

Studi Literatur Beton Berpori dengan Penambahan Fly Ash, Superplasticizer, dan Serat Terhadap Kuat Tekan

Ade Okvianti Irlan¹; Dewi Rintawati²; Paikun³

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta

³Universitas Nusa Putra, Sukabumi Jawa Barat

¹ade.okvianti@trisakti.ac.id

²dewi.rintawati@trisakti.ac.id

³paikun@nusaputra.ac.id

ABSTRACT

The problem of puddles on the surface or floods in Indonesia still not resolved until now. One solution in the infrastructure sector that can be used to overcome this problem is the use of pervious concrete as road pavement material. Pervious concrete is a special concrete designed to have high porosity so that the cavity in the concrete can be passed by air. The disadvantage of porous concrete is that it has a low compressive strength.. Therefore, many previous studies carried out the addition of materials, such as fly ash, superplasticizer, and fiber into pervious concrete mixtures to increase its compressive strength. The purpose of this study is find the optimal porous concrete mix and find the effect of fly ash, superplasticizer, and fiber to the compressive strength of porous concrete based on earlier studies. The method used in this research is the literature study method. After analyzing 30 earlier studies, the optimal porous concrete was obtained by one study with a compressive strength of 34.5 MPa, porosity of 21.88%, and permeability of 6.7 mm/s. The maximum effect caused by the use of fly ash, superplasticizer, and fiber on the concrete compressive strength increase of 149.45%, 76.62%, and 57.14%, respectively.

Keywords: Pervious concrete, fly ash, superplasticizer, fiber.

ABSTRAK

Permasalahan genangan air di permukaan atau banjir di Indonesia masih belum teratasi hingga kini. Salah satu solusi di bidang infrastruktur yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah penggunaan beton berpori sebagai material perkerasan jalan. Beton berpori adalah beton khusus yang didesain memiliki porositas yang tinggi sehingga rongga pada beton mampu dilewati oleh air. Kekurangan dari beton berpori adalah memiliki kuat tekan yang rendah. Maka dari itu, banyak penelitian terdahulu yang melakukan penambahan bahan tambahan, seperti abu terbang, superplasticizer, dan serat ke dalam campuran beton berpori untuk meningkatkan kuat tekannya. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan campuran beton berpori yang optimal dan mengetahui pengaruh dari abu terbang, superplasticizer, dan serat terhadap kuat tekan beton berpori berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur. Setelah dilakukan analisis terhadap 30 penelitian terdahulu, beton berpori yang optimal didapat oleh salah satu penelitian dengan kuat tekan 34,5 MPa, porositas 21,88%, dan permeabilitas 6,7 mm/s. Pengaruh maksimum yang disebabkan oleh penggunaan abu terbang, superplasticizer, dan serat terhadap peningkatan kuat tekan beton berpori masing-masing sebesar 149,45%, 76,62%, dan 57,14%.

Kata kunci: Beton berpori, abu terbang, superplasticizer, serat.

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang ada di Indonesia, terutama di Jakarta adalah permasalahan genangan air di permukaan atau banjir. Kurangnya ruang terbuka hijau serta daerah resapan dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar saat musim hujan tiba dan bencana banjir mulai melanda. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengurangi genangan air adalah penggunaan beton berpori/*pervious concrete* sebagai material perkerasan jalan.

Pervious concrete/porous concrete atau beton berpori adalah beton khusus yang didesain memiliki porositas yang tinggi sehingga rongga pada beton mampu dilewati oleh air [1]. Untuk mendapatkan porositas yang tinggi, maka bahan penyusun beton berpori terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar dan sedikit atau tidak menggunakan agregat halus sama sekali yang membuat beton berpori memiliki rongga-rongga cukup besar sehingga kuat tekan beton berpori relatif rendah (kuat tekannya berkurang). Semakin tinggi porositas beton maka kemampuannya untuk menahan beban akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya semakin besar kuat tekan beton maka porositas beton terhadap air akan semakin kecil.

