



Pengaruh Fly Ash Terhadap Permeabilitas Beton

Rosi Mutiara Sya'bani Sumarna¹, Eko Walujodjati²

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

¹1711049@itg.ac.id

²eko.walujodjati@itg.ac.id

Abstrak – Di Indonesia kerap terjadi bencana yang bisa menyebabkan beberapa dampak yang merugikan, seperti banjir. Kerugian yang diakibatkan oleh banjir ini bukan hanya dari segi finansial, namun bisa sampai merenggut nyawa. Untuk mengurangi resiko tersebut, diperlukan peran dari berbagai pihak. Dalam bidang konstruksi misalnya yaitu dengan mengganti permukaan kedap air menjadi *permeable* (mampu menyerap air). Beton sendiri adalah salah satu konstruksi yang sering diaplikasikan pada area permukaan. Beton yang memiliki kemampuan permeabilitas tinggi akan mampu menyerap air secara maksimal sehingga akan mengurangi genangan yang terjadi pada permukaan yang dicor. Bahan yang mampu menambah penyerapan air dalam campuran beton yaitu abu terbang. Presentase abu terbang yang akan digunakan pada percobaan ini yaitu sebesar 0%, 20% dan 40% sebagai bahan pengganti cementitious. Selanjutnya dilaksanakan pengujian beton dengan umur perawatan 7 dan 28 hari. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh abu terbang terhadap kelayakan beton ditinjau dari kemampuan menyerap airnya dan kemampuan tekan pada beton itu sendiri. Dapat diketahui bahwa kemampuan tekan dan kemampuan permeabilitasnya memiliki variasi yang tidak seragam pada variasi campuran yang telah direncanakan. Nilai koefisien permeabilitas tertinggi ada pada variasi campuran beton dengan penambahan fly ash sebesar 40% yang bisa dikategorikan sebagai beton dengan kemampuan permeabilitas yang lambat berada diantara 0,13 – 0,51 cm/jam. Sedangkan untuk kemampuan tekannya, nilai tertinggi ada pada variasi campuran beton normal umur perawatan 28 hari yaitu 16,31 MPa.

Kata Kunci – Abu Terbang; Beton; Kuat Tekan; Permeabilitas.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu bencana yang kerap terjadi di Indonesia yaitu banjir. Tercatat pada *database* Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), ada 7574 kali bencana banjir dari tahun 2011 hingga 22 September 2020 yang terjadi di Indonesia [1]. Bencana ini disebabkan oleh volume air yang meningkat pada suatu badan air seperti danau, sungai, atau pada saluran drainase lainnya sehingga air meluap dari badan air tersebut. Hal ini terjadi akibat dari tingginya curah hujan, sampah yang menyumbat suatu badan air, dan atau akibat dari permukaan kedap air sehingga air tidak terserap dengan cepat.

Kerugian yang terjadi akibat banjir pun sangat tinggi. Bukan hanya terendamnya area permukiman warga, banjir pun bisa menyebabkan keselamatan manusia terancam jika intensitas banjirnya sangat tinggi. Untuk mengurangi resiko dampak banjir tersebut, maka perlu dilakukan penanggulangan banjir. Hal terkecil yang dapat dilakukan adalah dengan cara merawat lingkungan dengan baik. Namun hal ini tidak cukup untuk

menanggulangi banjir. Diperlukan pula peran aktif dari pemerintah setempat dengan melakukan beberapa pembangunan yang dapat membantu mengurangi resiko tersebut.

Pengurangan resiko ini bisa dilakukan dengan melakukan suatu usaha untuk mencegah banjir terjadi. Salah satunya yaitu dengan cara merubah permukaan menjadi tidak kedap air. Seperti mengganti permukaan yang dicor atau diaspal dengan menggunakan *paving block* agar permukaan dapat menyerap air lebih baik. *Paving block* lebih baik dibandingkan perkerasan lainnya ditinjau dari segi ekonomis pemeliharaannya, segi artistik eksterior sebuah bangunan, tidak memerlukan alat berat, serta dapat diproduksi secara massal, juga bila dipandang dari segi kelestarian lingkungan sebagai sistem penyerapan air [2]. Pemerintah kota Bandung juga telah menerapkan teknologi ini yaitu dengan memasang *paving block* pada sepanjang jalan Braga. Namun belum diketahui apakah jalan tersebut mampu menahan beban yang berat atau tidak.

