



Pengaruh Bahan Tambah *Superplasticizer* pada Beton Porous Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah dan Permeabilitas

Danil Andriansyah¹, Eko Walujodjati²

Jurnal Konstruksi
Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹1811005@itg.ac.id
²eko.walujodjati@itg.ac.id

Abstrak – Beton porous merupakan salah satu inovasi teknologi beton berkelanjutan tanpa agregat halus dengan porositas tinggi. Beton porous ini dapat digunakan pada perkerasan jalan untuk menanggulangi air run-off, serta dapat diaplikasikan sebagai dinding penahan tanah yang berfungsi untuk meminimalisir tekanan air tanah. Penelitian ini bermaksud untuk mengkaji secara eksperimental sifat mekanis terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan permeabilitas beton porous dengan berbagai variasi faktor air semen. Agregat kasar yang digunakan batu pecah Cilopang berukuran 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm dan menggunakan bahan tambah superplasticizer. Sample yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat Tarik belah berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm. Berdasarkan hasil pengujian menurut ACI 522R-10 hasil pengujian beton porous bahwa beton porous normal dengan menggunakan bahan tambah superplasticizer nilai kuat tekan dan kuat tarik belah mengalami perubahan kenaikan nilai dari beton normal.

Kata Kunci – Beton Porous; Kuat Tekan; Kuat Tarik Belah; *Superplasticizer*.

I. PENDAHULUAN

Beton porous yang juga dikenal sebagai beton permeable atau berpori menjadi salah satu cara untuk menghindari air tergenang akibat betonisasi. Jika air yang jatuh ke permukaan langsung terserap tanah, maka tidak ada air yang tergenang, sehingga mengurangi resiko banjir. Beton porous yang dapat dilewati air karena berpori atau memiliki celah diantara agregat ini dapat mengganti fungsi beton konvensional yang pada umumnya tidak bisa atau sulit dilewati air, sehingga air hujan atau air yang jatuh ke beton porous dapat di alirkan ke lapisan tanah dibawah untuk diserap. Tidak hanya mengurangi ancaman banjir, beton porous juga dapat memfilter air sehingga mengurangi kontaminasi.

Beton merupakan campuran material-material pembentuk beton, yaitu: agregat halus, agregat kasar, semen, dan air dengan perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton sebagai salah satu bagian konstruksi yang penting, dimana pemakaiannya dan kegunaannya yang begitu luas dan umum. Beton merupakan bahan yang sangat bervariasi, kualitasnya dapat diperoleh dengan berbagai komposisi campuran dan tata cara pembuatannya. Kualitas beton juga sangat ditentukan dari tata cara perawatannya [1].

Namun kuat tekan beton porous lebih rendah dari beton normal, penggunaannya terbatas pada lalu lintas dengan kepadatan rendah seperti tempat parkir, trotar, jalur jogging, jalan kecil, jalan bevolume kecil, dan lain-lain. Beton yang dapat tembus pada umumnya tidak digunakan sebagai perkerasan dengan lalu lintas padat dan beban roda berat. Salah satu inovasi yang sedang dilakukan adalah beton non pasir. Beton non pasir merupakan jenis beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan agregat halus (pasir). Tidak adanya agregat halus dalam

campuran menghasilkan beton yang berpori sehingga beratnya menjadi berkurang [14]. Pengujian dari penelitian untuk mengetahui nilai kuat tekan, Tarik belah dan permeabilitas pada beton porous dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengertian Beton Porous

Beton merupakan campuran material-material pembentuk beton, yaitu: agregat halus, agregat kasar, semen, dan air dengan perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton sebagai salah satu bagian konstruksi yang penting, dimana pemakaiannya dan kegunaannya yang begitu luas dan umum. Beton merupakan bahan yang sangat bervariasi, kualitasnya dapat diperoleh dengan berbagai komposisi campuran dan tata cara pembuatannya. Kualitas beton juga sangat ditentukan dari tata cara perawatannya [1]. Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*) [2].

