

OPTIMASI VARIASI PENGGUNAAN ADMIXTURE ADDITON SUPERFLUID L DAN SUPERPLAST W9 TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI

Muhammad Agus Hilmi¹, Wahyu Kartini², Sumaidi³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN" Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya No.1 Surabaya. Telp/fax : 0623-18706369

*Email: muhammadagushilmi@gmail.com

ABSTRAK

Beton mutu tinggi merupakan jenis beton yang dibuat dengan perlakuan secara khusus. Penggunaan faktor air semen harus seminimal mungkin dikarenakan semakin rendah faktor air semen (FAS) yang digunakan, akan menyebabkan karakteristik beton semakin baik, sehingga perlu ditambahkan *admixture* agar beton yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan dan penggunaan paling optimal dari *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 terhadap hasil karakteristik beton mutu tinggi. Dalam penelitian ini, digunakan faktor air semen sebesar 0,294 untuk semua benda uji dengan variasi persentase 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dari berat semen dengan perencanaan desain campuran menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) mengacu pada SNI 03-6468-2000. Pengujian karakteristik yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan, porositas dan modulus elastisitas dengan benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 x 30 cm untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas, serta diameter 10 x 20 cm untuk uji porositas dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 63 sampel berumur 28 hari yang sebelumnya dilakukan perawatan beton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedua *admixture* memberikan pengaruh terhadap workabilitas dan juga terhadap nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang berbanding terbalik dengan nilai porositas beton. Mutu beton yang paling optimal terjadi pada variasi 1,5% pada penggunaan *admixture* Superfluid L dan variasi 0,5% pada penggunaan *admixture* Superplast W9.

Kata kunci: Beton Mutu Tinggi, FAS, *Admixture*, Karakteristik Beton

ABSTRACT

High quality concrete is a type of concrete made with special treatment. The use of cement water factor must be as minimal as possible because the lower the cement water factor (FAS) used, it will cause better concrete characteristics, so it is necessary to add admixture so that the concrete produced is in accordance with needs. This study aims to determine the comparison and most optimal use of Additon Superfluid L and Superplast W9 admixture on the results of high quality concrete characteristics. In this study, a cement water factor of 0.294 was used for all test specimens with a percentage variation of 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% of cement weight with mixed design planning using the ACI (American Concrete Institute) method referring to SNI 03-6468-2000. The characteristic tests carried out include tests of compressive strength, porosity and modulus of elasticity with cylindrical specimens with a diameter of 15 x 30 cm for compressive strength and modulus of elasticity tests, and a diameter of 10 x 20 cm for porosity tests with a total of 63 28-day-old samples previously carried out concrete treatment. The results of this study show that both admixtures have an influence on workability and also on the value of compressive strength and modulus of elasticity which are inversely proportional to the porosity value of concrete. The most optimal concrete quality occurs in the variation of 1.5% in the use of Superfluid L admixture and 0.5% variation in the use of Superplast W9 admixture.

Keywords: High Quality Concrete, FAS, Admixture, Concrete Characteristics

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, pembangunan infrastruktur dan bangunan massal semakin banyak dilakukan, seperti gedung bertingkat tinggi, jembatan dan bangunan lain yang membutuhkan kekuatan struktur yang besar. Untuk mencapai kekuatan struktur tersebut, pilihan yang tepat adalah dengan menggunakan beton mutu tinggi. Berdasarkan SNI 03-6468-2000 beton dikatakan mutu tinggi jika memiliki nilai kuat tekan minimal 41,4 MPa. Salah satu faktor yang paling menentukan dalam pembuatan beton dengan mutu tinggi yaitu faktor air semen (Pah et al., 2022). Semakin rendah faktor air semen yang digunakan, akan menyebabkan nilai porositas semakin menurun dan kuat tekan beton semakin meningkat (Almufid, 2019). Adapun untuk nilai modulus elastisitas, semakin rendah faktor air semen akan menyebabkan nilai modulus elastisitas beton semakin meningkat (Narayanan, 2021).

