

PENGARUH SUBSTITUSI SLAG BAJA TERHADAP KUAT TARIK BELAH DAN PERMEABILITAS BETON POROUS (PERVIOUS CONCRETE)

Sukarman¹, Erlina Yanuarini², Andi Indianto³, Ryan Anggriawan⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, ⁴Department Head Environment, PT. Gunung Raja Paksi Tbk
^{1,2,3}Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425, ⁴Jl. Perjuangan No. 8, Sukadanau,
Cikarang Barat Bekasi 17530.

e-mail : sukarman@sipil.pnj.ac.id; erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id

Abstrak

Permasalahan terkait kerusakan jalan saat ini semakin berkembang. Kerusakan-kerusakan yang terjadi seringkali diakibatkan karena genangan air. Salah satu upaya yang bisa dilakukan yakni dengan menerapkan penggunaan beton porous (*pervious concrete*). Beton porous dapat mengurangi limpasan air dan menambah infiltrasi dalam tanah karena memiliki nilai porositas yang tinggi. Sebagai bahan substitusi, slag baja bisa menjadi alternatif dalam menggantikan agregat kasar (*coarse aggregate*). Slag baja merupakan limbah melimpah dari perusahaan industri produksi baja. Saat ini slag baja banyak digunakan dalam campuran beton mutu tinggi (*high strength concrete*). Penelitian beton porous ini secara umum mengacu pada ACI 522R 10. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh substitusi slag baja terhadap kuat tarik dan permeabilitas beton porous. Penelitian eksperimental ini menggunakan dua variasi faktor air-semen (*w/c* 0,25 dan *w/c* 0,30) dengan dua variasi agregat batu pecah dan steel slag yang berdiameter 10 mm-20 mm. Benda uji kuat tarik belah dan permeabilitas beton porous berupa silinder beton (diameter 15 cm, tinggi 30 cm) yang masing-masing variasi berjumlah 3 sampel. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan pada umur 28 hari. Berdasarkan hasil eksperimen pada beton porous dengan slag baja atau batu pecah, nilai kuat tarik belah beton dengan fas 0,30 lebih tinggi dari pada fas 0,25. Sementara nilai permeabilitas beton porous baik pada varian campuran slag baja maupun batu pecah beton dengan fas 0,25 lebih tinggi dari pada fas 0,30. Sehingga hubungan kuat tarik belah beton berbanding terbalik dengan nilai permeabilitas beton pada kondisi kedua fas tersebut (0,25 dan 0,30).

Kata kunci : beton porous, kuat tarik, permeabilitas

Abstract

*Problems related to road damage are currently growing. Damages that occur are often caused by waterlogging. One of the efforts that can be done is by applying the use of porous concrete. Porous concrete can reduce water runoff and increase infiltration in the soil because it has a high porosity. As a substitute material, steel slag can be an alternative in replacing coarse aggregate. Steel slag is an abundant waste from steel production industrial companies. Currently, steel slag is widely used in high-strength concrete mixes. This study of porous concrete generally refers to ACI 522R 10. The purpose of this study was to analyze the effect of steel slag substitution on the tensile strength and permeability of porous concrete. This experimental study used two variations of the *w/c* (0.25 and 0.30) with two variations of crushed stone aggregate and steel slag with a diameter of 10 mm-20 mm. The tensile strength and permeability specimen of porous concrete is in the form of a concrete cylinder (15 cm diameter, 30 cm height) with 3 samples of each variation. The tests were carried out at the age of 28 days. Based on the experimental results on porous concrete with steel slag or crushed stone, the value of the tensile strength of concrete with *w/c* 0.30 is higher than *w/c* 0.25. Meanwhile, the permeability value of porous concrete in both the mixed variant of steel slag and crushed stone with *w/c* 0.25 is higher than *w/c* 0.30. So that the relationship of the tensile strength of concrete is inversely proportional to the value of the permeability of the concrete in the conditions of the two *w/c* (0.25 and 0.30).*

Keywords : porous concrete, tensile strength, permeability

I. PENDAHULUAN

Permasalahan kerusakan jalan saat ini semakin berkembang. Kerusakan-kerusakan yang terjadi seringkali diakibatkan karena genangan air. Salah satu upaya yang bisa dilakukan dalam mendukung permasalahan tersebut yakni dengan menerapkan penggunaan beton porous (*pervious concrete*). Beton porous dapat mengurangi limpasan air dan menambah infiltrasi dalam tanah karena memiliki nilai porositas yang tinggi. Sehingga terdapat rongga yang dapat digunakan untuk meloloskan air ke permukaan tanah melalui celah-celah beton (Darwis Dkk, 2017). Beton porous pada umumnya memiliki kuat tekan yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal. Hal tersebut disebabkan karena tingkat kepadatan beton porous lebih rendah jika dibandingkan beton normal (ACI Committee 522, 2010). Selain itu tidak adanya agregat halus (*fine aggregate*) pada pembuatan campuran beton porous menyebabkan beratnya berkurang dan pori pada beton semakin banyak (Tjokrodinuljo, 2009). Namun, penggunaannya beton porous terbatas pada lalu lintas dengan kepadatan rendah seperti tempat parkir, trotoar, jalur jogging, jalan kecil, serta jalan bervolume rendah (Manalip & Wallah, 2019).