B. Bahan Pembentuk Beton

1. Agregat Agregat biasanya terbentuk dari kerak yang keras dan padat. ASTM mengartikan agregat sebagai zat yang tersusun dari mineral padat yang berupa potongan atau fragmen besar [3].
2. Semen Semen merupakan serbuk yang sangat halus yang digunakan sebagai perekat campuran agregat kasar (batuan) dan agregat halus (pasir) [3].
3. Air Air merupakan bahan yang digunakan dalam campuran agregat kasar, agregat halus dan semen sebagai pengikat satu sama lain [3].
4. *SikaCim Concrete Additive* merupakan bahan kimia berbentuk cairan dengan jenis *superplasticizer* yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan pada beton, dengan pengurangan air hingga 20% bertujuan untuk mempermudah pengecoran dan peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari.
5. Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Pasta semen yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relatif lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Air memiliki viskositas yang tinggi namun demikian dapat bergerak dan merupakan bagian aliran yang terjadi.

C. Pengujian Beton

1. Uji Berat Isi
Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui berapa nilai berat isi dan volume produksi campuran beton pada beton normal dan beton campuran *Superplasticizer* 19%, 12,5%, 9,5 umur 28 hari, mengacu pada SNI 1973:2008 [4].

Uji berat isi dapat dihitung dengan rumus :

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_n} \quad \dots(1)$$

Keterangan:

D = Berat isi beton (Kg/m³)

M_c = Berat silinder yang diisi beton (Kg)

M_m = Berat silinder (Kg)

V_n = Volume silinder (Kg)

2. Uji Kuat Tekan
Nilai kuat tekan beton dapat diketahui dengan melakukan pengujian pasca umur 14 dan 28 hari. Hitungan kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata [5].

Kuat tekan dapat dihitung dengan rumus :

a. Uji tekan

$$F_c' \text{ (MPa)} = \frac{P}{A} \quad \dots(2)$$

Dimana:

P = Gaya tekan aksial (N).

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

b. Kuat Tarik belah

$$F_{ct} = \frac{2P}{2D} \quad \dots(3)$$

F_{ct} = kuat tarik – belah dalam MPa

P = beban uji maksimum (beban belah / hancur) dalam newton (N) yang ditunjukkan mesin uji tekan

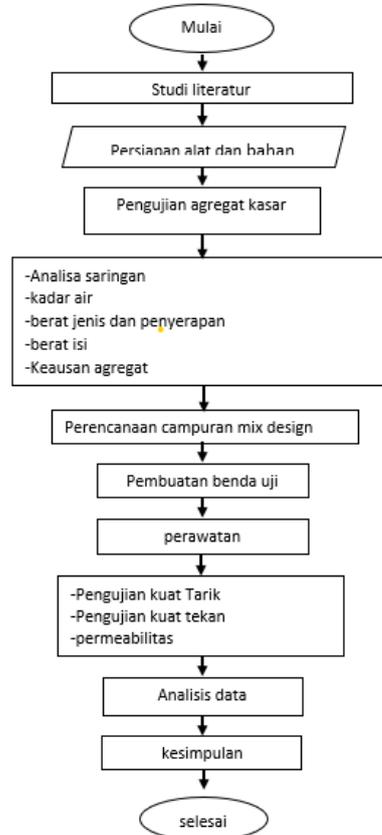
L = panjang benda uji dalam mm menurut sub pasal 5.3

D = diameter benda uji dalam mm menurut sus pasal 5.3

D. Metode Penelitian

1. Bagan Alir Penelitian

Supaya mendapatkan hasil yang rasional dan dapat dipertanggung-jawabkan, maka dalam suatu penelitian diharuskan adanya suatu langkah kerja yang runtun dan teratur. Langkah kerja tersebut disebut pula dengan metode penelitian. Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode alternatif yang dapat dilakukan. Bahan campur beton terdiri dari semen, agregat kasar dan air, kemudian dilakukan proses pencampuran beton.



