

## Pengaruh pemanfaatan *Silica fume* dan *superplasticizer polymer* terhadap kuat tekan beton pra-cetak mutu tinggi

Ventje Berty Slat<sup>1</sup>, Steve W.M Supit<sup>2</sup>, Noldie Kondo<sup>3</sup>, Chrisviano Tulung<sup>4</sup>

Program Studi Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado,  
Manado, 95252

E-mail korepondensi: stevewmsupit@gmail.com

### Abstrak

Beton merupakan bahan penyusun utama dalam struktur bangunan sipil, penggunaan beton salah satunya juga ada pada penggunaan beton Precast dan Pre-stress mutu tinggi yang biasa diaplikasikan ada jembatan bentang panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi beton mutu tinggi dengan menggunakan bahan tambah Superplasticizer polymer (SP) type Ligno C-165 dan *Silica fume*. Prosentase superplasticizer polymer yang digunakan adalah 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat binders (semen+*silica fume*) sedangkan prosentase *silica fume* sebagai pengganti semen adalah sebesar 5% dari berat semen. Proses pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Manado dengan membuat benda uji silinder berukuran 150mmx300mm. Pengujian dilakukan pada 3, 7, 14, 21 dan 28 hari setelah perawatan melalui perendaman air. Hasil pengujian menunjukan pada 28 hari dengan menggunakan persentasi 5% *Silica fume* dan 1,5% Superplasticizer polymer beton mengalami penguatan yang cukup signifikan sampai mencapai 66,43 MPa dari mutu rencana 40 MPa. Adapun pengaruh pereduksian air terjadi sampai 44,4% dari total penggunaan air yang dibutuhkan. Faktor utama yang terjadi yaitu pengikatan awal beton yang semakin cepat dari waktu pengikatan beton normal yang tidak menggunakan bahan tambah.

**Kata kunci**— *Silica fume*, superplasticizer polymer, beton mutu tinggi, pre-cast

## 1 PENDAHULUAN

Beton pra-cetak dan pra-tegang telah menjadi komponen utama pembentuk struktur bangunan gedung maupun jalan dan jembatan. Kekuatannya yang tinggi membuat tegangan dukungnya menjadi lebih tinggi sehingga beban-beban dapat dipikul walaupun dengan dimensi yang relatif tidak terlalu besar. Dengan berkurangnya beban mati material maka secara teknis dan ekonomis, penampang yang lebih panjang dan lebih langsing dapat dipraktekkan. Beton dengan kekuatan tinggipun akan menyebabkan lebih sulit mengalami retak akibat susut dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi. Pentingnya meningkatkan kekuatan beton sebagai material struktur, membuat semakin berkembangnya inovasi-inovasi di bidang material konstruksi. Beberapa diantaranya adalah pemanfaatan material pozzolan sebagai hasil limbah industri seperti *fly ash (FA)* dan *Silica fume (SF)* maupun sumber daya alam yakni kaolin, slag, *limestone* dll. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah ada, pemanfaatan material pozzolan

memberikan kontribusi peningkatan kekuatan dan durabilitas beton oleh karena karakteristik dan komposisi kimia yang ada pada material-material pozzolan tersebut. Selain material pozzolan, bahan tambah kimia sering digunakan dalam memperbaiki kualitas beton. Contohnya adalah superplasticizer yang berfungsi untuk mereduksi penggunaan air dalam campuran sehingga kekuatan tinggi beton dapat dicapai walaupun dengan air yang sedikit. Selain itu, bahan tambah kimia ini dapat menjaga kandungan air dan semen pada campuran beton sehingga diperoleh *workability* yang tinggi. Masalah kepadatan dan pengaruh korosi terhadap tulangan dapat teratasi dengan menggunakan bahan kimia ini. Dengan semakin berkembangnya penggunaan pozzolan dan bahan tambah kimia dalam campuran beton, diperlukan pengujian-pengujian yang lebih luas guna memvalidasi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan selama ini sehingga dapat diperoleh suatu produk komposisi campuran beton pra-cetak bermutu tinggi.

