



Optimasi Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi *Fly Ash*, Bahan Tambah Natrium Glukonat dan Menurunkan Rasio Air/Semen

Nikolaus Dharmawan Dharsono^{1,*}, Dyah Hesti Wardhani^{2,3}, Hadiyanto Hadiyanto^{2,3}

¹Mahasiswa Program Studi Program Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Program Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)Corresponding author: nikolauz.dd@gmail.com

(Received: November 27, 2023; Accepted: December 18, 2023)

Abstract

Optimizing Concrete Compressive Strength by Substituting Fly Ash, Sodium Gluconate Additives and Reducing the Water/Cement Ratio. Concrete is a mixture of sand, gravel, crushed stone or other aggregates mixed with cement and water to form a mass like stone. Concrete needs innovation due to the widespread use of concrete in the construction sector. Previous research substitution of cement with fly ash by 9%, silica fume by 12.5% and the addition of sodium gluconate by 0.03% increased the compressive strength of concrete (28 days) by 14.6%, but more expensive 290,23% from the control sample. In this study using a 2^k factorial design with 3 factors for optimizing the use of fly ash, w/c ratio, and sodium gluconate to obtain maximum concrete compressive strength. This study tested the slump of fresh concrete and the compressive strength of concrete at 28 days. The data is used to optimize the compressive strength of concrete with the help of minitab software version 21. The results of this study showed that in the slump test fly ash compounds increased workability, w/c ratio and sodium gluconate thickened fresh concrete. The result of concrete compressive strength showed that increasing fly ash content reduces concrete compressive strength, reducing water/cement ratio increases concrete compressive strength, and increasing sodium gluconate increases concrete compressive strength. In concrete compressive strength with cement composition: fly ash:w/c:sodium gluconate ratio of 0.91:0.09:0.042:0.002 increased concrete compressive strength by 15.33% from control at 28 days. The cost of the concrete mixture to achieve optimum compressive strength was less than 5.73% of the cement price per kg in the control sample.

Keywords: concrete, fly ash, w/c ratio, sodium gluconate, slump test, concrete compressive strength optimization

Abstrak

Beton adalah campuran pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lainnya yang dicampur dengan semen dan air hingga membentuk suatu massa seperti batu. Inovasi beton karena penggunaan beton yang luas pada bidang konstruksi. Pada penelitian sebelumnya, substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 9%, *silica fume* sebesar 12,5% dan penambahan natrium glukonat sebesar 0,03% meningkatkan kuat tekan beton (28 hari) sebesar 14,6%, tetapi membutuhkan biaya campuran lebih besar 290,23% dari sampel kontrol. Maka pada penelitian ini akan mengoptimalkan hasil penelitian sebelumnya dengan menghilangkan variabel *silica fume* untuk menurunkan harga campuran pada beton. Pada penelitian ini menggunakan rancangan faktorial 2^k dengan 3 faktor dengan mengoptimalkan penggunaan *fly ash* dan natrium glukonat dengan mengurangi rasio w/c untuk didapatkan hasil kuat tekan beton maksimal. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *slump test* beton segar dan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari. Data tersebut digunakan untuk mengoptimasi kuat

tekan beton dengan bantuan *software minitab* versi 21. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada *slump test*, senyawa *fly ash* meningkatkan *workability*, rasio *w/c* dan natrium glukonat mengentalkan beton segar. Pada kuat tekan beton, memperbesar kadar *fly ash* mengurangi kuat tekan beton, mengurangi rasio air/semen meningkatkan kuat tekan beton, dan memperbesar natrium glukonat meningkatkan kuat tekan beton. Pada kuat tekan beton. dengan komposisi semen:*fly ash*:rasio *w/c* :natrium glukonat sebesar 0,91:0,09:0,42:0,002 meningkatkan kuat tekan beton sebesar 15,33% dari kontrol pada umur 28 hari. Biaya campuran beton untuk mencapai kuat tekan optimum lebih kecil 5,73% dari harga semen per kg pada sampel kontrol.