Gambar 1: Bagan Alir Penelitian

2. Tempat Penelitian
Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Garut untuk melakukan beberapa pengujian, seperti pengujian mutu bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian kuat tekan beton.
3. Rancangan Penelitian
Dilakukan pengujian bahan terhadap agregat halus berupa pemeriksaan berat jenis, berat volume, kadar air dan analisa saringan. Untuk agregat kasar dilakukan pemeriksaan berat jenis, berat volume, analisa saringan, kadar air dan keausan menggunakan mesin Loss Angeles. Kemudian selanjutnya dilaksanakan pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini dibuat 18 sampel beton dengan bentuk silinder berukuran tinggi 300 mm dan diameternya 150 mm untuk sampel uji permeabilitas 300 mm x 300 mm x 150 mm.
4. Bahan Penelitian
Bahan yang dipakai yaitu diantaranya; semen, agregat halus berupa pasir cilopang, agregat kasar berupa batu pecah dari Tasik dengan dimensi nominal maksimum yaitu 25 mm.
5. Alat Penelitian
Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini mengacu pada SNI 2493:2011. yaitu sebagai berikut:
 - a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram [6].
 - b. Oven dengan suhu $(100\pm 5)^{\circ}\text{C}$ [6].
 - c. Cetakan beton silinder diameter 10 x 20 cm [6].
 - d. Kerucut abrams satu set alat pengukur *slump* [6].
 - e. Mesin penggetar ayakan (*shieve shaker*) [6].
 - f. Mesin uji tekan, kapasitas 2000 KN [6].
 - g. Satu set saringan [6].
 - h. Tongkat penusuk yang terbuat dari baja [6].
 - i. Palu karet [6].
 - j. Bejana [6].
 - k. Gelas ukur 1000 cc [6].
 - l. Picnometer [6].
 - m. Bak rendam [6].
 - n. Ember [6].
 - o. Sekop atau sendok beton [6].
 - p. Penggaris atau meteran [6].
 - q. Stopwatch [6].

E. Pengujian Bahan

1. Analisis Saringan Agregat
tujuannya adalah untuk mengetahui gradasi butiran dari agregat halus dan agregat kasar termasuk agregat campuran [7].
2. Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*)
perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Nilai-nilainya adalah tanpa dimensi [8].
3. Berat Isi Agregat
adalah berat agregat persatuan isi [9].
4. Keausan Agregat Kasar
perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula) [10].
5. Kadar Air Agregat
Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat [11].

F. Pembuatan Benda Uji

Untuk memperoleh kekuatan beton yang seragam dan sesuai dengan perencanaan, maka diperlukan adanya perencanaan campuran beton agar diketahui proporsi yang tepat untuk melaksanakan pengecoran.

G. Perawatan Benda Uji

Setelah semua benda uji dibuat, maka tahap selanjutnya yaitu perawatan benda uji. Perawatan ini sangatlah penting dilakukan agar sampel beton tetap baik pada saat pengujian akan dilakukan. Sampel harus dirawat saat beton dicetak sampai dilakukannya pengujian mulai dari waktu pencetakan sampai pada saat pengujian [6].

H. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilaksanakan pada penelitian ini yaitu pengujian uji kuat tekan, Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar beton dapat menerima beban aksial atau tekan [5].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian yang dilaksanakan yaitu pada agregat. Kemudian untuk semen, dalam penelitian ini menggunakan jenis semen tipe 1 dengan nilai berat jenis yaitu 2,94 gr/ml diambil dari hasil pengujian Laboratorium Rekayasa Beton Politeknik Negeri Bandung, dikarenakan terdapat merk semen yang sama yaitu semen tiga roda yang juga dipakai dalam penelitian tersebut [12].