Untuk mengetahui kemampuan dari *paving* yang digunakan sebagai jalan utama tersebut, harus dilakukan pengujian terlebih dahulu. Jika diketahui bahwa jalan tersebut mampu menahan beban, hal ini dapat dijadikan sebagai suatu inovasi untuk penanggulangan banjir. Inovasi ini dapat diterapkan bukan hanya di Bandung saja, tapi juga bisa diterapkan di seluruh wilayah Indonesia.

Komposisi campuran yang ada dalam *paving block* umumnya terdiri dari agregat, air, semen *portland* juga abu terbang (*fly ash*). Abu terbang sendiri adalah salah satu bahan tambah zat aditif dalam campuran beton. Kemampuan permeabilitas (daya serap air) *fly ash* sebagai bahan tambah ini diharapkan dapat mempercepat daya serap air yang terjadi dalam beton.

Penambahan abu terbang sebagai material pengikat tambahan akan mempengaruhi sifat beton segar, sebagaimana sifat mekanik dan ketahanannya. Sehingga dalam tiap perencanaannya membutuhkan percobaan campuran untuk dapat mencapai sifat beton yang diharapkan. [3]

Dalam penelitian Eko Hindaryanto yang dilakukan di laboratorium teknik sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta menyebutkan bahwa penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap penurunan nilai porositas dan koefisien permeabilitas [4]. Serta dari hasil penelitian Mira Setiawati dan Muhammad Imaduddin yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang, kuat tekan beton normal dan beton dengan *fly ash* dengan persentase *fly ash* 5% diperoleh persentase peningkatan kuat tekan beton dengan *fly ash* terhadap beton normal mencapai nilai sebesar 20% [5].

Selain itu, faktor air-semen yang terkandung pada adukan beton juga merupakan faktor utama dalam penentuan permeabilitas beton. Kelebihan air dalam campuran beton yang diakibatkan oleh nilai *fas* yang tinggi, berguna sebagai penambah kelecakan pada beton itu sendiri sehingga mudah dalam pembuatannya. Sisa dari air yang diperlukan untuk hidrasi kemudian akan menguap dan jumlah keperluan air untuk hidrasi ini relatif sedikit. Pori-pori yang saling terikat akan akan bermunculan sampai ke permukaan beton yaitu pada saat air tersebut menguap dan keluar dari dalam beton. Akibatnya, nilai permeabilitas akan meningkat seiring dengan meningkatnya volume air yang ada [6]. Oleh sebab itu, agar beton bisa menyerap air dengan cepat, maka *fas* nya perlu dinaikkan agar bisa menghasilkan koefisien permeabilitas yang tinggi juga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Beton

Beton merupakan suatu zat yang seperti batuan yang berasal dari campuran pasta (semen dan air) serta agregat (kerikil, batu pecah, pasir dan sejenisnya). Terkadang, untuk menghasilkan karakteristik tertentu pada beton seperti setting time, durabilitas dan kemudahan pengerjaannya, bisa dengan menambahkan bahan aditif dalam jumlah yang disesuaikan dengan hal-hal yang ingin dicapai. [7]

Untuk membuat beton yaitu dengan melakukan pencampuran materialnya (semen, air dan agregat), bisa juga menambahkan suatu bahan tambah tertentu. Material tersebut diaduk secara merata dengan jumlah tertentu

untuk membuat campuran plastis dengan bentuk yang diinginkan sehingga bisa dituangkan ke dalam cetakan. Jika tidak dikendalikan, campuran akan mengeras karena reaksi kimia jangka panjang antara semen dan air, atau dengan kata lain campuran beton akan mengeras seiring waktu. [8]

B. Bahan Tambah

Bahan yang bukan merupakan material utama dalam campuran beton (air, semen dan agregat) yang dicampurkan secara instan atau selama proses pencampuran disebut dengan bahan tambah (*admixtures*). Fungsi bahan tambah yaitu untuk mengubah sifat tertentu pada beton atau bahannya supaya bisa lebih ekonomis, atau untuk menghemat suatu energi [9].

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *super plasticizer* dan *fly ash*. Super plasticizer adalah aditif pereduksi air yang sangat efektif. *Fly ash* atau abu terbang ini terbentuk dari bahan mineral yang berubah akibat dari suatu proses pembakaran batubara. Sisa pembakarannya kemudian dialirkan dari ruang pembakaran melewati boiler berupa asap yang tersembur. Bentuk butirannya sangat halus dan termasuk kedalam zat yang anorganik.

