

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH*, LIMBAH KACA DAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON NORMAL

Nuzul Siti Maghfirroh; Budi Setiawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Kebutuhan beton dalam berbagai pembangunan dalam bidang teknik sipil semakin meningkat dengan pesat. Beton banyak digunakan karena mudah ditemuinya bahan penyusun beton, selain itu beton juga memiliki kekuatan yang baik. Bahan tambah beton yang digunakan saat ini semakin bervariasi, untuk mendapatkan kualitas beton lebih baik dengan biaya lebih ekonomis. Salah satunya substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* dan substitusi agregat halus menggunakan limbah kaca, serta inovasi dengan menambahkan *superplasticizer* untuk meningkatkan kualitas beton menjadi optimum. Metode eksperimental yang digunakan dengan menggunakan variasi *fly ash* 7,5%, dan 15% dari total berat semen, variasi limbah pecahan kaca 10% dari berat agregat halus, dan penambahan *superplasticizer* sebanyak 0,5%. Jumlah pembuatan benda uji sebanyak 28 sampel, dengan ukuran silinder 15 x 30 cm dan 10 x 20 cm. Direncanakan memiliki umur 14 dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan nilai tertinggi ada di sampel BNKFS 2 dengan variasi 15% *fly ash*, 10% limbah kaca, dan 0,5% *superplasticizer* sebesar 30,20 MPa di beton 14 hari dan 35,20 MPa di beton 28 hari. Nilai modulus tertinggi terdapat di sampel BNKFS 2 sebesar 28963 MPa pada beton 14 hari dan 30576 MPa pada beton 28 hari. selain itu, nilai absorpsi terendah dengan nilai sebesar 2,64% juga terdapat pada sampel BNKFS 2. Hasil dari pengujian tersebut, nilai modulus elastisitas dan kuat tekan meningkat ketika menggunakan variasi 15% *fly ash*, 10% limbah kaca, dan 0,5% *superplasticizer*. selain itu, juga dapat menurunkan nilai penyerapan air dari beton.

Kata kunci: Absorpsi, Beton, Fly Ash, Kuat Tekan, Limbah Kaca, Modulus Elastisitas, Superplasticizer.

Abstrack

The need for concrete in various developments in the field of civil engineering is increasing rapidly. Concrete is widely used because it is easy to find the ingredients that make up concrete, besides that concrete also has good strength. The concrete additives used today are increasingly varied, to obtain better quality concrete at more economical costs. One of them is cement substitution using fly ash and fine aggregate substitution using glass waste, as well as innovation by adding superplasticizer to improve concrete quality to optimum. The experimental method used was a variation of fly ash of 7.5% and 15% of the total weight of cement, a variation of broken glass waste of 10% of the weight of fine aggregate, and the addition of 0.5% superplasticizer. The total number of test objects made was 28 samples, with cylinder sizes of 15 x 30 cm and 10 x 20 cm. It is planned to have a lifespan of 14 and 28 days. The highest value of the compressive strength test results was in the BNKFS 2 sample with variations of 15% fly ash, 10% glass waste, and 0.5% superplasticizer of 30.20 MPa in 14 day concrete and 35.20 MPa in 28 day concrete. The highest modulus value was found in the BNKFS 2 sample, namely 28963 MPa in 14 day concrete and 30576 MPa in 28 day concrete. Apart from that, the lowest absorption value with a value of 2.64% was also found in the BNKFS 2 sample.

The results of this test showed that the elastic modulus and compressive strength values increased when using variations of 15% fly ash, 10% glass waste, and 0.5% superplasticizer. Apart from that, it can also reduce the water absorption value of concrete.

Key words: Absorption, Concrete, Compressive Strength, Fly Ash, Glass Waste, Modulus of Elasticity, Superplasticizer.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan beton dalam berbagai pembangunan dalam bidang teknik sipil semakin berkembang dengan pesat. Pembangunan gedung, jalan, dan bidang struktural lainnya saat ini memiliki perkembangan yang cukup tinggi. Beton banyak digunakan karena mudah ditemuinya bahan penyusun beton, selain itu beton juga memiliki kekuatan yang baik. Dari hal tersebut beton banyak di pilihan sebagai penyusun struktur dalam dunia konstruksi.