Produksi beton mutu tinggi memerlukan faktor air semen yang rendah dengan cara mengurangi kadar air atau meningkatkan kadar semen dalam campuran beton. (Patria & Haikal, 2022). Rendahnya faktor air semen menjadi salah satu sebab utama turunnya workabilitas saat pencampuran beton (Risdiyanto & M, 2018). Solusi untuk masalah ini diperlukan penggunaan (*admixture*) atau bahan tambahan untuk meningkatkan sifat beton dan membuatnya sesuai dengan kebutuhan. (Ginting, 2019). Adapun bahan tambah (*admixture*) yang dimaksud diantaranya Additon Superfluid L dan Superplast W9.

Manurut brosur terkait, Additon Superfluid L dan Superplast W9 adalah *admixture* yang berfungsi untuk meningkatkan mutu dan kelecakan yang sangat tinggi. Zat Additon Superfluid L tergolong dalam *admixture* tipe A dan F, sedangkan Superplast W9 tergolong dalam *admixture* tipe E dan F. *Admixture* tipe A berfungsi mengurangi air pada campuran beton agar tercapai konsistensi yang diinginkan. *Admixture* tipe E berfungsi mengurangi air pada campuran beton agar tercapai konsistensi yang diinginkan dan pengikatan awal beton supaya lebih cepat. *Admixture* tipe F berfungsi mengurangi air pada campuran beton agar tercapai konsistensi yang diinginkan, sebanyak 12% atau lebih. (Andika & Dimalouw, 2021)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui campuran yang optimal dari variasi penggunaan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 terhadap karakteristik beton mutu tinggi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam pencampuran beton harus memenuhi syarat sesuai SNI 03-6468-2000 sebagai material penyusun beton. Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- Agregat halus berupa pasir berasal dari Lumajang.
- Agregat kasar berupa batu pecah berasal dari Mojokerto.
- Air bersih yang diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil UPN "Veteran" Jawa Timur.
- Semen PCC merk semen Gresik.
- Bahan Tambahan Kimia (*admixture*) menggunakan Additon Superfluid L dan Superplast W9.

Penggunaan alat setiap pengujian dalam penelitian ini disesuaikan dengan aturan yang tertera pada Tabel.

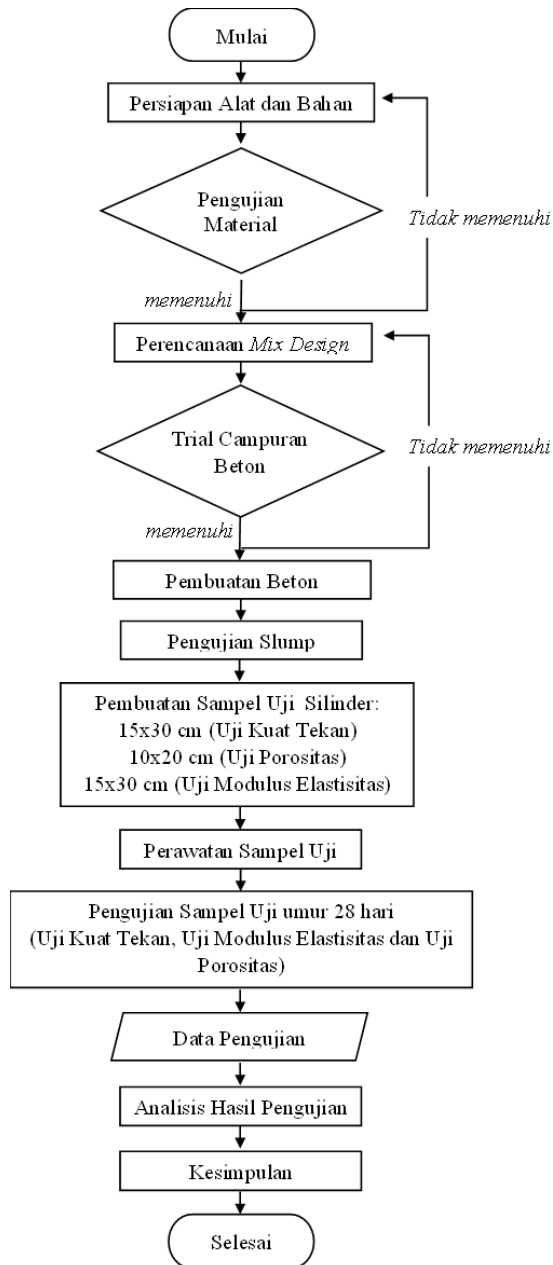
Desain Penelitian dan Analisa Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental. Metode eksperimen dipakai untuk mengumpulkan data-data primer yang didapatkan dari pengujian secara langsung. Penelitian ini nantinya akan membandingkan beton mutu tinggi dengan penggunaan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 dengan variasi persentase pemakaian masing-masing zat tambah tersebut yang berbeda-beda. Beton-beton tersebut akan diuji berdasarkan hasil kuat tekan, modulus elastisitas dan porositas masing-masing sampel. Pelaksanaan penelitian beton ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sesuai dengan diagram alir seperti tertera pada Gambar 1.