C. Faktor yang dapat Memengaruhi Proporsi Campuran

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi proporsi campuran yaitu faktor air semen, jenis semen, keawetan, *workabilitas* dan jumlah air, pemilihan agregat, serta kadar semen.

D. Pengujian Beton

1. Uji Berat Isi

Pengujian berat isi bertujuan untuk menentukan berat isi beton segar [10]. Hasil pengujian ini memenuhi sesuai dengan standar SNI 7656 – 2012 yaitu diantara 2200 kg/m³ sampai 2500 kg/m³ [11].

a. Perhitungan Berat isi :

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

Keterangan :

D adalah Berat isi beton (Kg/m³).

Mc adalah Berat cetakan yang diisi beton (Kg).

Mm adalah Berat cetakan (Kg).

Vm adalah Volume cetakan (m³).

b. Perhitungan Volume produksi campuran

$$Y = \frac{M}{D} \quad \dots(2)$$

Keterangan :

D adalah Berat isi beton (Kg/m³).

M adalah Berat total material dalam campuran (Kg).

Y adalah Volume produksi campuran (m³)

2. Uji Kuat Tekan Beton

Pada kondisi beton masih plastis yaitu pada saat adukan beton baru dibuat, beton belum mempunyai kekuatan pada sifat-sifatnya. Kekuatannya akan meningkat setelah hidrasi dan bertambahnya umur beton. Sampai umur beton mencapai 28 hari, perubahan kenaikannya cukup signifikan dan dianggap maksimum. Kemampuan beton dalam menahan beban dapat diketahui dan dihitung berdasarkan persamaan berikut. [12]

a. Perhitungan uji tekan

$$F_c' (MPa) = \frac{P}{A} \quad \dots(3)$$

Dengan:

P adalah Gaya tekan aksial (N).

A adalah Luas penampang melintang sampel (mm²)

b. Perhitungan kuat tekan rata-rata

c.

$$F'_{cr} = \frac{\sum_{n=1}^n f'c}{n} \quad \dots(4)$$

Keterangan :

n adalah Jumlah benda uji

3. Permeabilitas Beton

Kemudahan cairan atau gas dalam melewati beton disebut dengan permeabilitas beton. Permeabilitas beton ini dievaluasi berdasarkan hukum *Darcy* yang nantinya akan diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (k), yaitu sebagai berikut [13]:

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = k \frac{dH}{L} \quad \dots(5)$$

Dimana,

$\frac{dq}{dt}$ adalah kecepatan aliran air

A adalah luas penampang sampel beton

Dh adalah tinggi air jatuh

L adalah ketebalan sampel beton

k adalah koefisien permeabilitas

Selain dengan melakukan pengujian di laboratorium, untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas juga bisa diketahui dengan menggunakan formula yang didasarkan pada pengujian yang sudah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret oleh Eko Hindaryanto Nugroho (2010). Berdasarkan analisis regresi, penambahan kadar abu terbang pada campuran terhadap koefisien permeabilitas beton dirumuskan sebagai berikut:

$$K = 5,321 \cdot 10^{-11} (FA)^2 - 1,798 \cdot 10^{-9} (FA) + 2,633 \cdot 10^{-8} \quad \dots(6)$$