Kata kunci: beton, *fly ash*, rasio *w/c*, natrium glukonat, uji *slump*, optimasi kuat tekan beton

How to Cite This Article: Dharsono, N. D., Wardhani, D. H., Hadiyanto, H. (2023). Optimasi Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi Fly Ash, Bahan Tambah Natrium Glukonat dan Menurunkan Rasio Air/Semen. *JPII*, 1(8), 339-345. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.20942>

PENDAHULUAN

Beton adalah campuran pasir, kerikil, batu pecah atau agregat lainnya yang dicampur dengan semen dan air hingga membentuk suatu massa seperti batu. Material pembentuk beton dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (McCormac, 2004).

Inovasi dalam penggunaan beton diperlukan karena penggunaan beton yang luas pada bidang konstruksi. Pada penelitian sebelumnya, substitusi semen dengan *fly ash* sebesar 9%, *silica fume* sebesar 12,5% dan penambahan natrium glukonat sebesar 0,03% meningkatkan kuat tekan beton (28 hari) sebesar 14,6%, tetapi membutuhkan biaya campuran lebih besar 290,23% dari sampel kontrol (Dharsono, 2023). Mengacu pada penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan menghilangkan variabel *silica fume* untuk mengurangi biaya campuran pada beton. Penelitian dilakukan dengan desain faktorial 2^k .

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh campuran pada nilai *slump* beton segar, optimasi nilai kuat tekan beton maksimal dari campuran bahan beton, menghitung harga yang dibutuhkan dari campuran bahan yang mempunyai kuat tekan maksimal.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* tipe C, semen merek Semen Serang tipe *ordinary portland cement*, kerikil berupa batu pecah, pasir muntilan, air PDAM daerah Batang, natrium glukonat dengan kemurnian 99%.

Alat

Alat utama yang digunakan pada penelitian adalah kerucut Abrams, mesin uji kuat tekan beton merek Tatonas.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di kantor Mandala Bhumi dengan alamat Jalan Jendral Sudirman Nomor 88, Limpung. Bagian penelitian yang dilakukan pada kantor Mandala Bhumi adalah pembuatan beton, *slump test*, *curing* beton. Bagian penelitian uji kuat tekan beton dilakukan pada Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus Semarang.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

1) Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data dilakukan dengan pembuatan beton dengan mutu K 300 sesuai dengan komposisi SNI 7394:2008. Data yang didapat dari pembuatan beton yaitu uji *slump* dan uji kuat tekan beton. Data ini kemudian di optimasi menggunakan perangkat lunak *minitab* versi 21.

2) Analisis Data

Tahapan analisis dilakukan setelah mendapatkan data nilai *slump* dan nilai kuat tekan beton. Data penelitian kemudian dioptimasi menggunakan perangkat lunak *minitab* versi 21 untuk mendapatkan efek dari masing-masing variabel bebas dan interaksi antar variabel. Dari hasil optimasi kemudian dapat disimpulkan penggunaan masing-masing variabel yang menghasilkan nilai maksimum. Harga campuran/kg dihitung menggunakan persamaan:

$$s.x_1 + fa.x_2 + na.x_3 \quad (1)$$

dengan :

- s = harga semen/kg (Rp)
- fa = harga *fly ash*/kg (Rp)
- na = harga natrium glukonat/kg (Rp)
- x_1 = komposisi semen sampel
- x_2 = komposisi *fly ash*
- x_3 = komposisi natrium glukonat sampel

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian menggunakan desain faktorial 2^k dimana k adalah jumlah variabel yang digunakan. Maka penelitian mempunyai 8 sampel dengan pengulangan 2 kali tiap sampel sehingga sampel total

adalah 16 sampel ditambah 2 sampel kontrol menjadi 18 sampel percobaan. Rancangan penelitian faktorial 2³ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain penelitian faktorial 2³