Pengujian Material

Sebelum melakukan *mix design*, material pembuatan beton harus diuji terlebih dahulu. Hal ini penting untuk mengetahui karakteristik dan sifat material serta sebagai data awal yang dibutuhkan dalam *mix design*. Dalam penelitian ini pengujian material meliputi uji

agregat halus dan kasar yang dalam pelaksanaannya mengikuti acuan kerja sesuai dengan ASTM (*American Society for Testing and Material*).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan Penelitian

Mix Design

Perencanaan campuran beton (*mix design*) bertujuan untuk menentukan persentase pemakaian setiap material pada campuran beton agar didapatkan kualitas beton yang diinginkan. Adukan beton pada penelitian ini

direncanakan untuk mencapai beton mutu tinggi dengan campuran *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 sebagai bahan tambah. Adapun metode perhitungan untuk menentukan proporsi campuran beton menggunakan ACI (*American Concrete Institute*) mengacu pada SNI 03-6468-2000.

Trial dan Pembuatan Beton Basah

Perencanaan *mix design* yang telah dibuat, lalu diuji coba dengan membuat campuran adukan beton sesuai proporsi *mix design* tersebut. Uji coba atau trial beton disertai dengan pengujian slump untuk mengetahui nilai kelecakan beton telah sesuai dengan persyaratan atau belum. Jika hasil slump masih belum sesuai dengan persyaratan dan ketentuan maka perencanaan *mix design* harus diulang. Sebaliknya, jika hasil uji slump telah sesuai dengan persyaratan dan ketentuan, maka pembuatan beton basah untuk sampel uji telah dapat dilaksanakan.

Uji Slump Beton

Pengujian slump pada beton basah bertujuan untuk mengetahui kelecakan, konsistensi, workabilitas dari campuran beton yang dibuat (Andri Agusti & Riwayati, 2020). Slump yang digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi umumnya 50-100 mm dan jika menggunakan superplasticizer nilai slump awal diambil 25-50 mm, kemudian boleh melebihi 200 mm setelah ditambahkan *superplasticizer*. Prosedur pengujian slump beton dilaksanakan mengacu pada ASTM C 138-92.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan sebagai berikut:

- Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dengan sampel berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm.
- Pengujian porositas dengan sampel berbentuk silinder berukuran 10 x 20 cm.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton, yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada beton yang sudah jadi sampai hancur. (Abdien, 2020). Prosedur pengujian beton dilakukan berdasarkan pada SNI 1974:2011 terkait cara pengujian kuat tekan beton untuk

benda uji silinder. Adapun persamaan untuk menghitung kuat tekan sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

- f'c = Nilai Kuat Tekan (N/mm²)
- P = Beban *Ultimate* (N)
- A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Pengujian Porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui besarnya presentase pori-pori beton terhadap volume beton padat. Berdasarkan ASTM C 642-90, persamaan untuk mencari nilai porositas dari suatu beton yaitu:

$$n = \frac{A-C}{A-B} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

- n = nilai porositas (%)
- A = Berat beton dalam kondisi jenis air (kg);
- B = Berat beton saat di dalam air (kg);
- C = Berat kering sampel dalam oven (kg)

Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan kondisi regangan pada saat beton menahan suatu beban yang besar. Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan bantuan alat uji tekan dan pengukur regangan yang nantinya menghasilkan kurva tegangan-regangan sehingga dapat terlihat modulus awal, tangen dan sekan yang berkisar 25 - 50% dari kuat tekan *ultimate* yang digunakan sebagai perhitungan modulus elastisitas (Elisabeth et al., 2020). Adapun persamaan untuk menghitung besaran nilai modulus elastisitas sesuai ASTM C 469 – 02 sebagai berikut:

$$E = \frac{(S_2-S_1)}{(\epsilon_2-0,000050)} \dots\dots\dots (3)$$

- E = Nilai modulus elastisitas (kg/cm²)
- S₁ = Tegangan saat nilai kurva regangan
- S₂ = Tegangan 40% dari tegangan hancur (kg/cm²)
- ε₁ = 0,000050 (kg/cm²)
- ε₂ = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S₂

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengujian Material

Pada penelitian ini agregat halus dan agregat kasar diuji untuk mengetahui sifat materialnya yang akan digunakan sebagai

komponen campuran beton. Pengujian material akan menghasilkan data untuk dijadikan sebagai acuan perencanaan campuran beton (*mix design*).

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil
Penyelidikan Agregat Halus (Pasir)		
1	Pengujian Kelembaban (%)	1,85
2	Uji Berat Jenis (kering oven) (g/cm ³)	2,69
3	Uji Air Resapan (%)	1,11
4	Uji Berat Volume(kg/m ³)	1358,2
5	Uji Kebersihan terhadap Bahan Organik	Kekuningan
6	Uji Kebersihan terhadap Lumpur (%)	1,3
7	Modulus Kehalusan	2,903
Penyelidikan Agregat Kasar (Batu Pecah)		
1	Uji Kelembaban (%)	1,71
2	Uji Berat Jenis (kering oven)(g/cm ³)	2,64
3	Uji Air Resapan (%)	1,38
4	Uji Berat Volume (kg/m ³)	1456,57
7	Modulus Kehalusan	2,79

Desain Campuran Beton (Mix Design)

Pengujian material telah dilakukan dan mendapatkan data karakteristik material yang diperlukan. Selanjutnya, dilakukan *mix design* menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) berdasarkan pada SNI 03-6468-2000. Perencanaan *mix design* ditentukan faktor air semen sebesar 0,29. Dari perencanaan *mix design* dihasilkan masing-masing komposisi material untuk beton normal tanpa campuran *admixture* dan beton dengan beberapa variasi penambahan *admixture*. Adapun komposisi campuran untuk beton normal disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton (Tanpa *Admixture*)

Komposisi	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	Air (liter)
Tiap 1 m ³ (Berat Kering)	1048,73	360,3	733,24	215,21
Tiap 1 m ³ (Sesuai Kondisi Agregat)	1052,25	362,96	733,24	209,04

Sedangkan komposisi untuk masing-masing variasi penambahan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Penambahan *Admixture*

Komposisi Tiap 1 m ³	Semen	Additon Superfluid L		Superplast W9	
		kg	liter	kg	liter
0,50%	733,2	3,67	3,11	3,67	3,22
1,00%		7,33	6,21	7,33	6,44
1,50%		11	9,32	11	9,66
2,00%		14,66	12,43	14,66	12,89

Sumber: Hasil Pengujian

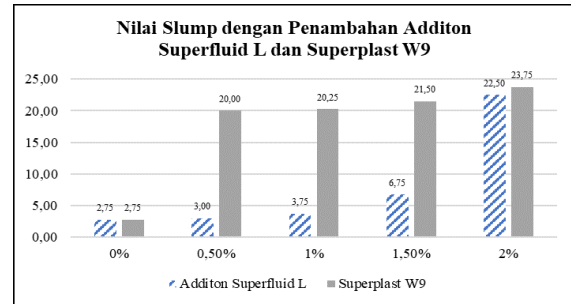
Pengujian Slump

Setelah pencampuran beton, lalu dilakukan pengujian slump untuk melihat tingkat workabilitas dari beton yang telah dibuat (Riwayati & Habibi, 2020). Adapun hasil nilai slump dan presentase perubahannya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Slump dan Persentase Perubahannya

Jenis <i>Admixture</i>	Variasi	Nilai Slump	Penurunan
Additon Superfluid L	0%	2,75	0%
	0,50%	3	9%
	1%	3,75	36%
	1,50%	6,75	145%
	2%	22,5	718%
Superplast W9	0%	2,75	0%
	0,50%	20	627%
	1%	20,25	636%
	1,50%	21,5	682%
	2%	23,75	764%

Berdasarkan Tabel 4, hasil slump beton dari campuran kedua *admixture* memiliki perbedaan perubahan yang cukup signifikan. Adapun hasil nilai slump digambarkan pada Grafik 2.