Maka dari itu, akan dilakukan penelitian berupa studi literatur mengenai peningkatan kuat tekan beton berpori dengan bahan tambahan (*admixture*). Bahan tambahan yang dimaksud adalah *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat. *Fly ash* adalah residu hasil pembakaran batubara yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pemanfaatan kembali *fly ash* sebagai pengganti atau substitusi semen dalam pembuatan beton juga dapat mendorong inovasi ramah lingkungan dan pengurangan limbah yang ada. *Superplasticizer* berfungsi meningkatkan karakteristik dari beton dan memperlambat waktu pengikatan pada beton. Selain itu, serat yang diberikan pada beton berpori diharapkan dapat menambah kekuatan beton dalam meningkatkan kemampuan menahan beban tarik. Pada penelitian ini, serat yang digunakan tidak dibatasi terhadap jenis serat tertentu.

Setidaknya hasil dari penelitian ini menghasilkan beton berpori dengan karakteristik yang cukup untuk digunakan sebagai material perkerasan jalan, antara lain kuat tekan 8-13 MPa, porositas 15-25%, dan permeabilitas 2-6 mm/s [2].

1.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat terhadap kuat tekan beton berpori dan menemukan komposisi campuran beton berpori yang optimal berdasarkan penelitian terdahulu untuk mendapatkan sebuah alternatif beton berpori berkualitas yang dapat digunakan sebagai perkerasan bersifat tembus air sehingga dapat menjadi daerah resapan air tambahan.

1.2. State of Art

Total ada 30 penelitian terdahulu yang akan dijadikan acuan dalam studi literatur ini. Penelitian terdahulu yang telah melakukan riset tentang beton berpori dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Tahun	Sumber
1	Jing Yang dan Guoliang Jiang	2003	[3]
2	B.E. Na Jin	2010	[4]
3	Baoshan Huang <i>et al.</i>	2010	[5]
4	Y. Aoki <i>et al.</i>	2012	[6]
5	Saeid Hesami <i>et al.</i>	2013	[7]
6	B. Harish Nayak <i>et al.</i>	2015	[8]
7	J. T. Kevern <i>et al.</i>	2015	[9]

Lanjutan **Tabel 1.**

No.	Peneliti	Tahun	Sumber
8	Siddhant M. Chopda dan Bhavesh M. Chhattani	2015	[2]
9	Arintha Indah Dwi Syafiarti	2015	[10]
10	Bhuvanesh K.V. <i>et al.</i>	2016	[11]
11	Krunal N. Bhandari dan Dr. Senthil Kumar K.	2016	[12]
12	K. N Usha. and B. K. Smitha	2016	[13]
13	Rohit Patidar dan Sonam Yadav	2017	[14]
14	Suseno	2017	[15]
15	Uma Magesvari Muthaiyan dan Sundararajan Thirumalai	2017	[16]
16	Satyaprakash Mishra dan Aparajita Jena	2018	[17]
17	Rentai Liu <i>et al.</i>	2018	[18]
18	Gelong Xu <i>et al.</i>	2018	[19]
19	Hua Peng <i>et al.</i>	2018	[20]
20	V.Prakash <i>et al.</i>	2018	[21]
21	Edwin Putra Iswoyo Jong <i>et al.</i>	2018	[22]
22	Alfia Bano <i>et al.</i>	2019	[23]
23	Nikhil Saboo <i>et al.</i>	2019	[24]
24	K. S. B. Prasad dan N. V. L. N. Pavan Kumar	2019	[25]
25	I. Baskar <i>et al.</i>	2019	[26]
26	Channappa dan Pradeep Kumar Reddy	2019	[27]
27	Hanbing Wang <i>et al.</i>	2019	[28]
28	Tri Mulyono and Anisah	2019	[29]
29	Hanbing Liu <i>et al.</i>	2019	[30]
30	Romario W. Pandei <i>et al.</i>	2019	[31]

Dari hasil penelitian terdahulu telah dilakukan berbagai macam percobaan dengan berbagai *admixture* agar mendapatkan kuat tekan yang optimal dan porositas yang tinggi. Semua penelitian tersebut akan dirangkum dan dianalisis pada penelitian ini tetapi lebih terfokus kepada pengaruh dari penambahan *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat kedalam campuran beton berpori guna meningkatkan kuat tekan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur dari penelitian-penelitian terdahulu mengenai topik pengaruh dari penambahan *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat ke dalam campuran beton berpori guna meningkatkan kuat tekan. Kemudian hasil ataupun data-datanya akan dirangkum untuk mengetahui pengaruh dari ketiga bahan tersebut terhadap kuat tekan beton berpori, komposisi yang optimal guna meningkatkan kuat tekan beton berpori, dan juga perkembangan dari penelitian dari tahun ke tahun mengenai beton berpori.