Berdasarkan faktor efektifitas dan nilai efisiensinya beton banyak digunakan sebagai bahan konstruksi. Bahan tambah untuk beton dibuat dari bahan yang mudah didapat, digunakan, serta memiliki kekuatannya diperlukan dalam struktur. Dari sifat yang dimiliki beton menjadikan beton sebagai bahan alternatif untuk diteliti baik metode pelaksanaan maupun bentuk fisiknya.

Kualitas dan proporsi bahan yang digunakan juga dapat mempengaruhi kualitas beton, kualitas agregat (dari nilai berat jenis, modulus kehalusan dan porositas), kualitas semen, air, proporsi campuran, faktor air semen, cara pengadukan maupun cara pengerjaan dalam proses pembuatan adukan beton, proses pemadatan serta proses perawatan selama proses pengerasan (Tjokrodimuljo, 1996).

Beton normal merupakan beton yang mengandung agregat yang berasal dari agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah, sehingga memiliki berat jenis di udara antara 2100 - 2550 kg/m³ menurut ACI. Beton mutu normal adalah beton yang mempunyai kuat tekan 15 - 30 MPa (Tjokrodimuljo, 2010). Beton normal umumnya digunakan pada konstruksi sederhana seperti rumah tinggal dan bangunan yang relatif tidak tinggi. Kualitas yang baik dalam beton ini dapat dilihat pada kemampuan beton menahan kuat tekan yang diberikan. Kuat tekan beton dapat bervariasi tergantung pada campuran beton, proporsi agregat, perbandingan air dengan campuran semen dan proses pengerasannya.

Bahan tambah beton yang digunakan saat ini semakin bervariasi, untuk mendapatkan kualitas beton yang optimum dengan biaya yang lebih ekonomis. Salah satunya dengan cara pemanfaatan limbah sebagai bahan substitusi yang dapat menggantikan sebagian material

beton. Seperti penggunaan *fly ash* yang dapat menjadi inovasi dalam pembuatan beton. *Fly ash* menjadi alternatif untuk bahan pengganti semen dalam pembuatan beton.

Selain itu, limbah kaca yang dihancurkan menjadi pecahan kaca dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus. Limbah kaca pada saat ini semakin banyak keberadaannya karena banyak kegiatan di masyarakat yang menggunakan kaca. Sebagian besar limbah kaca langsung dibuang ke lahan terbuka, hal ini dapat mencemari lingkungan mengingat kaca merupakan material yang tidak dapat di daur ulang secara alami oleh alam.

Melalui penelitian ini bermaksud untuk memanfaatkan bahan limbah *fly ash* dan limbah kaca yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dan agregat halus. Dibuat inovasi dengan menambahkan *superplasticizer* pada pembuatan beton normal. *Superplasticizer* merupakan salah satu bahan tambah beton yang memiliki fungsi untuk meningkatkan dan memperbaiki kualitas beton dengan mengurangi kadar air semen pada beton. Dengan menambahkan *superplasticizer* pada pembuatan beton peneliti berharap dapat mendapatkan kualitas beton yang paling optimum dan lebih baik dari rencana. Selain itu, dengan adanya variasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas beton serta dapat menurunkan nilai daya serap air pada beton.

2. METODE

Metode eksperimental adalah metode yang digunakan pada penelitian ini. Metode eksperimental dilakukan untuk memperoleh proporsi terbaik dari suatu hal yang sedang diteliti, dengan mengembangkan penelitian yang sudah pernah dilaksanakan sebelumnya. Dalam pelaksanaan penelitian pembuatan beton dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton. Tahapan dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 tahapan penelitian, yang terdiri dari tahap menyiapkan alat dan bahan, pengujian bahan, perencanaan, pembuatan dan perawatan beton, tahap pengujian beton dan yang terakhir tahap analisis data dan kesimpulan.

Sebelum digunakan untuk campuran adukan beton agregat harus dilakukan uji fisis agar dapat diketahui kualitas agregat. Pengujian agregat halus yang dilakukan meliputi pengujian kandungan bahan organik, pengujian *saturated surface dry*, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian kandungan lumpur serta pengujian analisa saringan agregat halus. Pengujian agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian keausan, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar serta pengujian analisa saringan agregat kasar. Selain itu, untuk semen dan *fly ash* dilakukan pengujian kehalusan dan ikatan awal semen.