Sampel	Fly ash (%)	Rasio air/semen	Natrium glukonat (NaG) (%)
1	9 (-)	0,47 (-)	0,02 (-)
2	15 (+)	0,47 (-)	0,02 (-)
3	9 (-)	0,42 (+)	0,02 (-)
4	15 (+)	0,42 (+)	0,02 (-)
5	9 (-)	0,47 (-)	0,03 (+)
6	15 (+)	0,47 (-)	0,03 (+)
7	9 (-)	0,42 (+)	0,03 (+)
8	15 (+)	0,42 (+)	0,03 (+)

Komposisi beton penelitian dilakukan sesuai dengan SNI 7394:2008 dengan mutu K 300. Komposisi beton penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

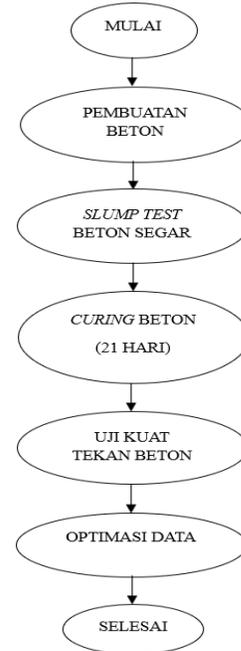
Tabel 2. Komposisi beton penelitian

Sampel	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Air (L)	Natrium Glukonat (kg)	Pasir (kg)	Split (kg)
Kontrol	1	-	0,52	-	1,65	2,47
1	0,91	0,09	0,47	0,0002	1,65	2,47
2	0,85	0,15	0,47	0,0002	1,65	2,47
3	0,91	0,09	0,42	0,0002	1,65	2,47
4	0,85	0,15	0,42	0,0002	1,65	2,47
5	0,91	0,09	0,47	0,0003	1,65	2,47
6	0,85	0,15	0,47	0,0003	1,65	2,47
7	0,91	0,09	0,42	0,0003	1,65	2,47
8	0,85	0,15	0,42	0,0003	1,65	2,47

Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan pembuatan beton dengan mencampur bahan beton sesuai dengan komposisi beton penelitian. Setelah dicampur, dilakukan *slump test* untuk mendapatkan nilai *slump*. Setelah *slump test*, beton di-*curing* selama 21 hari dengan cara direndam dalam bak

berisi air. Setelah 21 hari, beton diambil dari bak air dan dikeringkan. Setelah umur beton 28 hari, dilakukan uji kuat tekan beton pada sampel beton untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton. Setelah didapat nilai *slump* dan nilai kuat tekan beton, maka hasil penelitian dioptimasi dengan perangkat lunak *minitab*. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



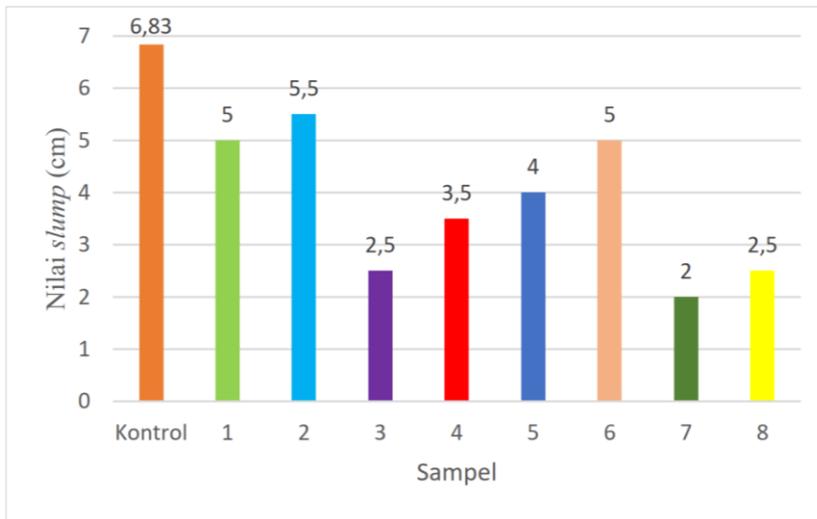
Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil nilai *slump* dan nilai kuat tekan beton dioptimasi dengan perangkat lunak *minitab*. Setelah didapat hasil optimasi lalu dilakukan analisa dan pembahasan data optimasi yang didapat.