2.2. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebasnya adalah kadar *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat dalam campuran beton berpori, sementara itu variabel terikatnya adalah kuat tekan, porositas, dan permeabilitas dari beton berpori.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Komposisi Optimal Beton Berpori Penelitian Terdahulu

Berbagai macam variasi dari campuran beton berpori dilakukan di setiap penelitian untuk mendapatkan beton berpori yang berkualitas. Variasi dari campuran dilakukan dengan melakukan variasi terhadap faktor air semen (w/c), rasio agregat/semen (a/c), ukuran agregat kasar, ada/tidaknya

agregat halus, dan dosis penggunaan *admixture* sehingga menghasilkan beton berpori dengan karakteristik yang berbeda-beda pada umur 28 hari, baik kuat tekan, porositas, maupun permeabilitas.

Kekurangan dari beberapa penelitian terdahulu adalah tidak mencantumkan komposisi campuran beton berpori secara lengkap dan juga tidak selalu meneliti ketiga karakteristik yang ditinjau, sehingga sebagian data yang didapat tidak lengkap. Selain itu, ada juga penelitian yang menghasilkan beton berpori dengan karakteristik yang kurang baik, sehingga tidak memenuhi syarat beton berpori untuk diaplikasikan sebagai material perkerasan jalan. Berikut [12] penelitian yang menghasilkan beton berpori dengan kuat tekan, porositas, dan permeabilitas yang memenuhi syarat beton berpori untuk diaplikasikan sebagai material perkerasan jalan (lihat Tabel 2):

Tabel 2. Komposisi Optimal Beton Berpori Penelitian Terdahulu

Penelitian	Komposisi optimal	w/c	Karakteristik beton berpori (28 hari)		
			Kuat tekan (MPa)	Porositas (%)	Permeabilitas (mm/s)
[5]	$a/c = 4,5$ agregat kasar = 4,75 mm agregat halus = 7% latex = 10% substitusi semen fiber = 0,9 kg/m ³	0,35	12,5	25	12,5
[6]	$a/c = 4$ agregat kasar = n/a^* fly ash = 0%	0,35	10,06	36	14,9
[7]	$a/c = 4,41$ agregat kasar = 2,36-19 mm agregat halus = n/a^* PPS fiber = 0,3% RHA = 8% superplasticizer = 3,1 kg	0,33	30	15,5	12
[9]	$a/c = 4,1$ agregat kasar = 4,75-9,5 mm agregat halus = 7% superplasticizer = 0,25% air entrainer = 0,13% hydration stabilizer = 0,38% macro synthetic fibers = 38 mm macro synthetic fibers = 0,33%	n/a^*	18,2	27,2	8,3
[11]	$a/c = n/a^*$ agregat kasar = 10-40 mm fly ash = 30% fiber = 1%	n/a^*	37,22	15,8	2,1
[12]	$a/c = 4$ agregat kasar = 6-10 mm fly ash = 20%	0,3	13,93	30,8	17,3
[14]	$a/c = 4$ agregat kasar = 6-10-20 mm polypropylene fiber = 2,54 gm	0,3	10,57	36,58	18,33
[16]	$a/c = n/a^*$ agregat kasar = 4,75-19 mm semen = 300 kg/m ³ agregat halus = 15% fly ash = 10% superplasticizer = 0,8%	0,3	13	17	4

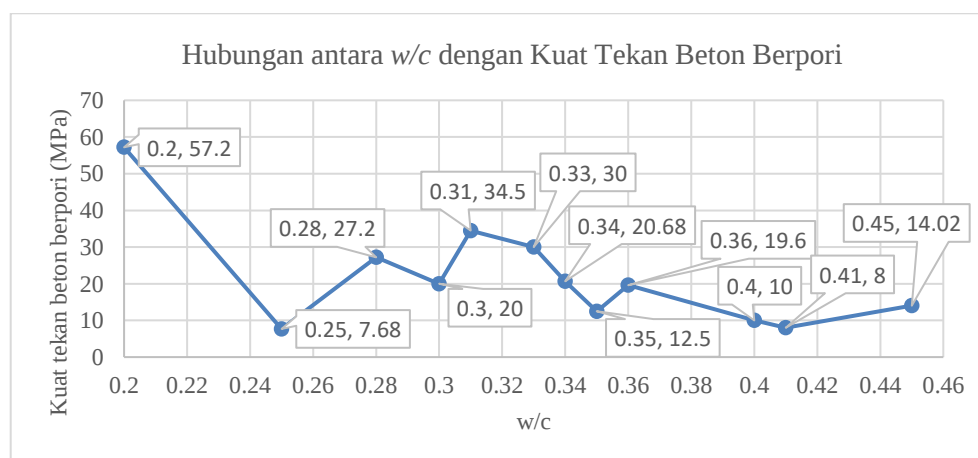
Lanjutan Tabel 2.