Perencanaan campuran adukan beton pada penelitian ini menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI) dengan *trial error* yang sudah dilakukan. Perencanaan campuran adukan beton ini dilakukan untuk kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Pada penelitian ini dilakukan untuk penelitian beton dengan variasi *fly ash* 7,5%, dan 15% dari total berat semen, selain itu terdapat juga penggunaan variasi limbah pecahan kaca 10% dari total berat agregat halus yang digunakan, serta penambahan *superplasticizer* sebanyak 0,5%. Dengan jenis sampel yang digunakan adalah BN (beton normal), BNS (beton normal dengan *superplasticizer* 0,5%), BNKFS 1 (beton normal dengan limbah kaca 10%, *fly ash* 7,5% dan *superplasticizer* 0,5%), BNKFS 2 (beton normal dengan limbah kaca 10%, *fly ash* 15% dan *superplasticizer* 0,5%). Untuk rekapitulasi hasil perencanaan kebutuhan bahan adukan beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Bahan Campuran Adukan Beton

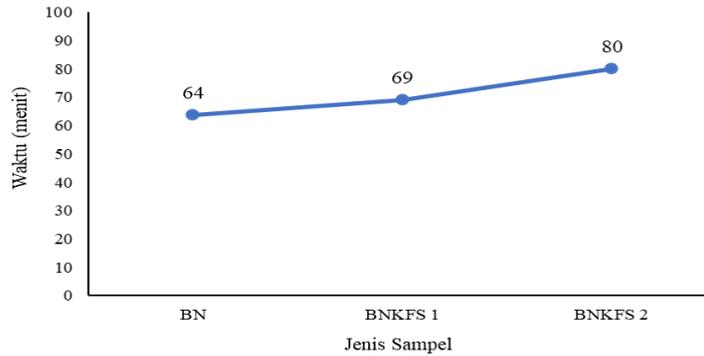
Bahan		Jenis Sampel			
		BN	BNS	BNKFS 1	BNKFS 2
Semen	kg	18.05	18.05	16.70	15.35
Agregat Halus	kg	28.76	28.76	25.89	25.89
Agregat Kasar	kg	47.00	47.00	47.00	47.00
Air	liter	7.22	7.22	7.22	7.22
<i>Fly Ash</i>	kg	0.00	0.00	1.35	2.71
Kaca	kg	0.00	0.00	2.88	2.88
<i>Superplasticizer</i>	liter	0.00	0.09	0.09	0.09

Pembuatan sampel beton terdiri dari 24 benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Selain itu, terdapat 4 sampel benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 10 cm x 20 cm untuk pengujian absorpsi. Setelah pembuatan sampel benda uji akan dilaksanakan proses curing selama 14 dan 28 hari. Setelah proses curing akan dilakukan pengujian beton keras.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Ikatan Awal Semen

Pengujian ikatan awal semen dilakukan dengan alat vicad apparatus untuk mengetahui waktu ikat awal semen yang terjadi saat penurunan 25 mm. Pengujian ini dilakukan tiga kali dengan variasi substitusi fly ash 0%, 7,5% dan fly ash 15%. Hasil pengujian ikatan awal semen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pengujian Ikatan Awal Semen

Berdasarkan Gambar 1. didapatkan hasil bahwa waktu ikat awal semen saat terjadi penurunan 25 mm pada sampel BN (*fly ash* 0%), sampel BNKFS 1 (*fly ash* 7,5%), dan sampel BNKFS 2 (*fly ash* 15%) melebihi 45 menit. Berdasarkan SNI 15-2049- 2004, waktu ikat awal semen yang baik adalah lebih dari 45 menit. Maka, dari hasil dan syarat tersebut dapat disimpulkan bahwa semen dan variasi substitusi *fly ash* dapat digunakan sebagai campuran adukan beton.