Berikut adalah hasil pengujian bahan yang diteliti di laboratorium teknik sipil Institut Teknologi Garut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Analisa saringan	7,05%
2	Berat jenis	2,50 %
3	Berat isi	1,40 %
4	Keausan	23,4 %
5	Penyerapan air	4,63%
6	Kadar air agregat kasar	3,17 %

B. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton dilakukan untuk mengetahui proporsi tiap bahan campuran beton, antara lain: air, semen, agregat kasar. Dengan mengacu pada ACI 522R-10 [13]. Penelitian ini merencanakan campuran beton sebanyak 2 jenis campuran yaitu campuran normal, campuran beton dengan bahan tambah *superplasticizer* Berikut adalah tabel jumlah sampel yang akan dibuat.

Tabel 2: Jumlah Sampel Beton

No	Sample	Rencana Campuran	Jenis Pengujian	Cetakan Benda Uji	Ukuran agregat(mm)	Jumlah Benda Uji Pada Umur 14 Hari	Jumlah Benda Uji Pada Umur 28 Hari
1.	BP	ACI	Kuat Tekan	15x30 cm	19	1	1
					12	1	1
					9	1	1

No	Sample	Rencana Campuran	Jenis Pengujian	Cetakan Benda Uji	Ukuran agregat(mm)	Jumlah Benda Uji Pada Umur 14 Hari	Jumlah Benda Uji Pada Umur 28 Hari
2	BPS	ACI	Kuat Tekan	15x30 cm	19	1	1
					12	1	1
					9	1	1
3	BP	ACI	Kuat Tarik	15x30 cm	19		1
					12		1
					9		1
4	BPS	ACI	Kuat Tarik Belah	15x30 cm	19		1
					12		1
					9		1
JUMLAH						6	12

Keterangan :

BP : Beton Porous

BPS : Beton Porous *Supperlastisizer*

Tabel 3: Jumlah Sample Beton Uji Permeabilitas

NO	SAMPLE	Rencana Campuran	Jenis Pengujian	Cetakan benda uji	Ukuran Agregat (mm)	Jumlah Benda Uji Pada Umur 7 Hari
1	BP	ACI	Permeabilitas	30x30x15 cm	19	1
					12	1
					9	1
Jumlah						3

Tabel 4: Proporsi Campuran Sampel Beton

Jenis Bahan	Berdasarkan Volume Absolut(m ³)	Kebutuhan 1 Sample Beton (Kg)	Kebutuhan 3 Sample Beton(Kg)	Kebutuhan 18 Sample Beton(Kg)
Air Bersih	190.00	1.21	3.62	21.72
Semen	382.82	2.43	7.30	43.81
Ag. Kasar Kering	1719,72	10,93	32,80	196,83
	2292,54	14.58	43,73	262,39

Tabel 4: Proporsi Campuran Sampel Beton

Jenis Bahan	Berdasarkan Volume 1 m ³	Kebutuhan 1 Sample Kubus Beton (Kg)
Air Bersih	190.00	2.05
Semen	382.82	4.13
Ag. Kasar Kering	1719.72	18.57
	2292.54	24.79

Dari tabel diatas didapatkan nilai rencana campuran beton untuk pembuatan beton kebutuhan sample 1 m³ Dan kebutuhan 1 sample benda uji.

C. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Hasil uji tekan ini dilakukan pada umur 14 dan 28 hari, benda uji yang digunakan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 6 sampel untuk beton normal dan untuk beton dengan bahan tambah *superplasticizer* 6 sample dengan berbeda agregat.

Tabel 5: Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No	Nomor benda uji	Dimensi (cm)		Luas	Umur beton (hari)	Berat (Kg)	Beban Tekan (KN)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
		D	T						
1	BP (19,12,5, dan 9,5)	15	30	176,63	14	9,54	78,6	45,38	3,77
						9,72	67,5	38,97	3,23
						10,19	117,1	67,60	5,61
		15	30	176,63	28	9,98	94,9	54,88	4,55
						10,58	114,4	66,16	5,49
						9,78	115,2	66,50	5,51
2	BPS (19,12,5, dan 9,5)	15	30	176,63	14	9,94	101,2	58,43	4,85
						10,24	106,3	61,37	5,09
						9,78	133,7	65,64	5,47
		15	30	176,63	28	10,12	107,0	61,88	5,13
						10,28	126,1	72,93	6,05
						9,74	166,9	96,53	8,01