Gambar 2. Diagram Nilai Hasil Slump

Pada pengujian slump, campuran beton dengan tanpa *admixture* memiliki nilai slump yaitu 2,75 mm. Lalu, dilakukan pencampuran beton dengan penambahan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9. Terlihat pada gambar 2, penambahan kedua *admixture* tersebut sama-sama memberikan pengaruh terhadap hasil nilai slump yang lebih tinggi dibanding campuran beton normal (tanpa *admixture*). Dari hasil pengujian juga menunjukkan bahwa penambahan persentase *admixture* yang lebih banyak memberikan hasil nilai slump yang semakin tinggi.

Pengujian Kuat Tekan

Setelah dilakukan perawatan (*curing*) selama 28 hari semenjak beton dibuat. Selanjutnya, dilakukan pengujian pada benda uji untuk mengetahui kekuatan maksimal yang dapat diterima oleh beton pada arah aksial. Setelah pengujian dilakukan, maka didapatkan data beban maksimal dan hasil kuat tekan dari masing-masing benda uji yang ditunjukkan pada Tabel 5.

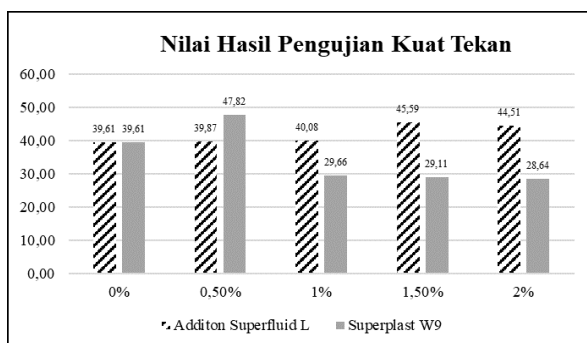
Tabel 5. Nilai dan Persentase Perubahan Hasil Pengujian Kuat Tekan

Jenis <i>Admixture</i>	Variasi	Nilai Kuat Tekan (Mpa)	Peningkatan
Additon Superfluid L	0%	39,61	0,00%
	0,50%	39,87	0,66%
	1%	40,08	1,18%
	1,50%	45,59	15,11%
	2%	44,51	12,36%
Superplast W9	0%	39,61	0,00%
	0,50%	47,82	20,74%
	1%	29,66	-25,12%
	1,50%	29,11	-26,51%
	2%	28,64	-27,70%

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan Tabel 5, hasil kuat tekan dari masing-masing variasi penambahan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa nilai kuat tekan terbesar untuk campuran dengan penambahan *admixture* Additon Superfluid L pada variasi 1,5% yaitu sebesar 49,10 MPa, sedangkan untuk campuran dengan penambahan *admixture* Superplast W9 pada variasi 0,5% yaitu sebesar 51,19 MPa. Hasil kuat tekan akibat penambahan dari kedua *admixture* masing-masing menyebabkan peningkatan sampai nilai kuat tekan terbesarnya dan mengalami penurunan setelah nilai kuat tekan terbesar tercapai



Gambar 3. Diagram Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan

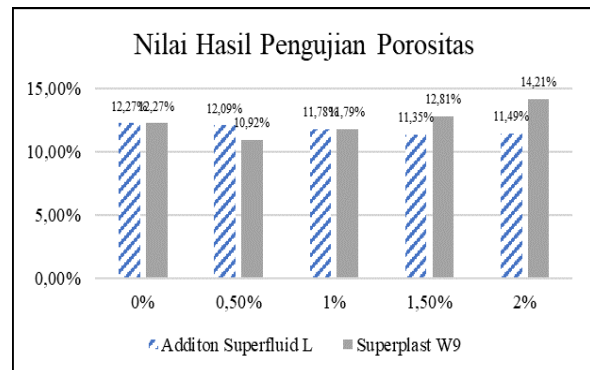
Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui kadar pori-pori yang ada dalam beton. Adapun hasil pengujian porositas disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai dan Persentase Perubahan Hasil Pengujian Porositas