Pada penelitian ini akan diteliti pengaruh pemanfaatan superplasticizer polimer dan *Silica fume* sebagai bahan campuran beton pra-cetak mutu tinggi terhadap kuat tekannya. *Silica fume* merupakan hasil sisa produksi silikon atau besi silikon dari tanur tinggi dengan kandungan silika tinggi (>90%) dan ukuran rata-rata 1/100 ukuran partikel semen (Siddique dan Kunal, 2016). Sedangkan superplasticizer polimer adalah bahan tambah kimia yang berfungsi untuk mereduksi penggunaan air dalam campuran beton sehingga campuran menjadi lebih padat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton sampai sebesar 84,93 MPa pada umur 28 hari (Krisman Aprieli Zai, 2015) dengan penggunaan superplasticizer 2% dari berat semen dan *Silica fume* 10%. Walaupun demikian prosentase yang tepat sangat dibutuhkan untuk mendapatkan campuran yang dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kuat tekan beton sehingga dapat diaplikasikan di lapangan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi prosentase pemanfaatan *Silica fume* dan *superplasticizer polymer* beton terhadap kuat tekan beton mutu tinggi.

## 2 DASAR TEORI

### 2.1 *Silica fume*

*Silica fume* merupakan material pozzolan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon dan alloy besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara microsilica dengan *Silica fume*). *Silica fume* merupakan bahan pengisi (*filler*) dalam beton yang mengandung kadar silika yang tinggi mencapai lebih dari 90%. Dalam penggunaannya *Silica fume* dapat berfungsi sebagai pengganti sebagian semen yang akan dicampurkan menjadi beton, sebanyak 5% - 15% dari total berat semen yang akan digunakan. Kandungan pada *Silica fume* akan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen pada saat pembentukan senyawa calcium silica hidrat (CSH) yang berpengaruh pada proses pengerasan semen (Wicaksono, Wibowo, & Safitri, 2018)(Sebayang, 2011).

Beberapa sifat fisik *Silica fume* adalah sebagai berikut:

- Warna: bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap.
- Spesifik gravity: 2,0-2,3 (Tafraoui et al. 2016 dalam Panesar, 2019)
- Bulk density: 250-600 kg/m<sup>3</sup> dan 1300-1400 kg/m<sup>3</sup> (ACI Committee-234)
- Ukuran: 0,1-1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen) (ACI 234R-06)



**Gambar 1.** *Silica fume* yang digunakan

Keunggulan-keunggulan penggunaan *Silica fume* dalam beton adalah sebagai berikut: a) Meningkatkan kuat tekan beton; b) Meningkatkan kuat lentur beton; c) Memperbesar modulus elastisitas beton; d) Mengecilkkan regangan beton; e) Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia; f) Mencegah reaksi alkali silica dalam beton; g) Meningkatkan kepadatan (*density*) beton; h) Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi; i) Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.

## 2.2 *Superplasticizer polymer (SP)*

Superplasticizer fungsinya untuk mereduksi penggunaan air dalam campuran dan diharapkan dengan adanya pereduksian jumlah air yang signifikan mampu menghasilkan kekuatan beton yang lebih tinggi dengan air yang sedikit. Bahan tambah ini dikategorikan baru dan sering disebut “bahan tambah kimia pengurang air”. Adapun tiga jenis plastizicer yang dikenal adalah (SNI 03-2495-1991):

- \* Kondensi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%
- \* Sulfonat naftalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan
- \* Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida

Keistimewaan penggunaan superplasticizer dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain:

1. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga didapatkan campuran dengan workability tinggi.
2. Mengurangi jumlah air dan menjaga kandungan semen dengan kemampuan kerjanya tetap sama serta menghasilkan faktor air semen yang lebih rendah dengan kekuatan yang lebih besar.
3. Mengurangi kandungan air dan semen dengan faktor air semen yang konstan tetapi meningkatkan kemampuan kerjanya sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan yang sama tetapi menggunakan semen lebih sedikit.
4. Tidak ada udara yang masuk. Penambahan 1% udara kedalam beton dapat menyebabkan pengurangan strength rata-rata 6%. Untuk memperoleh kekuatan yang tinggi, diharapkan dapat menjaga “air content” di dalam beton serendah mungkin. Penggunaan superplasticizer menyebabkan sedikit bahkan tidak ada udara masuk kedalam beton.
5. Tidak adanya pengaruh korosi terhadap tulangan.