3.2 Pengujian *Slump Test*

Pengujian *slump test* dilakukan dengan tujuan untuk melihat homogenitas dan *workability* pada adukan beton segar sebelum dimasukkan dalam cetakan beton (bekisting). Pada penelitian ini direncanakan *slump test* berdasarkan spesifikasi persyaratan kardiyono tjokrodimuljo (2007), dalam penggunaan pelat, balok, kolom, dan dinding, yaitu 75 – 150 mm. Hasil pengujian *slump test* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Slump Test*

Benda Uji	Penurunan 1 (mm)	Penurunan 2 (mm)	Penurunan 3 (mm)	Rata-rata (mm)
BN	80	81	80	80
BNS	84	85	86	85
BNKFS 1	89	90	90	90
BNKFS 2	99	100	100	100

Berdasarkan hasil pengujian *slump test* dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penggunaan substitusi *fly ash* pada semen dan substitusi limbah kaca pada agregat halus pada campuran adukan beton, maka nilai *slump* yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal itu dibuktikan pada nilai BN dan BNS yang di dalam campuran betonnya tidak menggunakan substitusi *fly ash* dan limbah kaca. Adukan beton yang tidak menggunakan substitusi *fly ash* dan limbah kaca memiliki nilai *slump* terendah dibanding adukan beton dengan variasi *fly ash* dan limbah kaca.

3.3 Pengujian Berat Isi Beton

Pengujian berat isi beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian ini dilakukan pada saat umur beton 14 dan 28 hari. Hasil pengujian berat isi beton dapat dilihat pada Tabel 3.

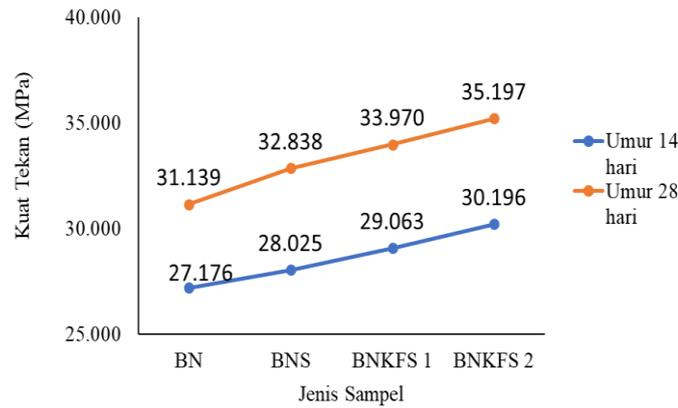
Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Jenis Sampel	Umur Beton (hari)	Volume Beton (m ³)	Berat Beton (kg)				Berat Isi Beton (kg/m ³)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rerata	
BN	14	0.0053	12.140	12.150	12.160	12.150	2292.5
	28		12.170	12.180	12.210	12.187	2299.4
BNS	14		12.210	12.220	12.225	12.218	2305.3
	28		12.250	12.210	12.300	12.253	2311.9
BNKFS 1	14		12.120	12.080	12.130	12.110	2284.9
	28		12.135	12.125	12.155	12.138	2290.3
BNKFS 2	14		12.100	12.050	12.070	12.073	2278.0
	28		12.110	12.060	12.100	12.090	2281.1

Hasil dari pengujian berat isi beton, didapatkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dapat membuat berat isi beton menjadi lebih rendah dari pada berat isi beton tanpa penggunaan substitusi *fly ash*. Selain itu, penggunaan campuran pecahan kaca sebagai substitusi pasir, kaca yang digunakan lolos saringan no.4. Penggunaan serbuk kaca dapat menyebabkan berat isi beton menjadi lebih rendah. Hal ini dikarenakan berat jenis yang terdapat pada serbuk kaca lebih ringan dibandingkan berat jenis pasir (Sudjati dkk., 2014).

3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji tersebut memiliki umur beton 14 dan 28 hari. Pengujian ini memiliki kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2.

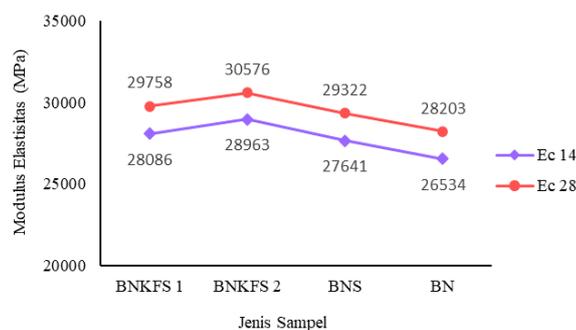


Gambar 2. Nilai Rata-Rata Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan tersebut, dapat dilihat jika penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah kaca dapat meningkatkan nilai kuat tekan dari beton normal biasa seperti yang diharapkan. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi bertujuan untuk mendapatkan struktur beton dengan tingkat kepadatan yang tinggi, semakin banyak penggunaan *fly ash* juga dapat berpotensi untuk menghasilkan beton yang lebih padat serta mendapatkan mutu beton yang lebih tinggi. Penggunaan limbah kaca juga dapat meningkatkan kuat tekan, karena kaca sebagai filler dapat membantu untuk menekan air yang masuk pada adukan beton. Serta penambahan *superplasticizer* yang berperan untuk meningkatkan serta memperbaiki kualitas beton yang dihasilkan.