Keterangan,

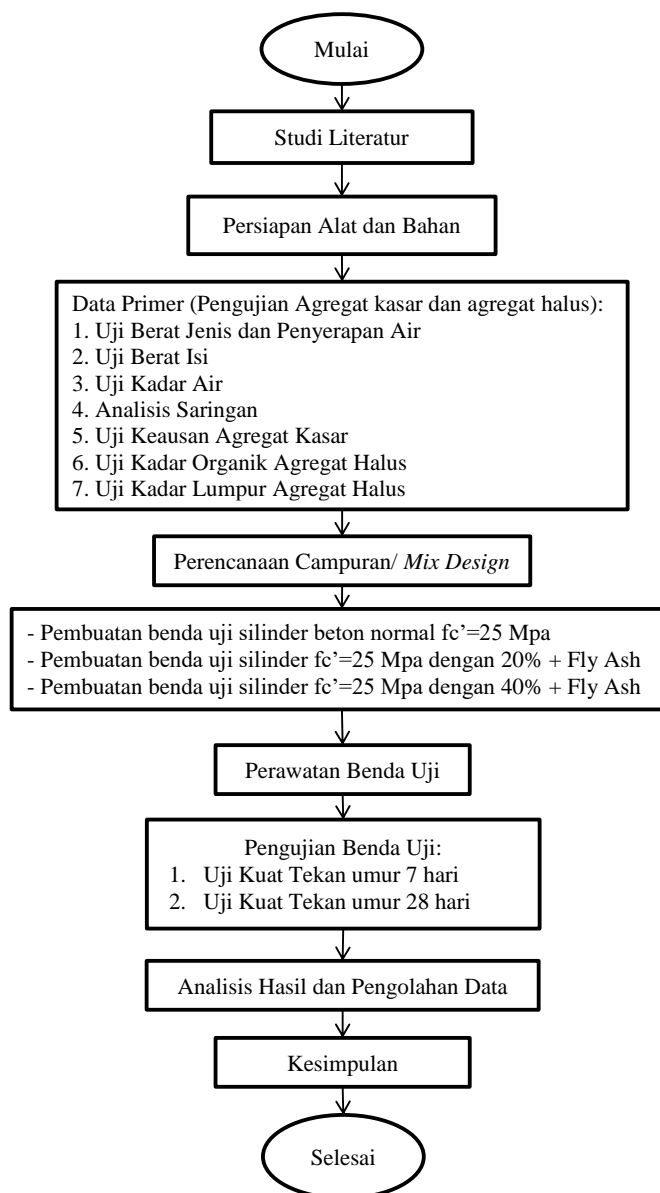
k adalah koefisien permeabilitas (m/dt)

FA adalah kadar penggantian semen dengan *fly ash* (%)

III. METODE PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian

Supaya mendapatkan hasil yang rasional dan dapat dipertanggung-jawabkan, maka dalam suatu penelitian diharuskan adanya suatu langkah kerja yang runtut dan teratur. Langkah kerja tersebut disebut pula dengan metode penelitian. Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental (percobaan) yang dilaksanakan di laboratorium. Metode ini ditujukan untuk mendapatkan hasil berupa beberapa data yang dapat menegaskan hubungan variabel yang diteliti. Secara skematis, prosedur penelitian yang dilakukan dibentuk dalam sebuah diagram alir seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1: Bagan Alir Penelitian

B. 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 *slump* dan pengujian kemampuan tekan beton. Tempat penelitian ditunjukkan seperti pada gambar 2 dengan diberi tanda persegi warna biru.

C. Rancangan Penelitian

Dilakukan pengujian bahan terhadap agregat halus berupa pemeriksaan berat jenis, berat volume, kadar zat organik, kadar lumpur, 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 dan analisis perhitungan permeabilitas dengan variasi pemakaian *fly ash* dari limbah industri PLTU Paiton sebagai cementitious masing-masing persentasenya yaitu 0%, 20%, dan 40% dari berat semen. Pada penelitian ini dibuat 18 sampel beton dengan bentuk silinder berukuran tinggi 300 mm dan diameternya 150 mm. Jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan

dengan umur perawatan 7 dan 28 hari. Variasi kadar abu terbang (*fly ash*) yaitu 0%, 20% dan 40%. Masing-masing variasi tersebut kemudian dibuat berjumlah 3 sampel. Berikut adalah tabel yang menjelaskan tentang jumlah benda uji untuk setiap perlakuan.

Tabel 1: Jumlah Benda Uji

Substitusi <i>Fly Ash</i>	Dimensi (cm)	Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji (buah)	Keterangan
0%	d; 15 t; 30	Uji Tekan	3	Pengujian Umur 7 Hari
20%			3	
40%			3	
0%	d; 15 t; 30	Uji Tekan	3	Pengujian Umur 28 Hari
20%			3	
40%			3	
Jumlah Total Benda Uji			18	

D. Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai yaitu diantaranya; abu terbang (*fly ash*) dari PLTU PT. IPMOMI Paiton, semen dan agregat dari Cilopang dengan dimensi nominal maksimum yaitu 25,4 mm. Agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa batu pecah.