Dari tabel diatas diperoleh hasil uji kuat tekan terhadap beton porous normal dan beton porous yang menggunakan campuran *superplasticizer* dengan hasil beton porous normal dengan umur 14 hari berdasarkan ukuran 19 mm 3,77 Mpa, ukuran 12.5 mm 3,23 MPa dan 9.5 mm 5,61 MPa. Dan untuk hasil beton porous yang menggunakan *superplasticizer* berdasarkan ukuran 19 mm 4,85 MPa, ukuran 12,5 mm 5,09 MPa, dan ukuran 9,5 mm 5,47 MPa. Untuk umur 28 hari berdasarkan ukuran 19 mm 4,55 Mpa, ukuran 12.5 mm 5,49 MPa dan 9.5 mm 5,51 MPa. Dan untuk hasil beton porous yang menggunakan *superplasticizer* berdasarkan ukuran 19 mm 5,13 MPa, ukuran 12,5 mm 6,05 MPa, dan ukuran 9,5 mm 8,01 MPa jadi beton hasil beton porous menggunakan bahan tambah mengalami kenaikan dari beton porous normal.



Gambar 2: Hasil Pengujian Kuat Tekan

D. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Proses uji kuat tarik ini dilakukan pada umur 28 hari, benda uji yang digunakan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 6 sampel untuk beton normal dan untuk beton dengan bahan tambah *superplasticizer* 6 sample dengan berbeda agregat.

Tabel 6: Hasil pengujian kuat tekan

No	Nomor Benda Uji	Dimensi (cm)		Beban Tarik (KN)	Tegangan Tarik belah rata rata (MPa)
		D	T		
1	BP (19)	15	30	68,6	0,097
	BP (12,5)	15	30	77,6	0,109
	BP (9,5)	15	30	81,5	0,115
2	BPS (19)	15	30	85,3	0,120
	BPS (12,5)	15	30	97,1	0,137
	BPS (9,5)	15	30	119,1	0,168

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik belah beton porous yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa beton porous normal mengalami kenaikan tegangan rata rata pada kuat tarik belah yang menggunakan bahan tambah *superplasticizer*.



Gambar 3: Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

I. Permeabilitas

Faktor yang mempengaruhi permeabilitas ialah faktor air semen (FAS) dari campuran beton porous, kondisi lingkungan dan sifat dari semen [14]. Pengujian permeabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian daya serap air. Diawali dengan meletakkan sampel ditengah kemudian mengisi ember dengan air sebanyak 5 liter, setelah itu tumpahkan air kedalam sampel dan dihitung waktu air mengalir menggunakan stopwatch.

Permeabilitas agregat 19

Pengujian permeabilitas agregat 19 dicoba 3 kali pengujian untuk mengetahui daya serap air.

00 : 12.31 mm/det

00 : 08.57 mm/det

00 : 08.52 mm/det

Permeabilitas agregat 12

Pengujian permeabilitas agregat 12 dicoba 3 kali pengujian untuk mengetahui daya serap air.

00 : 15.90 mm/det

00 : 16.95 mm/det

00 : 15.30 mm/det

Permeabilitas agregat 9

Pengujian permeabilitas agregat 9 dicoba 3 kali pengujian untuk mengetahui daya serap air.

00 : 24.01 mm/det

00 : 19.89 mm/det

00 : 20.41 mm/det

Dari keterangan diatas adalah hasil dari pengujian permeabilitas yang didapatkan nilai berdasarkan waktu penyerapan air.