Penelitian	Komposisi optimal	w/c	Karakteristik beton berpori (28 hari)		
			Kuat tekan (MPa)	Porositas (%)	Permeabilitas (mm/s)
[23]	$a/c = 4$ agregat kasar = 10 mm <i>fly ash</i> = 0% <i>superplasticizer</i> = 1% <i>steel fiber</i> = 1%	0,3	19,5	35	3,3
[24]	$a/c = 5$ agregat kasar = 4,75-9,5 mm <i>fly ash</i> = 15% metakaolin = 5%	0,4	10	21,25	7
[26]	$a/c = 5,64$ agregat kasar = 4,75-10 mm <i>monofilamen fiber</i> = 75% <i>fibrillated fiber</i> = 25%	0,3	18,28	20	17,02
[28]	$a/c = 4,55$ agregat kasar = 2,36-13,2 mm <i>fly ash</i> = 20% <i>superplasticizer</i> = n/a * <i>silica fume</i> = n/a *	0,31	34,5	21,8	6,7

* n/a = not available/tidak dicantumkan di literatur

Berdasarkan Tabel 2, penelitian [28] menghasilkan beton berpori dengan karakteristik yang paling optimal dengan kuat tekan 34,5 MPa, porositas 21,88%, dan permeabilitas 6,7 mm/s dengan campuran beton sebagai berikut: agregat kasar menggunakan ukuran 2,36-13,2 mm, rasio $a/c = 4,55$, rasio $w/c = 0,31$, dosis *fly ash* = 20%, dosis *superplasticizer* = n/a , dan dosis *silica fume* = n/a . Terlihat bahwa penelitian ini tidak menggunakan agregat halus yang dapat mengurangi porositas dan permeabilitas.

Sebelum membahas pengaruh *fly ash*, *superplasticizer*, dan serat, ternyata faktor air semen (w/c) memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap kuat tekan beton berpori jika melihat hasil penelitian terdahulu di Tabel 2. Pada penelitian terdahulu tersebut digunakan w/c yang bervariasi dengan range 0,2-0,45. Hubungan antara w/c dengan kuat tekan beton berpori dapat dilihat di Gambar 1 dimana terdapat beberapa penelitian dengan w/c yang sama, lalu diambil penelitian dengan nilai kuat tekan terbesar.



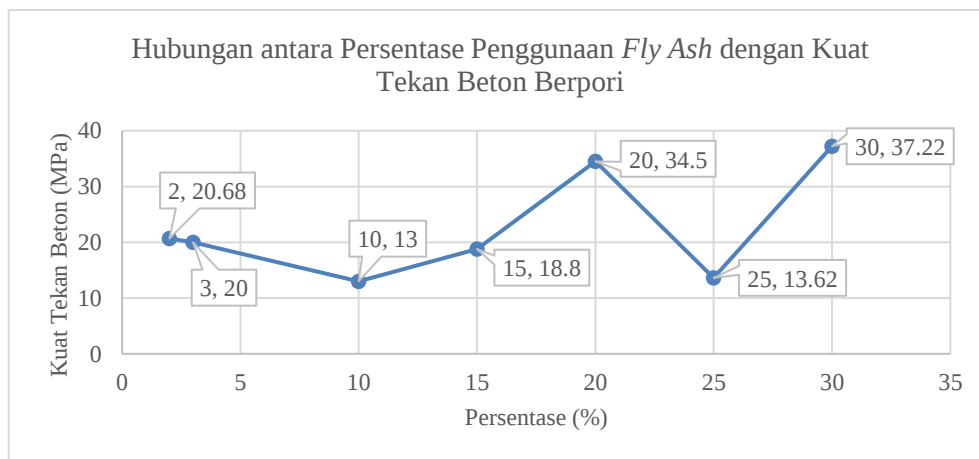
Gambar 1. Grafik Hubungan antara w/c dengan Kuat Tekan Beton Berpori

Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa dari penelitian terdahulu yang dijadikan acuan, w/c dengan nilai 0,2 menghasilkan kuat tekan beton berpori maksimum, yaitu sebesar 57,2 MPa, sedangkan w/c 0,25 menghasilkan kuat tekan minimum, yaitu sebesar 7,68 MPa.