E. Alat Penelitian

Alat pokok yang dipakai yaitu seperti: alat uji bahan, alat pengecoran, alat uji slump dan alat uji tekan. [14]

F. Pengujian Bahan

1. Analisis Saringan Agregat [15]
2. Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*) [16]
3. Berat Isi Agregat [17]
4. Kadar Zat Organik Agregat Halus
5. Kadar Lumpur Agregat Halus
6. Keausan Agregat Kasar [18]
7. Kadar Air Agregat [19]

G. Pembuatan Benda Uji

Untuk memperoleh kekuatan beton yang seragam dan sesuai dengan perencanaan, maka diperlukan adanya perancangan campuran beton agar diketahui proporsi yang tepat untuk melaksanakan pengecoran [11].

H. 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 dalam kondisi basah dengan suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ dimulai saat beton dicetak sampai dilakukannya pengujian mulai dari waktu pencetakan sampai pada saat pengujian [14].

I. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilaksanakan pada penelitian ini yaitu pengujian tekan pada beberapa benda uji. Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar beton dapat menerima beban aksial atau tekan [12].

IV. 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 $2,396 \text{ kg/m}^3$ diambil dari hasil pengujian sebelumnya oleh Riski Amelia (2019) yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bina Darma dikarenakan terdapat merk semen yang sama yaitu semen dynamix/holcim yang juga dipakai dalam penelitian tersebut [20].

Sedangkan untuk data pengujian berat jenis *fly ash* menggunakan data hasil pengujian sebelumnya oleh Takim, Armin Naibaho dan Diana Ningrum (2016) yang dilaksanakan di laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang yaitu bernilai 1,43 dikarenakan abu terbang yang dipakai bersumber dari tempat yang sama yaitu dari PLTU PT. IPMOMI Paiton [21].

Berikut adalah hasil pengujian bahan yang diteliti di laboratorium teknik sipil Institut Teknologi Garut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2: Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1.	Kadar Air	8,70%
2.	Berat Isi	2,65 Kg/Lt
	Berat Jenis	
3.	<input type="checkbox"/> Bj. Curah (bulk)	2,94
	<input type="checkbox"/> Bj. SSD	2,63
	<input type="checkbox"/> Bj. Apparent	2,47
4.	Absorpsi	6,40%
5.	Modulus Kehalusan	3,744083

Tabel 3: Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar Air	0,84%
2	Berat Isi	1,56 Kg/Lt
	Berat Jenis	
3	<input type="checkbox"/> Bj. Curah (bulk)	2,07
	<input type="checkbox"/> Bj. SSD	1,99
	<input type="checkbox"/> Bj. Apparent	1,96
4	Absorpsi	1,97%
5	Modulus Kehalusan	8,4230366
6	Keausan	20%

B. Desain Mix

Rancangan campuran beton dihitung dengan metode SNI 7656-2012 yang di adopsi dari ACI 211. Diketahui data bahan untuk campuran beton pada umur 7 dan 28 hari dengan rencana kekuatan beton $f'c$ 25 MPa dengan

nilai slump diambil 100 ± 20 mm. Agregat kasar memiliki ukuran nominal maksimum 25,4 mm dengan berat kering oven yaitu 1014 kg/m^3 pada kondisi padat. Semen yang digunakan memiliki berat jenis $2,396 \text{ kg/cm}^3$ dengan tidak ada tambahan udara. Maka komposisi material untuk 1 m^3 beton dan 18 sampel beton silinder ditunjukkan seperti pada tabel 4 berikut.

Tabel 4: Komposisi Campuran Beton

Material	3 sampel			18 sampel
	0%	20%	40%	
Air	3,13	3,13	3,13	18,75
Superplasticizer (ml)	40,83	40,83	40,83	244,97
Semen	5,44	4,36	3,27	26,13
Fly Ash	0,00	1,09	2,18	6,53
Agregat halus	14,37	14,37	14,37	86,21
Agregat Kasar	16,27	16,27	16,27	97,61

C. Hasil Uji Slump Beton (Slump Test)

Uji slump bertujuan untuk mengawasi kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) juga sifat homogeny pada adukan beton segar dengan kekentalan tertentu [22]. Hasil pengujian *slump* pada percobaan pencampuran pertama, nilai *slump* menunjukkan nilai yaitu 110 mm yang masih memenuhi dengan rencana awal dalam *mix design* (100 ± 20). Nilai slump test dari beberapa campuran dapat diamati pada Tabel 5.