3.5 Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Pengujian modulus elastisitas menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan umur beton 14 dan 28 hari. Pengujian ini juga menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Perhitungan modulus elastisitas menggunakan standar ASTM C-469-94 dengan mempertimbangkan nilai tegangan dan regangan. Hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Rata-Rata Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan limbah kaca sebagai bahan substitusi pada campuran adukan beton dapat meningkatkan nilai rata-rata modulus elastisitas. Penggunaan *fly ash* yang memiliki sifat pozzolan yang dapat membuat beton memiliki kepadatan yang tinggi, dari semakin padat beton maka akan semakin baik juga mutu betonnya. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai kuat tekan paling tinggi terdapat pada variasi beton dengan substitusi *fly ash* sebanyak 15%. Penggunaan limbah kaca dalam campuran beton juga dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas karena kaca mampu menahan air yang masuk pada beton sehingga kekuatan beton ikut terkontrol serta kaca juga dapat menjadi filler untuk mengisi rongga-rongga pada beton. Selain itu, penggunaan *superplasticizer* juga dapat ikut membantu meningkatkan dan memperbaiki kualitas beton.

3.6 Pengujian Absorpsi (Daya Serap Air)

Pengujian absorpsi pada beton dilakukan untuk mengetahui kadar penyerapan air pada benda uji. Pengujian absorpsi menggunakan benda uji silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian ini dilakukan pada benda uji dengan umur beton 28 hari. Pada pengujian ini menggunakan masing-masing 1 benda uji dari tiap jenis sampel. Data hasil pengujian absorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Absorpsi

Jenis Sampel	Berat Jenuh Permukaan (gram)	Berat Kering Oven (gram)	Nilai Absorpsi (%)
BNKFS 1	3593	3495	2.80
BNKFS 2	3542	3451	2.64
BNS	3635	3528	3.03
BN	3602	3489	3.24

Berdasarkan Tabel 4, didapatkan hasil jika nilai absorpsi tertinggi terjadi pada sampel BN sebesar 3,24% dan seiring dengan penambahan *fly ash* dan kaca sebagai bahan substitusi, nilai absorpsi beton semakin menurun. Hal ini disebabkan *fly ash* yang berpotensi menghasilkan beton menjadi lebih padat dapat mengurangi adanya pori-pori pada beton. Limbah kaca dalam campuran beton juga dapat mengurangi penyerapan air karena kaca memiliki sifat yang tidak menyerap air serta kaca juga dapat menjadi *filler* untuk mengisi rongga-rongga pada beton. Serta penggunaan *superplasticizer* membantu *fly ash* dan limbah kaca untuk meningkatkan dan memperbaiki kualitas beton.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah kaca serta tambahan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat tekan beton.
2. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah kaca serta tambahan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan pada BNKFS 2 di umur 14 hari sebesar 11,1% dan pada 28 hari sebesar 13%. Pada BNKFS 1 di umur 14 hari peningkatan sebesar 6,94% dan di umur 28 hari sebesar 9,09%. Pada BNS juga mengalami kenaikan namun tidak terlalu signifikan, pada umur 14 hari peningkatan yang terjadi pada sampel BNS sebesar 3,12% dan di umur 28 hari sebesar 5,46%.
3. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah kaca serta tambahan *superplasticizer* mampu meningkatkan nilai modulus elastisitas beton. Peningkatan yang terjadi pada BNKFS 2 di umur 14 hari sebesar 9,15% dan pada 28 hari sebesar 8,41%. Pada BNKFS 1 di umur 14 hari peningkatan sebesar 5,78% dan di umur 28 hari sebesar 4,87%. Pada BNS juga mengalami kenaikan namun tidak terlalu signifikan, pada umur 14 hari peningkatan yang terjadi pada sampel BNS sebesar 4,17% dan di umur 28 hari sebesar 5,46%.
4. Penggunaan substitusi *fly ash* dan limbah kaca serta tambahan *superplasticizer* mampu menurunkan nilai daya serap air pada beton. Penurunan yang terjadi pada BNKFS 2 dari BN pada pengujian absorpsi cukup signifikan dengan nilai penurunan sebesar 0,6%. Pada BNKFS 1 penurunan sebesar 0,44%. Pada sampel BNS juga mengalami penurunan nilai absorpsi terhadap sampel BN namun tidak terlalu signifikan, dengan nilai penurunan sebesar 0,21%.