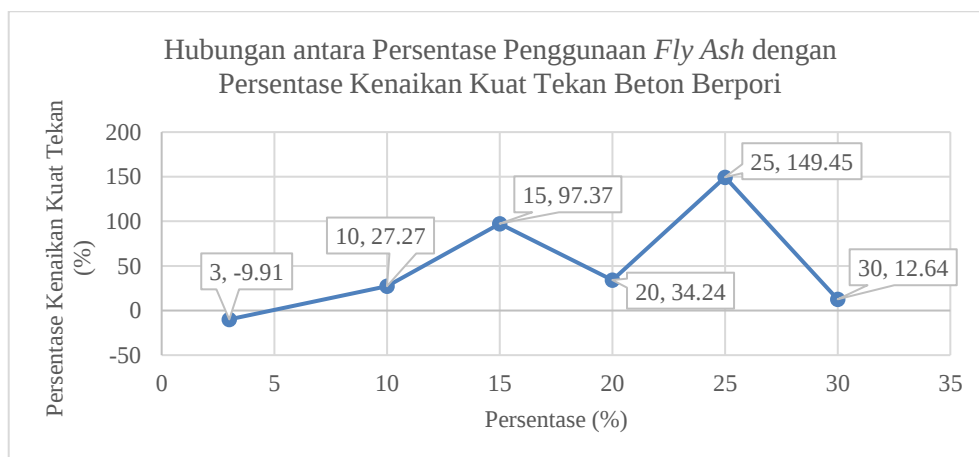
3.2. Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton

Pada penelitian terdahulu yang ditinjau, terdapat penelitian yang menggunakan *fly ash* kelas F dan kelas C. Variasi lain yang dilakukan terhadap *fly ash* adalah jumlah penggunaannya dalam campuran. Jumlah penggunaan *fly ash* dalam campuran beton berpori biasanya dalam bentuk persentase terhadap total berat *cementitious material* yang terdiri dari semen dan bahan tambahan pengganti semen, seperti *fly ash* dan *silica fume*. Jumlah persentase yang digunakan beraneka ragam dalam range 2-30%.

Penambahan *fly ash* pada beton berpori meningkatkan kuat tekan beton berpori, namun di beberapa penelitian, penambahan *fly ash* justru menurunkan kuat tekan beton berpori. Pengaruh *fly ash* terhadap kuat tekan beton berpori dapat dilihat di Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Hubungan antara Persentase Penggunaan *Fly Ash* dengan Kuat Tekan Beton Berpori



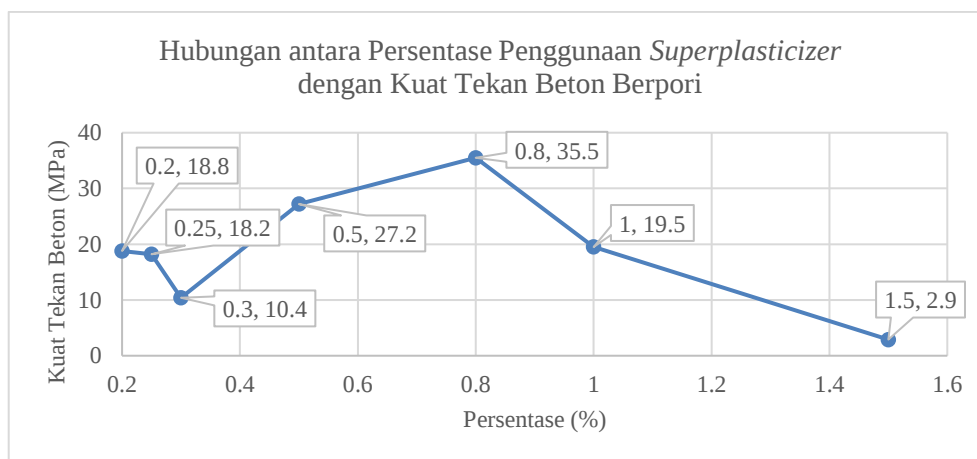
Gambar 3. Hubungan antara Persentase Penggunaan *Fly Ash* dengan Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Berpori