## 2.3 *Beton mutu tinggi*

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton mutu tinggi juga selalu berubah sesuai dengan kemajuan tingkat mutu yang berhasil

dicapai. Pada tahun 1950an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan diatas 50 MPa, dan 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi (Chen, Yu, & Tang, n.d.).

Dalam penelitian beton mutu tinggi yang menggunakan *Silica fume*, diperoleh bahwa sifat *Silica fume* dan kandungan silikanya yang tinggi memberikan peningkatan kekuatan tekan dengan prosentase berkisar 15% (Tarru et al., 2017)(Jain, 2016). Demikian juga ketika digunakan sebagai pengganti semen pada pembuatan mortar, prosentase ini memberikan kekuatan tekan tertinggi dengan prosentase sebesar 28% pada umur 28 hari dibandingkan mortar normal (Singh & Bansal, 2015).

### 3 METODE PENELITIAN

#### 3.1 Material

Dalam penelitian ini, semen tipe 1 OPC (Ordinary Portland Cement) diambil dari PT. PP (Persero). tbk yang berlokasi di Desa Watudambo 2, Kota Bitung. Agregat kasar diambil di Desa Kema dengan berat jenis *Saturated Surface Dry (SSD)* 2,627 dan agregat halus dengan berat jenis SSD 2,323 dari Desa Tendeki. *Superplasticizer polymer* yang digunakan diproduksi oleh PT. Ligno yakni Ligno C-165 tipe F yang berfungsi sebagai *water reducing and high range* sehingga diharapkan adanya peningkatan kualitas beton. Pemeriksaan karakteristik agregat dan pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan, Politeknik Negeri Manado. Hasil pengujian agregat kasar dan halus terlihat pada Tabel 1. Hasil pengujian ini digunakan untuk perencanaan komposisi campuran.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Karakteristik Material

No	Jenis pengujian	Material	
		Agregat kasar	Agregat halus
1	Abrasi dengan Los Angeles (%)	24,380	
2	Berat Jenis:		
	Bulk/ov.	2,569	2,209
	SSD	2,627	2,323
	Apparent	2,727	2,494
3	Penyerapan (%)	2,262	5,164
4	Kadar lumpur	0,165	1,376
5	Berat volume:		
	Padat	1,180	1,372
	Lepas	1,046	1,204
6	Kadar air	1,115	2,260

### 3.2 Perhitungan komposisi campuran

Komposisi campuran didisain berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang “Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal” yang dimodifikasi dengan Spesifikasi Jalan Tol 2015 Indonesia Bab 10 tentang perkerasan beton. Dalam campuran ini, menetapkan slump = 7cm untuk semua kondisi campuran dengan kuat tekan rencana ( $f'c$ ) = 40 MPa. Komposisi campuran ( $\text{kg/m}^3$ ) terlihat pada Tabel 2 dimana prosentase superplasticizer yang digunakan ditetapkan 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% dan 1,5% dari berat semen. Sedangkan prosentase *Silica fume* adalah 5% dari berat semen digunakan untuk beton dengan superplasticizer dan dibandingkan dengan beton normal. Dalam proses pencetakan benda uji, digunakan ukuran silinder 150mmx300mm untuk pengujian kuat tekan setelah perendaman dengan air selama 3, 7, 14, 21 dan 28 hari dimana untuk setiap hari pengujian menggunakan tiga buah sampel per komposisi dan dicari rata-ratanya.