Tabel 5: Nilai *Slump Test*

Campuran	Nilai Slump (mm)	Keterangan
1	110	Memenuhi
2	110	Memenuhi
3	120	Memenuhi

D. Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian berat isi beton segar tiap satu sampel dengan nilai slump 75 sampai dengan 100 mm menunjukkan berat isi rata-rata yaitu $2338,89 \text{ kg/m}^3$, hasil pengujian ini memenuhi sesuai dengan standar SNI 7656 – 2012 yaitu diantara 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 [11], serta sesuai dengan berat isi beton yang telah direncanakan yaitu mendekati nilai 2380 Kg/m^3 . Berikut data hasil berat isi beton segar dapat ditinjau pada tabel dibawah ini.

	M_m (Kg)	M_c (Kg)	V_m (m ³)	D (Kg/m ³)
Campuran 1				
1	10,70	23,10	0,0053	2338,05
2	11,24	23,74	0,0053	2356,90
3	11,08	23,54	0,0053	2349,36
4	11,06	23,20	0,0053	2289,02
5	10,98	23,26	0,0053	2315,42
6	11,74	24,20	0,0053	2349,36
Campuran 2				
7	11,02	23,52	0,0053	2356,90
8	11,06	23,38	0,0053	2322,96
9	11,74	24,24	0,0053	2356,90
10	11,10	23,68	0,0053	2371,99
11	11,02	23,42	0,0053	2338,05
12	12,60	24,86	0,0053	2311,65
Campuran 3				
13	11,10	23,50	0,0053	2338,05
14	11,02	23,36	0,0053	2326,73
15	10,98	23,36	0,0053	2334,28
16	11,24	23,74	0,0053	2356,90
17	11,42	23,82	0,0053	2338,05
18	11,12	23,58	0,0053	2349,36
Jumlah	202,22	425,50		42099,93
Rata-Rata	11,23	23,64		2338,89

Gambar 2: Berat Isi Beton Segar

E. Hasil Pengujian Tekan Beton

Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar beton dapat menerima beban aksial atau tekan [12].

1. Kuat Tekan Beton Normal

Pada umur perawatan beton 7 dan 28 hari, direncanakan kemampuan menahan tekannya di laboratorium (f_c') adalah 25 MPa. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton campuran 1 pada umur 7 dan 28 hari kurang dari mutu beton rencana. Tidak tercapainya kekuatan beton yang ditargetkan dimungkinkan karena terdapat kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan sampel. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil dari pengujian kuat tekan beton.

Umur Perawatan (Hari)	Massa Sampel (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
7	12,22	190	10,75	9,99
	12,26	170	9,62	
	12,38	170	9,62	
28	12,12	280	15,84	16,31
	12,14	260	14,71	
	12,24	325	18,38	

Gambar 3: Hasil Uji Kuat Tekan Campuran 1 (Beton Normal)

2. Kuat Tekan Beton Substitusi *Fly ash* 20% + *SP*

Campuran 2 dimana substitusi *fly ash* 20% + *SP* menunjukkan kuat tekan yang hampir sama seperti kuat tekan beton normal, dimana kuat tekannya tidak mencapai yang ditargetkan yakni $f_c' = 25$ MPa. Lebih jelasnya bisa diamati pada tabel berikut ini.

Umur Perawatan (Hari)	Massa Sampel (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
7	12,44	190	9,05	8,96
	12,26	170	8,77	
	12,36	170	9,05	
28	12,38	120	6,79	6,41
	12,36	120	6,79	
	12,16	100	5,66	

Gambar 4: Hasil Uji Kuat Tekan Campuran 2 (Fly Ash 20%+SP)

3. Kuat Tekan Beton Substitusi Fly ash 40% + SP

Campuran 3 dimana substitusi fly ash 40% + SP menunjukkan kuat tekan yang tidak jauh berbeda dari kuat tekan beton sebelumnya, dimana kuat tekannya tidak mencapai yang ditargetkan yakni $f_c' = 25$ MPa. Lebih jelasnya bisa diamati pada tabel di bawah.