Dari penelitian terdahulu yang menggunakan *fly ash* dalam campurannya, diketahui bahwa persentase *fly ash* sebesar 30% menghasilkan kuat tekan maksimum, yaitu sebesar 37,22 MPa,

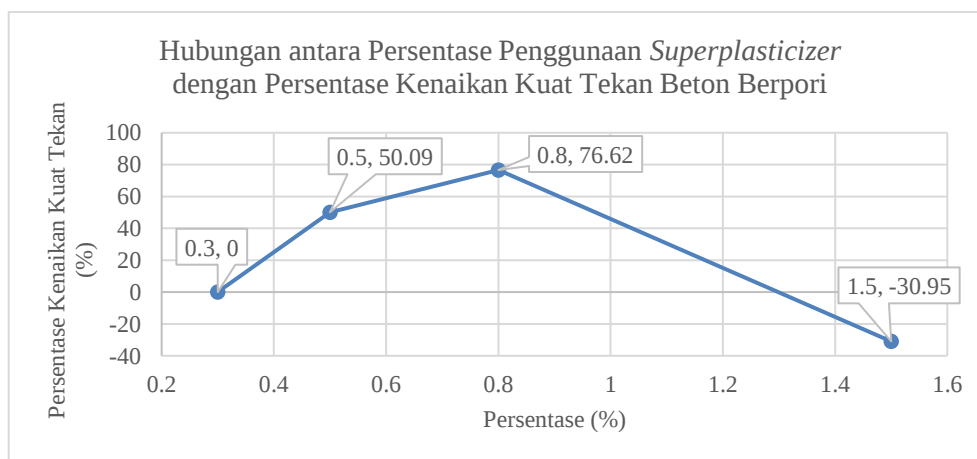
sedangkan persentase *fly ash* sebesar 25% menghasilkan kenaikan kuat tekan maksimum, yaitu sebesar 149,45%.

3.3. Pengaruh *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan Beton

Sama seperti *fly ash*, variasi yang dilakukan terhadap *superplasticizer* dalam campuran beton berpori adalah persentase penggunaannya dalam campuran. *Range superplasticizer* yang digunakan antara lain 0,2-1,5% terhadap volume semen. Ada sebagian penelitian yang tidak mencantumkan jumlah penggunaan *superplasticizer* pada campurannya. Pengaruh *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton dapat dilihat di Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hubungan antara Persentase Penggunaan *Superplasticizer* dengan Kuat Tekan Beton Berpori



Gambar 5. Hubungan antara Persentase Penggunaan *Superplasticizer* dengan Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton Berpori

Dari penelitian terdahulu yang menggunakan *superplasticizer* dalam campurannya, diketahui bahwa persentase *superplasticizer* sebesar 0,8% menghasilkan kuat tekan terbesar, yaitu sebesar 35,5 MPa dan juga menghasilkan kenaikan kuat tekan terbesar, yaitu sebesar 76,62%.

3.4. Pengaruh Fiber Terhadap Kuat Tekan Beton

Fiber atau serat yang digunakan pada penelitian-penelitian terdahulu terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu *polypropylene fiber*, *glass fiber*, *steel fiber*, *PPS fiber*, dan *polyester fiber* dengan panjang dan persentase terhadap volume beton yang berbeda-beda. Terdapat juga beberapa penelitian yang tidak mencantumkan panjang atau persentase penggunaan serat tersebut di campuran beton berpori. Hubungan jenis fiber dengan kuat tekan beton dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara Jenis Fiber dengan Kuat Tekan Beton Berpori

Penelitian	Jenis fiber	Panjang (mm)	Persentase (%)	Kuat tekan beton berpori (MPa)	Persentase kenaikan kuat tekan beton berpori (%)
[7]	<i>glass</i>	12	0,2	20	42,86
[7]	<i>steel</i>	36	0,5	19	35,71
[7]	PPS	50-54	0,3	22	57,14
[8]	<i>polyester</i>	<i>n/a*</i>	<i>n/a*</i>	17,2	4,88
[26]	<i>polypropylene</i>	30-50 19-40	0,2	18,28	52,72