**Tabel 2.** Komposisi Campuran ( $\text{kg/m}^3$ )

No	Material	Perbandingan	Berat ( $\text{kg/m}^3$ )
1.	Semen	1	425
2.	Pasir	1,6	682
3.	Agregat kasar (batu pecah 10-20mm)	2,41	1023
4.	Air	0,4	170

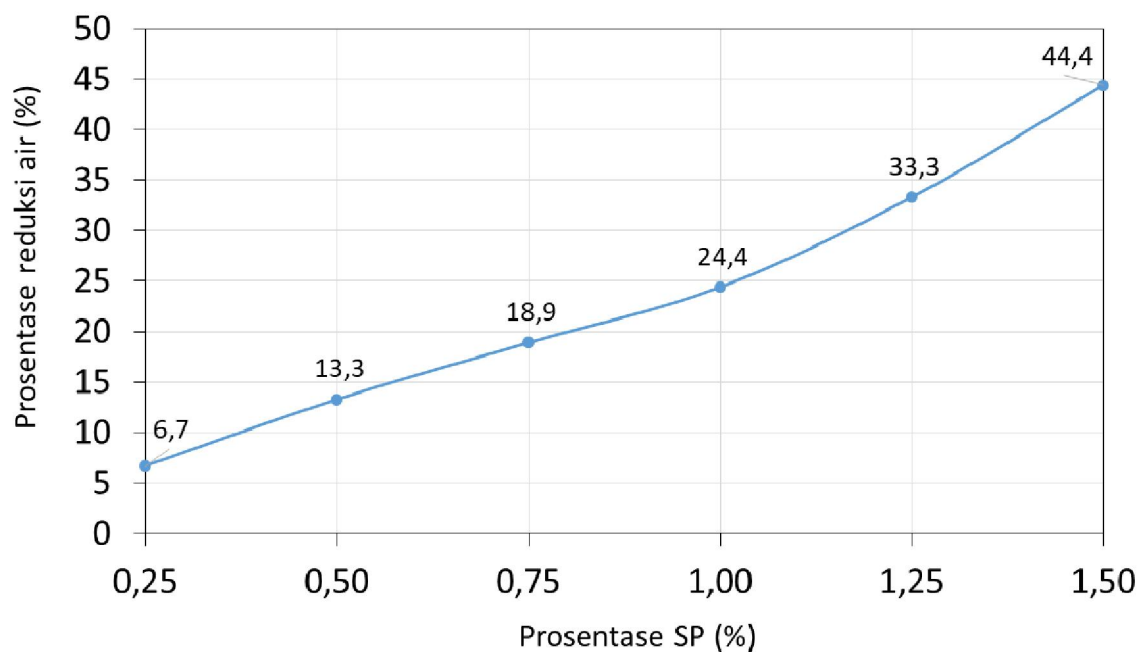
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Koreksi penggunaan air

Oleh karena dalam pengujian ini menetapkan slump 7 cm, maka diteliti berapa besar pengurangan air yang dibutuhkan oleh benda uji akibat penambahan *superplasticizer polymer* dengan prosentase yang bervariasi. Tabel 3 menunjukkan pengaruh prosentase *superplasticizer polymer* dalam mereduksi kebutuhan air dalam campuran beton sebagaimana juga ditunjukkan oleh Gambar 2. Dari Tabel 3 dan Gambar 2 terlihat bahwa pengurangan air semakin besar ketika ada penambahan dosis *superplasticizer polymer* untuk mendapatkan nilai slump yang sama yakni 7 cm. Pada dosis 1,5%, pengurangan air adalah sebesar 44,4% (lihat Gambar 2) dengan pengurangan air sebesar 5007,9 ml. Hal ini sekaligus menjelaskan seberapa besar pengaruh penambahan *superplasticizer polymer* terhadap slump beton dalam menjaga kecacakan beton. Hal ini juga dikemukakan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Plank, Schroebl, Gruber, Lesti, & Sieber, 2009) dimana diperoleh pengaruh yang cukup besar oleh karena penggunaan superplasticizer jenis polycarboxylate dalam meningkatkan *flowability* dari beton mutu tinggi dengan *Silica fume*. Dalam hal ini superplasticizer membantu dalam mendispersi *Silica fume* sehingga diperoleh campuran dengan *high flow*.