Slump Test

Penelitian dimulai dari pembuatan beton lalu dilakukan *slump test*. Nilai *slump* dapat dilihat pada Gambar 2.

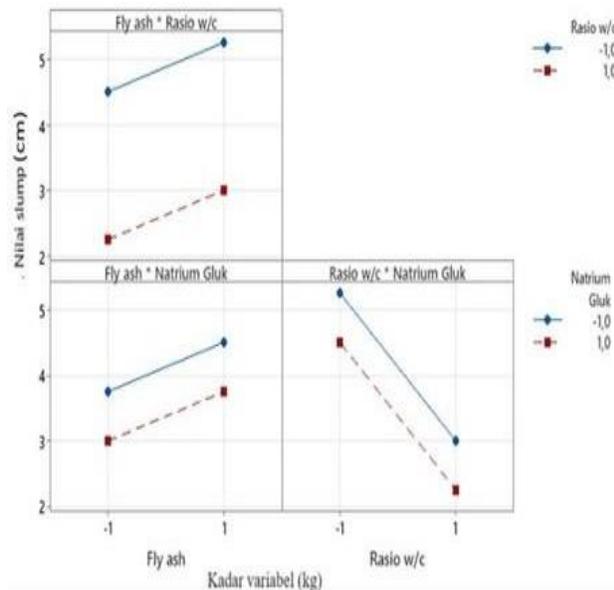


Kontrol = 1 semen
 Sampel 1 = 0,91 semen: 0,09 fly ash: 0,47 w/c: 0,0002 NaG
 Sampel 2 = 0,85 semen: 0,15 fly ash: 0,47 w/c: 0,0002 NaG
 Sampel 3 = 0,91 semen: 0,09 fly ash: 0,42 w/c: 0,0002 NaG
 Sampel 4 = 0,85 semen: 0,15 fly ash: 0,42 w/c: 0,0002 NaG
 Sampel 5 = 0,91 semen: 0,09 fly ash: 0,47 w/c: 0,0003 NaG
 Sampel 6 = 0,85 semen: 0,15 fly ash: 0,47 w/c: 0,0003 NaG
 Sampel 7 = 0,91 semen: 0,09 fly ash: 0,42 w/c: 0,0003 NaG
 Sampel 8 = 0,85 semen: 0,15 fly ash: 0,42 w/c: 0,0003 NaG