Umur Perawatan (Hari)	Massa Sampel (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat tekan (N/mm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
7	12,30	190	5,09	5,09
	12,26	170	5,37	
	12,28	170	4,81	
28	12,50	190	10,75	9,43
	12,36	200	11,31	
	12,50	110	6,22	

Gambar 5: Hasil Uji Kuat Tekan Campuran 3 (Fly Ash 40%+SP)

F. Permeabilitas Beton

Adapun dalam penelitian ini, dikarenakan keterbatasan alat dalam pengujian permeabilitas beton maka digunakan rumus yang didasarkan pada penelitian Eko Hindaryanto Nugroho untuk mengetahui seberapa besar koefisien permeabilitas (kemampuan penyerapan air) dalam beton dengan variasi yang telah direncanakan sebelumnya [4]. Berikut adalah data hasil perhitungan dari masing-masing variasi beton:

Tabel 6: Hasil Analisis Koefisien Permeabilitas Beton

Variasi Benda Uji	Koefisien Permeabilitas
Beton FA 0%	0,0094788000 cm/jam
Beton FA 20%	0,0041954400 cm/jam
Beton FA 40%	0,0142365600 cm/jam

Dari nilai koefisien permeabilitas tersebut dapat diinterpretasikan kelas permeabilitas dari beton itu sendiri dengan menggunakan tabel hukum Darcy yaitu seperti pada Tabel 10 berikut:

Tabel 7: Kelas Permeabilitas Berdasarkan Hukum Darcy

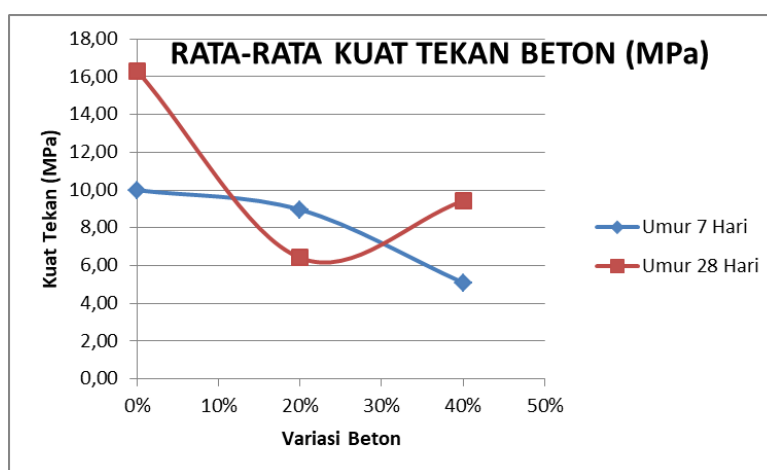
Keterangan	Laju Permeabilitas (cm/jam)	Simbol Angka
Sangat Lambat	< 0,13	1
Lambat	0,13 - 0,51	2
Agak Lambat	0,51 - 2,00	3
Sedang	2,00 - 6,35	4

Agak Cepat	6,35 - 12,70	5
Cepat	12,70 - 25,40	6
Sangat Cepat	> 25,40	7

Diketahui bahwa beton normal dan beton dengan substitusi *fly ash* 20% memiliki kelas yang sangat lambat karena nilai koefisien permeabilitasnya kurang dari 0,13 cm/jam. Sedangkan untuk beton dengan substitusi *fly ash* 40% memiliki kelas yang lambat karena nilai koefisien permeabilitasnya berada diantara 0,13-0,51 cm/jam.

G. Perbandingan Hasil Analisa Setiap Campuran

Berdasarkan hasil uji tekan pada beton yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Garut, diperoleh grafik perbandingan yang menunjukkan nilai kuat tekan beton normal dengan nilai kuat tekan beton substitusi *fly ash* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Nilai Rata-Rata Kuat Tekan Beton

Berdasarkan grafik tersebut, beton yang berumur 7 hari memiliki penurunan pada segi kuat tekan seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash* dalam beton. Dengan campuran 20% *fly ash* menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih kecil dibanding dengan beton normal. Juga pada beton dengan campuran 40% *fly ash* nilai kuat tekannya mengalami penurunan dari beton normal. Namun beton yang berumur 28 hari, kekuatan beton meningkat cukup pesat kecuali pada penambahan *fly ash* sebesar 20% yang mengalami penurunan nilai kuat tekan. Hal ini diakibatkan oleh nilai *slump* pada saat pengerjaan melebihi yang direncanakan sehingga rongga-rongga yang ada dalam beton meningkat dan menyebabkan penurunan pada nilai kuat tekannya.