**Tabel 3.** Prosentase Pengurangan Air Akibat Penggunaan *Superplasticizer Polymer* (SP)

Prosentase SP (%)	Jumlah air rencana (ml)	Jumlah sisa air untuk mencapai slump = 7 cm (ml)	Pengurangan air (%)
0,25	9007,9	600	6,7
0,5	9007,9	1200	13,3
0,75	9007,9	1700	18,9
1	9007,9	2200	24,4
1,25	9007,9	3000	33,3
1,5	9007,9	4000	44,4



**Gambar 2.** Prosentase reduksi air akibat pemanfaatan SP

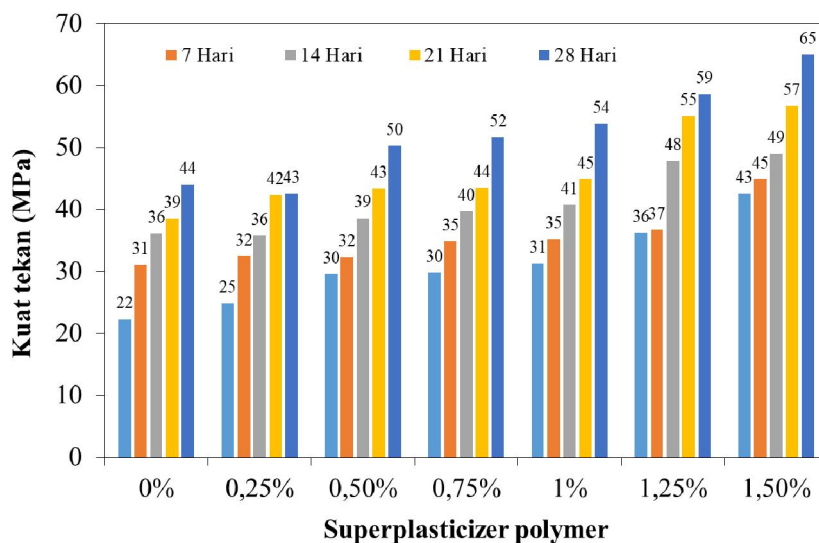
#### 4.2 Kuat tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi *superplasticizer polymer* dan *Silica fume* 5% pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari terlihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kuat Tekan Rata-Rata Benda Uji

Presentasi <i>Superplasticizer</i> <i>polymer</i>	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)				
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
0%	22,27	31,03	36,09	38,57	44
0,25%	24,84	32,49	35,81	42,32	42,6
0,5%	29,57	32,33	38,6	43,33	50,22
0,75%	29,85	34,88	39,73	43,53	51,6
1%	31,3	35,17	40,75	44,82	53,88
1,25%	36,22	36,68	47,85	55,07	58,61
1,5%	42,55	44,88	49,02	56,73	64,97

Berdasarkan observasi, penggunaan superplasticizer polymer dengan *Silica fume* meningkatkan kekuatan tekan beton walaupun dengan dosis yang sedikit yakni 0,25% dari berat semen. Semakin bertambahnya prosentase superplasticizer yang digunakan, kekuatan tekan semakin meningkat dimana dalam penelitian ini diperoleh bahwa kekuatan tekan terbesar ada pada benda uji dengan 1,5% *superplasticizer polymer*. Gambar 3 menunjukkan grafik peningkatan mutu pada benda uji dengan variasi *superplasticizer polymer*. Tabel 5 menjelaskan presentase target capaian beton pada perencanaan mutu  $f'c$  40 MPa. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa pengaruh *superplasticizer polymer* terhadap mutu beton mengalami peningkatan yang signifikan. Salah satu fungsi utamanya adalah memberikan kekuatan awal yang tinggi dilihat dari data yang diperoleh pada sampel hari ke 3 yang sudah mencapai kekuatan 42,55 MPa untuk campuran 1,5% SP dan 5% SF yang kemudian mengalami penguatan secara konstan sampai pada 28 hari dengan kekuatan 64,97 MPa. Kekuatan ini adalah 62,4% lebih besar dari target kuat tekan rencana 40 MPa (lihat Tabel 5). Peningkatan kekuatan awal pada beton dapat memberikan pengaruh positif dalam pengaplikasiannya di lapangan dimana biaya dapat ditekan oleh karena penggunaan bekisting yang lebih sedikit. Selain itu, proyek konstruksi dapat berjalan tepat waktu karena target kekuatan yang dapat dicapai di umur awal.