Gambar 4: Hasil Pengujian Permeabilitas

IV. KESIMPULAN

Kuat tekan beton porous yang dihasilkan pada pengujian beton porous normal, dan beton porous dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer* pada umur 14 dan 28 hari yaitu sebagai berikut:

Beton porous normal 14 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 3,77 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 3,23 MPa
- c) Beton porous agregat 9,5 = 5,61 MPa

Beton porous normal 28 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 4,55 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 5,49 MPa
- c) Beton porous agregat 9,5 = 5,51 MPa

Beton porous menggunakan bahan tambah *superplasticizer* 14 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 4,85 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 5,09 MPa
- c) Beton porous agregat 9,5 = 5,47 MPa

Beton porous menggunakan bahan tambah *superplasticizer* 28 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 5,13 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 6,05 MPa
- c) Beton porous agregat 9,5 = 8,01 MPa

Untuk hasil pengujian kuat Tarik belah didapatkan nilai tegangan rata rata yaitu :

Beton porous normal 28 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 0,097 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 0,109 MPa
- c) Beton porous agregat 9,5 = 0,115 MPa

Beton porous menggunakan bahan tambah *superplasticizer* 28 hari

- a) Beton porous agregat 19 = 0,120 MPa
- b) Beton porous agregat 12,5 = 0,137 MPa
- c) Beton Porous Agregat 9,5 = 0,168 MPa

Hasil penelitian yang telah dilaksanakan dapat diberikan saran yang diharapkan dapat bermanfaat. Saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan bahan tambah lain yang bisa meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang lebih tinggi dari bahan tambah *superplasticizer*.

2. Untuk penelitian selanjutnya Beton porous disarankan menggunakan agregat ukuran lebih kecil dari ukuran 9,5 karena hasil yang dibuat lebih bagus dan pori-pori nya kecil nilai yang dihasilkan juga lebih tinggi dari ukuran agregat diatas 9,5.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Saputra, R. H.-C. J. T. Sipil, and undefined 2017, “Pengaruh Air PDAM, Laut, Comberan Pada Proses Curing Terhadap Kuat Tekan Beton Fc 14, 53 Mpa,” *jurnalteknik.unisla.ac.id*, vol. 2, no. 2, 2017, Accessed: Jun. 10, 2023. [Online]. Available: <http://jurnalteknik.unisla.ac.id/index.php/CVL/article/view/78>
- [2] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI, 2005.
- [3] P. N. Aini, R. Roestaman, and E. Walujodjati, “Pengaruh Penggunaan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dalam Campuran Beton dengan Bahan Tambah Superplasticizer,” *J. Konstr.*, vol. 19, no. 1, pp. 169–178, 2021, doi: 10.33364/konstruksi/v.19-1.902.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, “SNI No. 1973:2008 Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton.” 2008.
- [5] S. 1974-2011, “SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,” *Badan Stand. Nas. Indones.*, p. 20, 2011.
- [6] SNI 2493-2011, “Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium,” *Badan Standar Nasional Indonesia*. Badan Standarisasi Nasional, p. 23, 2011. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [7] Badan Standardisasi Nasional, “SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar,” *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–24, 2012.
- [8] SNI 1970-2008, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus,” *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 7–18, 2008.
- [9] SNI 03-4804-1998, “Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat,” *Badan Stand. Nas. Indones.*, pp. 1–6, 1998.
- [10] Departemen Pekerjaan Umum, “Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles, SNI 2417:2008,” *Standar Nas. Indones.*, 2008.
- [11] SNI 03-1971-1990, “Metode Pengujian Kadar Air Agregat,” *Badan Standarisasi Nas.*, vol. 27, no. 5, p. 6889, 1990.
- [12] M. Ubaidillah and E. Walujodjati, “Eksperimen Uji Lentur Balok Beton dengan Bundel Tulangan,” *jurnal.itg.ac.id*, 2022, Accessed: Oct. 11, 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/1061>
- [13] american concrete Institute, “ACI 522R-10 Report on pervious concrete.” aci, 2011. [Online]. Available: www.concrete.org
- [14] A. Nurdin, A. Manaf, and I. Ridhayani, “Pengaruh Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Berpori,” *BANDAR J. Civ. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 17–26, May 2023, doi: 10.31605/BJCE.V5I1.2518.