikasi Khusus-Interim Skh-1.7.23 Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Kusnadi. dan Sulistyorini, D. 2011. *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Terhadap Campuran Beton Ringan Yang Menggunakan Styrofoam*. Inersia : Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, 7(2): 124–140.
- Lianasari, A. E. 2010. *Pemanfaatan Limbah Fly Ash (Abu Terbang) Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Dan Sikament LN Untuk Memperoleh Beton Hijau Mutu Tinggi*. in Proceeding National Conference on Green Technology For Better Future, ISBN 978-602-97320-1-6.
- Mangi, S. A., Ibrahim, M. H. W., Jamaluddin, N., Arshad, M. F., and Jaya, R. P., 2019. *Short-term effects of sulphate and chloride on the concrete containing coal bottom ash as supplementary cementitious material*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 22(2): 515–522.
- Maricar, S., Tatong, B. dan Hasan, H. 2013. *Pengaruh Bahan Tambah Plastiment-Vz terhadap Sifat Beton*. Mektek, 15(1): 39-58.
- Muhit, I. B. 2013. *Dosage Limit Determination of Superplasticizing Admixture and Effect Evaluation on Properties of Concret*. International Journal of Scientific and Engineering Research, 4(3): 2–5.
- Nahata, Y., Kholia, N. and Tank, T. G. 2014. *Effect of Curing Methods on Efficiency of Curing of Cement Mortar*. APCBEE Procedia, 9(Icbee 2013): 222–229.
- Nugraha, P. Antoni, dan Suyantoro, F. S. 2007. *Teknologi beton dari material, pembuatan, beton kinerja tinggi*. Yogyakarta: Andi.
- Prayuda, H. 2019. *Kuat Tekan Beton Awal Tinggi Dengan Variasi Penambahan Superplasticizer Dan Silica Fume*. Jurnal Media Teknik Sipil, 17(1): 36–43.
- Pujianto, A. 2011. *Beton Mutu Tinggi dengan Admixture Superplasticizer dan Aditif Silicafume*. Jurnal Semesta Teknika, 14(2): 177–185.
- Ramezaniapour, A. A. 2014. *Rice Husk Ash. in Cement Replacement Materials*. Springer Berlin Heidelberg.
- Sasongko, J. dan Iqbal. 2017. *Eksperimen Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Fly-Ash dan Water Reducer and Retarder Digunakan pada Bangunan Gedung*. Jurnal Konstruksi, 5(1): 9–20.
- Satuan Kerja Pelaksanaan Jembatan Pulau Balang. 2021. *Laporan Akhir Pengawasan Teknis Jembatan Pulau Balang*. Balikpapan.
- Sian, B., Tjondro, J. A. dan Sidauruk, R. 2013. *Studi Eksperimental Karakteristik Beton dengan Agregat Kasar Daur Ulang dengan $f_c' = 25$ MPa*, Jurnal Teknik Sipil, 9(2): 111–129.
- Solikin, M. dan Susilo. 2016. *Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Sebagai Cementitious Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton*. The 3rd Universty Research Coloquium 2016: 35–40.
- Solikin, M., Zaini, A. N., Setiawan, B. dan Asroni, A. 2020. *Flexural strength analysis of styrofoam concrete hollow panel walls incorporated with high volume fly ash*. Civil Engineering and Architecture, 8(3): 320–325.
- Spesifikasi Umum Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018*, Edaran Dirjen Bina Marga

- Nomor 02/SE/Db/2018. Jakarta: jenderal Bina mMrga.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. SNI 1974-2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. Jakarta: BSN
- Wangsadinata, W. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 71)*. Bandung: Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Zhang, Z., Zhang, B. and Yan, P. 2016. *Hydration and microstructures of concrete containing raw or densified silica fume at different curing temperatures*. *Construction and Building Materials*, 121(September 2016): 483–490.