**Gambar 3.** Kuat tekan beton dengan variasi prosentase superplasticizer

Tabel 5. Presentase Terhadap Kekuatan Beton Dengan Mutu 40 MPa

Presentasi <i>Superplasticizer</i> <i>polymer</i>	Presentasi Target Capaian 40 MPa (%)				
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
0%	55,7	77,6	90,2	96,4	110
0,25%	62,1	81,2	89,5	105,8	115,5
0,5%	73,9	80,8	96,5	108,3	125,5
0,75%	74,6	87,2	99,3	108,8	129
1%	78,3	87,9	101,9	112,1	134,7
1,25%	90,5	96,7	119,6	137,7	146,5
1,5%	106,4	112,2	122,6	141,8	162,4

Adapun kekuatan tekan benda uji dengan *superplasticizer polymer* dibandingkan dengan kuat tekan beton normal terlihat pada Tabel 6. Peningkatan terbesar terlihat pada umur awal beton misalnya 3 hari. Dimana terlihat bahwa peningkatan kuat tekan untuk variasi prosentase SP dari 0,25-1,5 adalah 11,53-91,1% pada 3 hari, 4-44% pada 7 hari, 6,96-35% pada 14 hari, 9,7-47% pada 21 hari dan 5-47,65% pada 28 hari. Peningkatan kuat tekan pada umur awal beton juga disebabkan oleh reaksi pozzolan akibat penambahan 5% *Silica fume* yang mempercepat reaksi yang terjadi sehingga meningkatkan kekuatan awal beton. Penggunaan *superplasticizer polymer* dalam beton dengan *Silica fume* memberikan pengaruh dalam mendispersi partikel *Silica fume* sehingga dapat bereaksi dengan cepat pada umur awal dan menghasilkan tambahan reaksi Calcium Silicate Hydrate (CSH) yang berguna dalam meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan beton ini juga dibantu dengan sifat *Silica fume* sebagai *filler*. Hal ini sesuai dengan penelitian Mazloom et al (2020) dimana penggunaan *superplasticizer polymer* jenis poly-carboxyl-ether meningkatkan kekuatan tekan dan tarik beton, selain itu *Silica fume* berfungsi sebagai filler yang dapat mengurangi kandungan udara beton sehingga beton menjadi lebih padat dibandingkan dengan control normal.

Tabel 6. Presentase Terhadap Kekuatan Beton Normal

Presentasi <i>Superplasticizer</i> <i>polymer</i>	Presentasi kuat tekan terhadap beton normal (%)				
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari
0%	100	100	100	100	100
0,25%	111,53	104,68	99,21	109,70	105,00
0,5%	132,79	104,18	106,96	112,33	114,12
0,75%	134,04	112,39	110,08	112,85	117,26
1%	140,57	113,32	112,90	116,20	122,46
1,25%	162,65	124,65	132,58	142,76	133,19
1,5%	191,10	144,63	135,82	147,08	147,65