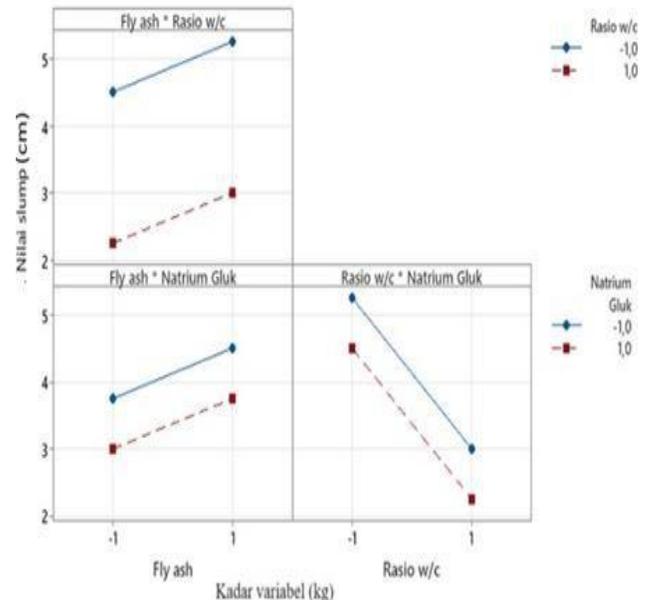
Gambar 2. Hasil slump test

Hasil nilai slump terkecil terdapat pada sampel 7 yaitu 2,0 cm. Nilai slump terbesar pada sampel 2 yaitu 5,5 cm. Nilai slump yang kecil menunjukkan bahwa kemampuan alir beton kecil dan sebaliknya.

Dari perangkat lunak *minitab* versi 21 didapatkan hasil yaitu efek utama dan interaksi antar faktor dari penggunaan fly ash, rasio air/semen, dan natrium glukonat pada slump test, hasil *minitab* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Efek fly ash, rasio w/c, dan natrium glukonat pada slump test



Gambar 4. Interaksi fly ash, rasio w/c, dan natrium glukonat pada slump test

Dari Gambar 3, jika fly ash ditambahkan lebih banyak maka akan meningkatkan nilai slump pada slump test. Fly ash yang digunakan dalam jumlah banyak dimana partikelnya bulat dan halus dapat mengurangi gesekan antar partikel dan meningkatkan kemampuan kerja dan fluiditas beton. Fly ash membuat beton segar menjadi lebih plastis dan rekat (Nicken, 2014). Jika rasio w/c dikurangi akan memperkecil nilai slump. Semakin tinggi pengurangan rasio air/semen, maka campuran yang dihasilkan akan lebih kental karena air berpengaruh pada kemampuan alir beton, semakin tinggi penggunaan air maka nilai slump akan makin tinggi. Tetapi penggunaan air yang berlebihan akan berpengaruh pada karakteristik kuat tekan beton (Rahman, 2017). Penambahan natrium glukonat akan menurunkan nilai slump. Natrium glukonat

bertindak sebagai penghambat karena mengentalkan campuran beton. Artinya, seiring dengan peningkatan kadar natrium glukonat maka campuran beton akan mengental karena natrium glukonat memperlambat ikatan semen dan air (Mukti, 2022).

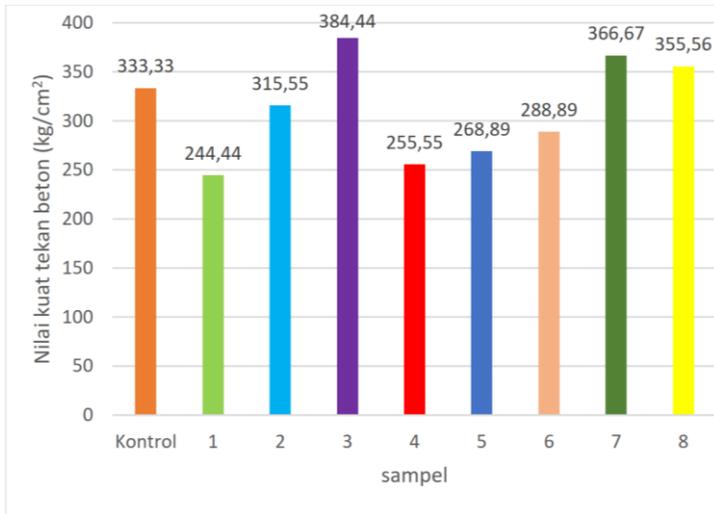
Pada Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa menurunkan penggunaan *fly ash* cenderung akan mengurangi nilai *slump* dan sebaliknya. Meningkatkan rasio air/semen cenderung menurunkan nilai *slump* dan sebaliknya. Meningkatkan kadar natrium glukonat cenderung menurunkan nilai *slump* dan sebaliknya.

Kuat Tekan Beton

Setelah umur beton berumur 28 hari maka dilakukan uji kuat tekan beton. Hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5.