Jenis <i>Admixture</i>	Variasi	Nilai Porositas (Mpa)	Peningkatan
Additon Superfluid L	0%	12,27%	0,00%
	0,50%	12,09%	-1,45%
	1%	11,78%	-4,06%
	1,50%	11,35%	-7,49%
	2%	11,49%	-6,41%
Superplast W9	0%	12,27%	0,00%
	0,50%	10,92%	-11,02%
	1%	11,79%	-3,98%
	1,50%	12,81%	4,41%
	2%	14,21%	15,76%

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4. Diagram Nilai Hasil Pengujian Porositas

Dari Tabel 6 hasil porositas dari masing-masing variasi penambahan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 digambarkan pada Gambar 4.

Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa nilai porositas terendah untuk campuran dengan penambahan *admixture* Additon Superfluid L pada variasi 1,5% yaitu sebesar 11,35, sedangkan untuk campuran dengan penambahan *admixture* Superplast W9 pada variasi 0,5% yaitu sebesar 10,92%. Presentase perubahan nilai porositas benda uji yang menggunakan *admixture* Additon Superfluid L tidak terlalu besar karena berada di kisaran kurang dari 10% dibandingkan dengan benda uji yang menggunakan *admixture* Additon Superfluid L yang memiliki beberapa presentase perubahan lebih dari 10%.

Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan memberikan tegangan terhadap benda uji menggunakan *Universal Testing Mechine* (UTM) yang kemudian menghasilkan data-data. Data tegangan dan regangan tersebut diolah dengan bantuan perangkat lunak sehingga menghasilkan hubungan tegangan-regangan dan hasil regresi (Purnawirati, 2020). Kemudian dengan menggunakan persamaan (3) didapatkan hasil nilai modulus elastisitas seperti yang tertera pada Tabel 7.

Berdasarkan tabel 7, disajikan grafik nilai hasil modulus elastisitas dari masing-masing variasi penambahan *admixture* Additon Superfluid L dan Superplast W9 pada gambar 5.

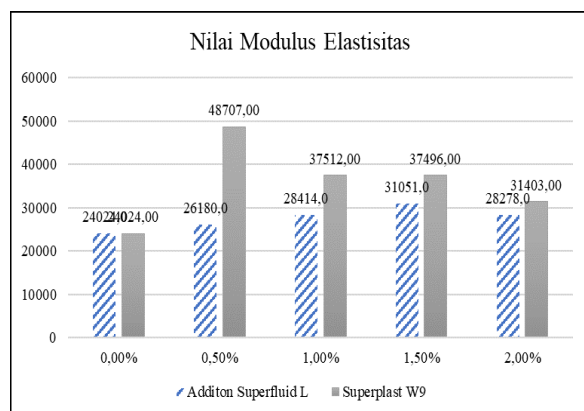
Hasil modulus elastisitas akibat penambahan dari kedua *admixture* masing-masing menyebabkan peningkatan sampai nilai modulus elastisitas terbesarnya dan mengalami

penurunan setelah nilai modulus elastisitas terbesar tercapai. Pengujian beton dengan penambahan *admixture* Additon Superfluid L menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas mengalami kenaikan seiring bertambahnya presentase penampahan *admixture* sampai pada nilai terbesar yang terdapat pada variasi 1,5% yaitu sebesar 31051 MPa dan mengalami penurunan setelahnya. Sedangkan untuk campuran dengan penambahan *admixture* Superplast W9 mengalami peningkatan pada variasi 0,5% yaitu sebesar 48707 MPa dan setelahnya mengalami penurunan nilai modulus elastisitas.

Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Jenis Admixture	Persentase	Persamaan Linear	E Pengujian (MPa)
Tanpa Admixture	0,00%	$24,024x + 1,145$	24024
	0,50%	$26,18x + 0,8485$	26180
Additon Superfluid L	1,00%	$28,414x + 0,021$	28414
	1,50%	$31,051x + 0,6901$	31051
	2,00%	$28,278x + 1,1813$	28278
	0,50%	$48,707x - 0,628$	48707
Superplast W9	1,00%	$37,512x + 0,8657$	37512
	1,50%	$37,496x + 0,6765$	37496
	2,00%	$31,403x + 0,9065$	31403

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 5. Diagram Nilai Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

KESIMPULAN

1. Penambahan *admixture* Additon Superfluid L ataupun Superplast W9 sama-sama memberikan peningkatan terhadap workabilitas beton
2. Nilai kuat tekan berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas dan berbanding terbalik dengan nilai porositas. Semakin besar nilai kuat tekan dan modulus elastisitas maka semakin kecil nilai porositasnya serta sebaliknya, semakin kecil nilai kuat tekan dan modulus elastisitas maka semakin besar nilai porositasnya.
3. Campuran beton yang paling optimum yaitu pada penggunaan *admixture* Additon Superfluid L variasi 1,5% dengan nilai kuat tekan 45,59 MPa, modulus elastisitas 31051 MPa, porositas 11,35%, slump sebesar 6,75 dan *admixture* Superplast W9 dengan variasi 0,5% yang memiliki nilai kuat tekan 47,82 MPa, modulus elastisitas 48707 MPa, nilai porositas 10,92%, dan nilai slump sebesar 20 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdien, S. P. 2020. *Analisa Kuat Tekan Beton K-175 dengan Bahan Tambah* [Universitas Medan]. <https://repository.uma.ac.id/bitstream/123456789/16255/1/158110042> - Putri Siti Abdien Fulltext.pdf
- Almufid. 2019. *Perencanaan Beton Mutu Tinggi (Kuat Tekan Besar) dengan Bahan Tambahan. Teknik, Vol. 1. No.*
- Andika, Y., & Dimalouw, J. D. 2021. *Pengaruh Penggunaan Sikament ® Ln Terhadap Pengurangan Jumlah Kadar Air Dan Kuat Tekan Beton. Jurnal Karkasa, 7(2), 54–61.*
- Andri Agusti, & Riwayati, R. S. 2020. *Pengaruh Penambahan Superplasticizer ke Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton K-400 Pada Umur 28 Hari. 8(1), 77–84.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland dengan Abu Terbang* (p. 18).
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 20.*
- Elisabeth, S., Lukar, C., Pandaleke, R., &

- Wallah, S. 2020. Pengujian Modulus Elastisitas Pada Beton Dengan Menggunakan Tras Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.8(No.1), 33–38.
- Ginting, A. 2019. Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 76–98.
<https://doi.org/10.28932/jts.v11i2.1404>
- Narayanan, S. 2021. Elastic Modulus of Concrete. *Fibres, Films, Plastics and Rubbers*, June, 588–592.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-408-15960-9.50072-3>
- Pah, J. J. S., Tulle, P. M., Bella, R. A., & Sina, D. A. T. 2022. Hubungan faktor air-semen dan faktor air-foam terhadap kuat tekan dan berat volume bata ringan clc. 11(2), 119–132.
- Patria, A. S. N., & Haikal, F. 2022. Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Admixture High Range Water Reducer. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 12–22.
<https://doi.org/10.56444/jts.v15i2.210>
- Purnawirati, I. G. A. N. 2020. Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton Ringan Styrofoam. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), 59.
<https://doi.org/10.31602/jk.v3i2.4067>
- Risdianto, Y., & M, P. R. 2018. Beton Mutu Tinggi Dengan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Dan Superplasticizer Sebagai Admixture Dengan Menggunakan FAS 0,42 s.d 0,46. *Universitas Negeri Surabaya*, 1–9.
- Riwayati, R. R. S., & Habibi, R. 2020. Pengaruh Penambahan Zat Aditif Sika Viscocrete Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-300 Umur 14 Hari. *Jurnal Tekno Global*, 09(2), 44–49.
- Sultan, M. A., Imran, & Litolily, F. 2018. Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata. *Teknologi Sipil*, 2(2), 57–63.