## 5. KESIMPULAN

1. Kekuatan optimum 3, 7, 14, dan 28 hari dengan menambahkan SP dan SF pada beton memberikan kenaikan mutu kuat tekan secara signifikan pada presentasi 1,5% SP dan 5% SF. Beton ini dikategorikan sebagai beton mutu tinggi karena sudah melewati 41 MPa.
2. Presentasi SP (1.5%) dan SF (5%) didapat pengurangan air secara signifikan sebanyak 41,5%. Pada presentasi 1,5% pengerasan beton menjadi semakin cepat karena pengurangan air hampir 50% dari perencanaan namun mutu beton semakin kuat pada campuran tersebut.
3. Peningkatan kekuatan tekan beton terjadi pada umur awal beton sehingga penggunaan *Silica fume* 5% dengan tambahan *superplasticizer polymer* dapat diaplikasikan untuk pembuatan beton pra-cetak mutu tinggi yang dapat mengurangi biaya konstruksi dalam penggunaan bekisting.

## 6. SARAN

Diperlukan penelitian lanjutan tentang penggunaan *Silica fume* dan *superplasticizer polymer* akan tetapi tidak mempertahankan nilai *slump*. Pengembangan penelitian dapat dilakukan melalui pengujian kuat lentur dan durabilitas beton

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Manado untuk bantuan dana penelitian internal unggulan program studi tahun 2020.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 234R-06. Guide for the Use of *Silica fume* in Concrete.
- [2] Chen, H., Yu, Y., & Tang, C. (n.d.). Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete before and after Exposure to High Temperatures. 1–17.
- [3] Jain, A. (2016). Characteristics of *Silica fume* Concrete. *IJCA Proceedings on International Conference on Quality Up-gradation in Engineering, Science and Technology ICQUEST*, Vol. 8, pp. 23-26.
- [4] Krisman Aprieli Zai, S. dan R. K. (2015). Pengaruh Penambahan *Silica fume* Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode ACI (American Concrete Institute ). *Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*.
- [5] Mazloom, M., Solatni, A., Karamloo, M., Hassanloo, A., and Ranjbar, A. (2018). Effects of *Silica fume*, superplasticizer dosage and type of superplasticizer on the properties of normal and self-compacting concrete. *Advances in Material Research*, Vol. 7, No.1, pp. 407-434.
- [6] Panesar, D. (2019). *Supplementary cementing materials, Developments in the Formulation and Reinforcement*, Second Edition, WOODPUBLISHING, Vol 2, pp. 409-423
- [7] Plank, J., Schroefl, C., Gruber, M., Lesti, M., & Sieber, R. (2009). Effectiveness of

polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete: The importance of PCE compatibility with *Silica fume*. *Journal of Advanced Concrete Technology*. <https://doi.org/10.3151/jact.7.5>

- [8] Sebayang, S. (2011). Tinjauan Sifat-Sifat Mekanik Beton Alir Mutu Tinggi Dengan Silika Fume Sebagai Bahan Tambahan. *Jurnal Rekayasa*.
- [9] Siddique, R., Kunal. (2016). *Nonconventional and Vernacular Construction Materials. Utilization of industrial by-products and natural ashes in mortar and concrete: Development of sustainable construction materials*, Book Chapter, ELSEVIER, page 159-204, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100038-0.00007-X>
- [10] Singh, H., & Bansal, S. (2015). Effect of *Silica fume* on the Strength of Cement Mortar. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 4, Issue 2, pp. 623–627.
- [11] SNI 03-2495-1991. Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton, Departemen Pekerjaan Umum.
- [12] SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, Departemen Pekerjaan Umum.
- [13] Tarru, R. O., Arnanto, B., Tarru, H. E., Bandaso, S., Sipil, J. T., Kristen, U., Toraja, T. (2017). Studi Penggunaan *Silica fume* Sebagai Bahan Pengisi ( Filler ) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Saint*, (1), 472–485.
- [14] Wicaksono, W. S., Wibowo, W., & Safitri, E. (2018). Pengaruh Kadar *Silica fume* Terhadap Kuat Tekan Pada High Strength Self Compacting Concrete (Hsscc) Benda Uji Silinder D 7,5CmX15Cm Usia 14 Dan 28 Hari. *Matriks Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i4.36537>