4.2 Saran

1. Pembuatan sampel dengan variasi secara sendiri-sendiri untuk mengetahui lebih lanjut bagaimana pengaruh substitusi *fly ash* dan limbah kaca tersebut terhadap beton.
2. Penggunaan limbah kaca yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, yaitu lolos saringan no.4 (4,75 mm) atau setara dengan spesifikasi yang digunakan untuk pasir.
3. Proses pengujian harus benar-benar diperhatikan dengan detail karena akan mempengaruhi hasil pengujian, terutama pada dial gauge yang terdapat pada alat pengujian modulus elastisitas sehingga mendapatkan hasil pembacaan yang valid.
4. Penyebutan substitusi *fly ash* dan limbah kaca untuk mengganti volume, bukan berat karena menggunakan metode ACI.

5. Lingkup dari penelitian yang telah dilakukan mencakup sifat mekanis dengan tiga poin pengujian (kuat tekan, modulus elastisitas dan absorpsi). Masih diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat mekanis beton yang lainnya.

PERSANTUAN

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium yang telah memberikan bantuan dalam menjalankan seluruh proses penelitian, mulai dari awal hingga penelitian berhasil terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusri, E., & Erfanda, F. (2019). Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton K-300. (Universitas Muhammadiyah Palembang).
- Baktiar, A. A., & Lubis, Z. (2021). Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton Non Struktural. *Jurnal Teknik*(Universitas Islam Lamongan).
- Budi, A. S., Safitri, E., & Kuncoro, F. B. (2021). Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Dengan Bahan Pegganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, Dan 40% Terhadap Beton Normal. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Hernomo, S., & Firdaus. (2021). Pengaruh Penambahan Superplasticizer Untuk Kuat Tekan Pada Beton K350 Menggunakan Semen PCC. (Universitas Bina Darma Palembang).
- J Andilolo, Ambali, D. P., & M.L Paembonan. (2019). Karakterisasi Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Sifat Fisis - Mekanik Campuran Beton. *DynamicSainT*(Universitas Kristen Indonesia Toraja).
- Manganta, M., & Amir B, M. (2017). Pengaruh Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*(Politeknik Negeri Ujung Pandang).
- Muharram, M. F., & Walujodjati, E. (2021). Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Konstruksi*(Institut Teknologi Garut).
- Nugraha, P., Antoni, & Suyantoro, F. S. (2007). *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: CV Andi Offet.
- Nursyamsi, Indrawan, I., & Batako, I. P. (2016). Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Tambah Dalam Pembuatan Batako. (Universitas Sumatera Utara).
- Prasetyo, C. D., Sunarsih, E. S., & Sucipto, T. L. (2020). Kajian Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Pengganti Agregat Halus Dan Fly Ash 30% Dari Berat Semen Ditinjau Dari Kuat Tarik Belah, Daya Serap Dan Porositas Beton.
- Purnomo, H., & Hisyam, E. S. (2014). Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan Dan Kekuatan Tarik Belah. *Jurnal Fropil*(Universitas Bangka Belitung).
- SK-SNI-T-15-1990-03. (1990). *Tata Cara Pembuatan Struktur Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1974. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2460. (2014). *Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alammentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakandalam beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sudjati, J. J., Yuliyanti, T., & Rikardus. (2014). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Jurnal Teknik Sipil*(Universitas Atma Jaya Yogyakarta).

- Sudjati, J. J., Yuliyanti, T., & Rikardus. (2014). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Teknik Sipil*, 5.
- Syaka, D. R. (2013). *Pembuatan Beton Normal Dengan Fly Ash Menggunakan Mix Desain Yang Dimodifikasi*. Jember: Universitas Jember.