*nb: diambil penelitian dengan kuat tekan dan kenaikan kuat tekan maksimum dari masing-masing jenis fiber

Dari 5 jenis fiber yang ditambahkan ke dalam campuran beton berpori diketahui bahwa *glass fiber* dengan panjang 12 mm dan persentase pada campuran sebesar 0,8% menghasilkan kuat tekan terbesar, yaitu sebesar 20 MPa, sedangkan *PPS fiber* dengan panjang 50-54 mm dan persentase pada campuran sebesar 0,3 menghasilkan kenaikan kuat tekan terbesar yang nilainya sebesar 57,14%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil studi literatur berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, komposisi campuran beton berpori yang optimal dengan kuat tekan 34,5 MPa, porositas 21,88%, dan permeabilitas 6,7 mm/s didapat pada penelitian [28] yang menggunakan agregat kasar dengan ukuran 2,36-13,2 mm, rasio $a/c = 4,55$, rasio $w/c = 0,31$, dosis *fly ash* = 20%, dosis *superplasticizer* dan *silica fume* yang tidak diketahui jumlahnya. *Fly ash*, *superplasticizer*, dan serat dapat meningkatkan atau menurunkan kuat tekan beton berpori tergantung persentase dan komposisi campuran lainnya. Persentase *fly ash* 30% menghasilkan kuat tekan beton berpori maksimum sebesar 37,22 MPa, sedangkan persentase *fly ash* 25% menghasilkan kenaikan kuat tekan beton berpori maksimum sebesar 149,45%. Persentase *superplasticizer* 0,8% menghasilkan baik kuat tekan beton berpori maksimum maupun kenaikan kuat tekan beton berpori maksimum masing-masing sebesar 35,5 MPa dan 76,62%. *Glass fiber* dengan panjang 12 mm dan persentase pada campuran sebesar 0,8% menghasilkan kuat tekan beton berpori maksimum sebesar 20 MPa, sementara *PPS fiber* dengan panjang 50-54 mm dan persentase pada campuran sebesar 0,3 menghasilkan kenaikan kuat tekan beton berpori maksimum sebesar 57,14%. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu menggunakan bahan tambahan (*admixture*) terhadap kuat tekan dari beton berpori yang dikembangkan/dimodifikasi dari penelitian-penelitian terdahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Maulana, E. Arifi, dan C. Remayanti, “Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Kasar Daur Ulang (RCA).” Universitas Brawijaya, Malang, 2017.
- [2] S. M. Chopda dan B. M. Chhattani, “Mechanical Properties of Pervious Concrete,” *Int. J. Technol.*, vol. 5, no. 2, hal. 113–117, 2015.
- [3] J. Yang dan G. Jiang, “Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, hal. 381–386, 2003.
- [4] B. E. Na jin, “Fly Ash Applicability in Pervious Concrete.” Ohio State University, Ohio, 2010.
- [5] B. Huang, H. Wu, X. Shu, dan E. G. Burdette, “Laboratory Evaluation of Permeability and Strength of Polymer-Modified Pervious Concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 5, hal. 818–823, 2010.
- [6] Y. Aoki, R. S. Ravindrarajah, dan H. Khabbaz, “Properties of Pervious Concrete Containing Fly Ash,” *Road Mater. Pavement Des.*, vol. 13, no. 1, hal. 1–11, 2012.
- [7] S. Hesami, S. Ahmadi, dan M. Nematzadeh, “Effects of Rice Husk Ash and Fiber on Mechanical Properties of Pervious Concrete Pavement,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 53, hal. 680–691, 2013.
- [8] B. H. Nayak, K. S. B. Prasad, dan M. P. Kumar, “An Experimental Study on Strength Characteristics of Pervious Concrete by Partial Addition of Glass Fiber and Polyester Fiber,” vol. 5013, no. 4, hal. 545–549, 2015.
- [9] J. T. Kevern, D. Biddle, dan Q. Cao, “Effects of Macrosynthetic Fibers on Pervious Concrete Properties,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 27, hal. 1–6, 2015.
- [10] A. I. D. Syafiarti, “Pengaruh Serat Polipropilen Dalam Beton Berpori.” Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2015.
- [11] B. K. V., S. V., H. S., dan M. Vadivel, “Flexutural Strength Behaviour of Pervious Concrete Using Fiber and Mineral Admixtures,” *Int. J. Earth Sci. Eng.*, vol. 9, no. 3, hal. 458–461, 2016.
- [12] K. N. Bhandari dan D. S. K. K., “Performance Study of Pervious Concrete Incorporated with Fly Ash.” Vellore Institute of Technology, Chennai, 2016.
- [13] K. N. Usha dan B. K. Smitha, “Suitability of Fly Ash in Replacement of Cement in Pervious Concrete,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 5, no. 08, hal. 115–118, 2016.
- [14] R. Patidar dan S. Yadav, “Experimental Study of Pervious Concrete with Polypropylene Fiber,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 12, hal. 22–27, 2017.
- [15] K. C. Suseno, “Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).” Universitas Brawijaya, Malang, 2017.
- [16] U. M. Muthaiyan dan S. Thirumalai, “Studies on the Properties of Pervious Fly Ash – Cement Concrete as a Pavement Material,” *Civ. Environ. Eng.*, hal. 1–17, 2017.
- [17] S. Mishra dan A. Jena, “Effect of Fly Ash on Properties of Pervious Concrete,” *Int. J. Eng. Technol. Manag. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 5, hal. 29–36, 2018.
- [18] R. Liu et al., “Investigation of the Porosity Distribution, Permeability , and Mechanical Performance of Pervious Concrete,” *Processes*, vol. 6, no. 78, hal. 1–14, 2018.
- [19] G. Xu et al., “Investigation on the Properties of Porous Concrete as Road Base Material,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, no. September, hal. 141–148, 2018.
- [20] H. Peng, J. Yin, dan W. Song, “Mechanical and Hydraulic Behaviors of Eco-Friendly Pervious Concrete Incorporating Fly Ash and Blast Furnace Slag,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 859, hal. 1–12, 2018.