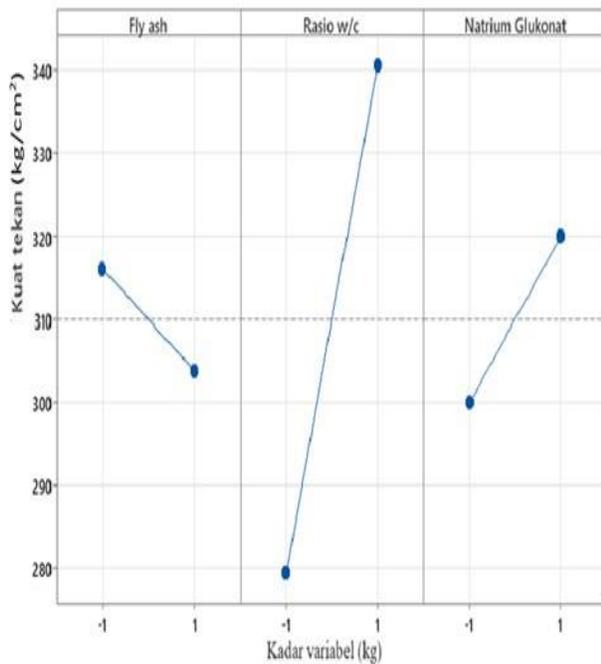
Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sampel 3 mengalami kenaikan kuat tekan beton paling besar yaitu 384,44 kg/cm². Sampel 3 mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 15,33% dari sampel kontrol. Komposisi beton pada sampel 3 adalah 0,91 semen, 0,09 *fly ash*, 0,42 rasio w/c, 0,0002 natrium glukonat. Penurunan kuat tekan beton yang terbesar terdapat pada sampel 1 yaitu 244,44 kg/cm². Komposisi beton pada sampel 1 adalah 0,91 semen, 0,09 *fly ash*, 0,47 rasio w/c, 0,0002 natrium glukonat. Sampel 2 mengalami penurunan kuat tekan sebesar 26,67% dari sampel kontrol.

Optimasi dengan perangkat lunak *minitab* didapatkan hasil yaitu efek utama dan interaksi dari penggunaan *fly ash*, rasio w/c, dan natrium glukonat pada kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