V. KESIMPULAN

Hasil perbandingan setiap campuran substitusi Semen portland dengan *fly ash* yang ditambah bahan Tipe F (*super plasticizer*) pada umur perawatan beton 7 hari menunjukkan kemampuan beton dalam menahan tekan yang semakin menurun dengan adanya substitusi abu terbang yang semakin meningkat. Presentase penurunannya yaitu sebesar 53,5%. Pada campuran 1 (beton normal); campuran 2 (beton dengan substitusi *fly ash* sebesar 20%); dan campuran 3 (beton dengan substitusi *fly ash* sebesar 40%), masing-masing memiliki kemampuan rata-rata kuat tekannya dengan nilai 9,99 MPa; 8,96 MPa; dan 5,09 MPa.

Maka dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini belum layak dipakai sebagai acuan rancangan campuran beton yang ditujukan untuk perkerasan pada bahu jalan dan atau dekat dengan drainase, karena nilai kuat tekan dan kemampuan permeabilitasnya belum diketahui optimal sebagai salah satu alternatif untuk pengurangan resiko banjir dalam dunia konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Data, "Info Bencana Februari 2020," *PusdatinKK*, 2020. <https://www.bnpb.go.id/informasi-bencana/info-bencana-februari-2020>.
- [2] N. H. Shohib and A. Wibowo, "Perbandingan Kuat Tekan dan Serapan Air Paving Block Hydraulic dengan Variasi Bahan Tambah Kapur," pp. 1–16, 2017, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/57801>.
- [3] K. Nuraini, Y. Ikhtiar Budiman, and B. Subrata, "Penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland," *Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, no. September, 2019.
- [4] E. H. Nugroho, "Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)," *Skripsi*, p. 54, 2010.
- [5] M. Setiawati, "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, vol. 17, pp. 1–8, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>.
- [6] Celien Quinli Ondang, Steenie E. Wallah, and R. S. Windah, "Sifat Mekanik Dan Permeabilitas Beton Porous," *Universitas Sam Ratulangi Manado*, vol. 8, no. 4, pp. 4–9, 2020.
- [7] J. C. Mc. Cormac, *Design of Reinforced Concrete (Fifth edition) (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga, 2003.
- [8] I. A. Wicaksono, "Tinjauan Permeabilitas Beton Kedap Air Sistem Integral dengan Bahan Tambah Cebex-031 dan Conplast-X421M," *Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.*, 2005.
- [9] E. G. Nawy, *Reinforcement Concrete a Fundamental Approach*, Third. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey., 1996.
- [10] SNI 1973:2008, "Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton," *Badan Standardisasi Nasional*, p. 16, 2008.
- [11] Indonesian National Standardization, "SNI 7656:2012 'The procedure of selecting proportion for normal, heavyweight, and mass concrete,'" *Badan Standardisasi Nasional*, 2012.
- [12] SNI1974-2011, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, p. 20, 2011.
- [13] Y. Nurchasanah, "Koefisien Permeabilitas pada Rekayasa Beton Kedap Air dengan Bahan Baku Limbah Padat Industri Cor Logam di Kabupaten Klaten - Jawa Tengah," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2010.
- [14] SNI 2493-2011, "Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium," *Badan Standar Nasional Indonesia*, p. 23, 2011, [Online]. Available: www.bsn.go.id.
- [15] SNI 03-1968, "Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar," *Badan Standar Nasional Indonesia*, pp. 1–5, 1990, [Online]. Available: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/dr-slamet-widodo-st-mt/sni-03-1968-1990.pdf>.
- [16] Pusjata - Balitbang PU, "Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Airagregat Kasar," *Sni 03-1969-1990*, pp. 2–5, 1990.
- [17] SNI 03-4804, "Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat," *Badan Standarisasi Nasional*, pp. 1–6, 1998.
- [18] B. S. Nasional, "Sni 2417-2008," *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*, pp. 1–9, 2008.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, T. Cara, P. C. Agregat, SNI 7974, SNI 03-1971-1990, and SNI 1970, "Metode Pengujian Kadar Air Agregat. SNI 03–1971–1990," *Badan Standarisasi Nasional: Jakarta*, vol. 27, no. 5, p. 6889, 1990.
- [20] R. Amelia and F. Rosyad, "Analisis Perbandingan Jenis Semen (Merk Semen) Terhadap Kuat Tekan Beton," pp. 381–390, 2015.
- [21] P. Penggunaan, A. B. U. Terbang, F. L. Y. Ash, and A. Naibaho, "Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Air," vol. 1, no. 2, pp. 91–100, 2016.
- [22] SNI 1972-2008, "Cara Uji Slump Beton," *Badan Standar Nasional Indonesia*, p. 5, 2008.