- [21] V. Prakash, K. Chandrasekar, dan P. Vinoth, "Partial Replacement of Silica Fume and Fly Ash in Pervious Concrete," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 5, hal. 1823–1825, 2018.
- [22] E. P. I. Jong, E. Arifi, dan I. Waluyohadi, "Pengaruh Penggunaan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycle Coarse Aggregate)." Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, 2018.
- [23] A. Bano, A. Shukla, dan C. Kumar, "Effect of Fly Ash and Fibres on Strength and Permeability Characteristics of Pervious Concrete," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 4, hal. 12089–12093, 2019.
- [24] N. Saboo, S. Shivhare, K. Kumar, dan A. K. Chandrappa, "Effect of Fly Ash and Metakaolin on Pervious Concrete Properties," *Constr. Build. Mater.*, vol. 223, hal. 322–328, 2019.
- [25] K. S. B. Prasad dan N. V. L. N. P. Kumar, "Effect of Polycarboxylate on Compressive Strength of Pervious Concrete," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 03, hal. 309–315, 2019.
- [26] I. Baskar, M. Thiruvannamalai, dan R. Theenathayalan, "Experimental Study on Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Pervious Concrete," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 02, hal. 977–987, 2019.
- [27] Channappa dan P. K. Reddy, "Experimental Study on Steel Fiber-Reinforced Pervious Concrete," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 8, hal. 442–447, 2019.
- [28] H. Wang, H. Li, X. Liang, H. Zhou, N. Xie, dan Z. Dai, "Investigation on the Mechanical Properties and Environmental Impacts of Pervious Concrete Containing Fly Ash Based on the Cement-Aggregate Ratio," *Constr. Build. Mater.*, vol. 202, hal. 387–395, 2019.
- [29] M. Tri dan Anisah, "Properties of Pervious Concrete with Various Types and Sizes of Aggregate," *MATEC Web Conf.*, vol. 276, hal. 1–14, 2019.
- [30] H. Liu, G. Luo, L. Wang, dan Y. Gong, "Strength Time – Varying and Freeze – Thaw Durability of Sustainable Pervious Concrete Pavement Material Containing Waste Fly Ash," *Sustainability*, vol. 11, no. 176, hal. 1–13, 2019.
- [31] R. W. Pandei, S. W. M. Supit, J. Rangan, dan A. Karwur, "Studi Eksperimen Pengaruh Pemanfaatan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Berpori (Pervious Concrete)," *Politeknologi*, vol. 18, no. 1, hal. 45–52, 2019.