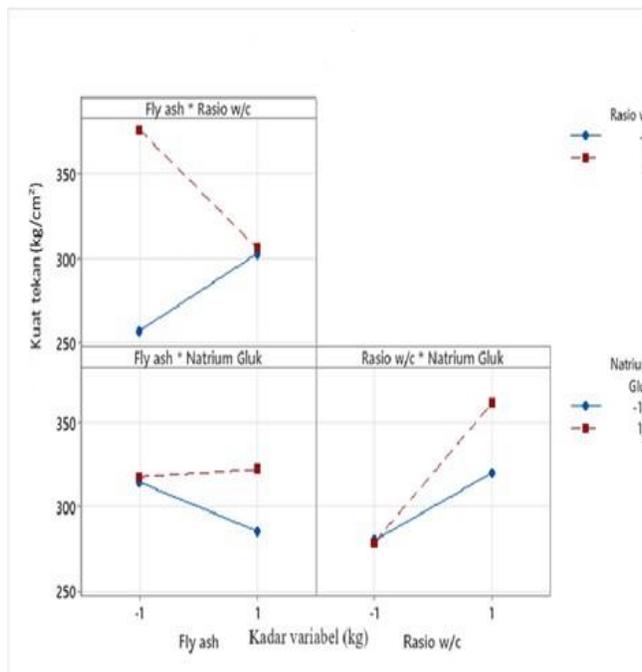


- Kontrol = 1 semen
- Sampel 1 = 0,91 semen: 0,09 *fly ash*: 0,47 w/c: 0,0002 NaG
- Sampel 2 = 0,85 semen: 0,15 *fly ash*: 0,47 w/c: 0,0002 NaG
- Sampel 3 = 0,91 semen: 0,09 *fly ash*: 0,42 w/c: 0,0002 NaG
- Sampel 4 = 0,85 semen: 0,15 *fly ash*: 0,42 w/c: 0,0002 NaG
- Sampel 5 = 0,91 semen: 0,09 *fly ash*: 0,47 w/c: 0,0003 NaG
- Sampel 6 = 0,85 semen: 0,15 *fly ash*: 0,47 w/c: 0,0003 NaG
- Sampel 7 = 0,91 semen: 0,09 *fly ash*: 0,42 w/c: 0,0003 NaG
- Sampel 8 = 0,85 semen: 0,15 *fly ash*: 0,42 w/c: 0,0003 NaG

Gambar 5. Hasil uji kuat tekan beton



Gambar 6. Efek *fly ash*, rasio *w/c*, dan natrium glukonat pada kuat tekan beton



Gambar 7. Interaksi *fly ash*, rasio *w/c*, dan natrium glukonat pada kuat tekan beton

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa memperbesar penggantian komposisi semen dengan *fly ash* akan menurunkan kuat tekan beton. Penambahan *fly ash* tipe C pada campuran mengurangi kuat tekan beton karena banyak senyawa yang mengendap, dimana *fly ash* tipe C ini mempunyai kandungan Fe_2O_3 sebesar 5% dan

Al_2O_3 sebesar 25% (Descher, 2014). Mengurangi rasio *w/c* akan meningkatkan kuat tekan beton. Jumlah air yang berlebihan dalam adukan beton dapat membuat beton menjadi lebih sensitif terhadap retakan dan pecah yang mengurangi kuat tekan beton, sehingga rasio *w/c* yang digunakan harus sesuai dengan kegunaan beton di lapangan (Rahman, 2017).

Memperbesar kadar natrium glukonat pada campuran beton akan meningkatkan kuat tekan beton. Natrium glukonat dengan kandungan 0,03% berperan sebagai katalis dalam reaksi semen dan membentuk senyawa *ettringit* dan bila kadar natrium glukonat lebih dari 0,1% akan memperlama waktu pengikatan (Suhua, 2015).

Untuk perbandingan harga sendiri yaitu semen *ordinary portland cement* (OPC) Rp60.000/40 kg yang berarti untuk 1 kg semen OPC yaitu Rp1.500. Harga per kg semen OPC dibandingkan dengan sampel 3 yang mempunyai kenaikan kuat tekan beton terbesar dengan komposisi 0,91 semen, 0,09 *fly ash*, 0,42 rasio *w/c*, 0,0002 natrium glukonat. Sehingga untuk harga per kg dari campuran sampel 3 dihitung dengan Persamaan 1.

Komposisi dan harga pada sampel 3 menggunakan Persamaan 1 maka didapat harga campuran/kg = $(60.000 \times 0,91/40) + (10.000 \times 0,09/20) + (20.000 \times 0,0002) = Rp1.414/kg$. Harga per kg dari sampel 3 adalah Rp1.414, sedangkan harga semen OPC per kg adalah Rp1.500. Sampel 3 mempunyai harga lebih murah 5,73% dari harga semen *ordinary portland cement* per kg.

Dari hasil penelitian kuat tekan beton dapat disimpulkan bahwa sampel 3 mengalami peningkatan kuat tekan beton sebesar 15,33% dari sampel kontrol dan sampel 3 membutuhkan biaya campuran antara semen, *fly ash*, dan natrium glukonat per kg yaitu Rp1.414, lebih kecil 5,73% dari harga semen per kg pada sampel kontrol.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu memperbesar kadar *fly ash*, rasio air/semen meningkatkan kemampuan alir beton dan meningkatkan kadar natrium glukonat mengurangi kemampuan alir beton. Beton pada penelitian cocok digunakan untuk pengerasan jalan karena mempunyai nilai *slump* yang kecil. Hasil dari optimasi kuat tekan beton didapatkan bahwa sampel 3 (0,91 semen : 0,09 *fly ash* : 0,42 rasio *w/c* : 0,0002 natrium glukonat) mempunyai kuat tekan beton paling besar yaitu 384,44 kg/cm^2 . Sampel 3 mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 15,33% dari sampel kontrol dengan kuat tekan 333,33 kg/cm^2 . Biaya yang dibutuhkan sampel 3 dengan kuat tekan beton paling tinggi membutuhkan biaya campuran antara semen, *fly ash*, dan natrium glukonat per kg yaitu Rp1.414, lebih kecil 5,73% dari harga semen per kg pada sampel kontrol yaitu Rp.1500.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada CV Karya Bangun Pratama yang telah memberikan biaya penelitian dan kesempatan untuk melakukan penelitian kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahman, Crisna Djaja Mungkok, Asep Supriyadi. (2017). Pengaruh Variasi Pengurangan Air dalam Campuran Beton Fc' 25 Mpa pada Pembuatan Beton Scc dengan Penambahan 1% Sikament LN. Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang. Universitas Tanjungpura Kalimantan Barat. Vol.4, 4.
- Acosta D. (2009). Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor. Jurnal Teknik Kimia. Vol 3 : Pp 67-75.
- Akhmad Zaki, Triastuti Wuryandari, dkk. (2014). Analisis Varian Percobaan Faktorial Dua Faktor Rakl dengan Metode *Fixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction*. Jurnal Gaussian Universitas Diponegoro Semarang. Vol.3.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). Spesifikasi *Fly Ash* Sebagai Bahan Untuk Agregat Ataupun Campuran Beton. SNI 03-6863-2002 (2002:146). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Tata Cara Pembuatan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan. SNI 7394:2008. Jakarta.
- Descher. (2014). Reaction of Siliceous Fly Ash in Blended Portland Cement Pastes and Its Effect on The Chemistry of Hydrate Phases and Pore Solution. Der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Vol.74, 116-125.
- Fuji Wibowo Mukti, Vitta Pratiwi, Sutedjo Krisnadi. (2022). Pengaruh Penambahan *Sodium Gluconate* Terhadap Waktu Pengikatan, Keleccakan dan Kuat Tekan Beton Mutu 20 Mpa. Civil Engineering Research Journal Universtias Komputer Indonesia. Vol.3
- H.J.H. Brouwers, R.J. Van Eijk. (2003). *Chemical Reaction of Fly Ash*. Civil Engineering Journal University of Twente Netherlands. Vol.14, 2-5.
- McCormac, Jack C. (2004). Desain Beton Bertulang, Edisi Kelima. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Nicken Anggini, Stefanus Kurniawan, dkk. (2014). Pengaruh Rasio Semen - Fly Ash terhadap Sifat Segar dan Kuat Tekan High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta. Vol.2, 2.
- Nikolaus Dharmawan Dharsono. (2023). Optimalisasi Kuat Tekan Beton Menggunakan *Fly Ash, Silica Fume*, dan Natrium Glukonat. Skripsi. Semarang. Universitas 17 Agustus 1945 Semarang.
- Lv Xingdong, Li Jiazheng, Lu Chao, et.al. (2020). The Effect of Sodium Gluconate on Pastes Performance and Hydration Behavior of Ordinary Portland Cement. Materials Science and Engineering Journal. Vol. 2020, 9.
- Sidney M. Levy. (2012). Construction Calculations Manual. Butterworth-Heinemann. Pages 211-264.
- Suhua Ma, Weifeng Li, et al. (2015). Influence of Sodium Gluconate on the Performance and Hydration of Portland Cement. Construction and Building Material. Nanjing Tech University China. Vol.91, 138-144.