Sebagai bahan substitusi, slag baja bisa menjadi alternatif dalam menggantikan agregat kasar (*coarse aggregate*). Slag baja merupakan limbah melimpah dari perusahaan industri produksi baja. Selama ini slag baja banyak digunakan dalam campuran beton mutu tinggi (*high strength concrete*). Slag baja umumnya harganya lebih murah daripada batu pecah atau kricak, sehingga biaya produksi beton pun menjadi lebih ekonomis (Yao Dkk, 2019). Jika penggunaan slag baja meningkat, maka reduksi sisa peleburan baja juga akan meningkat. Sehingga pemanfaatan limbah slag baja sebagai substitusi atau pengganti agregat kasar (*coarse aggregate*) akan berjalan. Hasilnya kegiatan tersebut akan mendukung pemanfaatan limbah karena ramah lingkungan.

Penelitian-penelitian terkait beton porous (*pervious concrete*) dengan substitusi penuh slag baja sebagai agregat kasar (*coarse aggregate*) masih terbatas, untuk itu perlu diteliti pengaruh yang ditimbulkan dengan adanya substitusi tersebut terhadap kuat tarik dan permeabilitas beton porous (*pervious concrete*).

II. KAJIAN LITERATUR

II.1 Beton Porous (*pervious concrete*)

Beton porous adalah beton dengan kandungan rongga tinggi untuk memungkinkan air atau udara meresap. Pada umumnya beton pervious memiliki pori-pori dengan ukuran berkisar antara 2–8 mm, kandungan rongga 18%–35% dan kuat tekan 2,8–28,0 MPa (ACI, 2010). Beton porous juga biasa disebut dengan beton non-pasir karena tidak hanya menggunakan sedikit atau tidak sama sekali agregat halus (*fine aggregate*).

II.2 Slag Baja

Slag baja merupakan limbah yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada Dapur EAF didinginkan sebelum dibawa ke area pengolahan SPD (*Slag Processing Departement*) dan dikirim dengan menggunakan *dump truck* ke area SPD. Proses pengolahan slag baja dilakukan dengan menggunakan mesin pemecah batu (*crusher*), slag baja yang telah hancur masuk ke mesin *screening* untuk pemisahan, setelah itu steel slag dibawa dengan menggunakan *belt conveyor* untuk dilakukan pemisahan logam dan agregat slag. Secara umum proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. EAF Slag Processing (PT. Gunung Raja Paksi Tbk)

II.3 Kuat Tarik Belah

Beton adalah material yang lemah terhadap tarik. Nilai kuat tarik (f_t) untuk beton normal pada umumnya adalah antara (8-12)% dari kuat tekannya. Untuk mengetahui kuat tarik beton dapat dilakukan uji belah mengacu pada SNI SNI 03-2491-2002 tentang metode pengujian kuat tarik belah beton.

II.4 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan/kondisi yang dimiliki oleh objek dalam meloloskan cairan melalui rongga-rongga. Nilai permeabilitas beton porous dapat diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan prinsip *falling head permeability*, yaitu dengan mengukur waktu yang dibutuhkan oleh

ketinggian air jatuh dari batas atas sampai batas bawah (ACI, 2010).

II.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait beton non pasir ini telah banyak dilakukan sebelumnya. Pada tahun 2017, Darwis dkk telah meneliti beton non pasir ini dengan faktor air semen (fas) 0,4 dan agregat lokal dalam beberapa variasi perbandingan semen terhadap agregat (Darwis Dkk, 2017). Sementara lain ada yang menyatakan bahwa beton porous mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya rasio agregat/semen (Ginting, 2015).

Pengaruh jumlah semen dalam komposisi campuran beton lolos air (*pervious concrete*) dengan cara melakukan pengujian terhadap benda uji yang telah didesain dengan komposisi yang direncanakan. Perencanaan beton tersebut meliputi desain beton menggunakan perbandingan berat semen kerikil mulai 1:4,4 ; 1:4,9 ; dan 1 : 5,8 dengan fas (0,40 dan 0,50) (Adi, 2013).

Penelitian lain menunjukkan bahwa beton lolos air tanpa menggunakan pasir dengan penambahan masterroc HCA10 mempunyai kuat tarik belah yang tinggi yakni 4,66 MPa, dan nilai laju infiltrasi besar yakni $4,94 \times 10^{-3}$ mm/jam dengan fas sebesar 0,38 (Zulfikar, 2017)

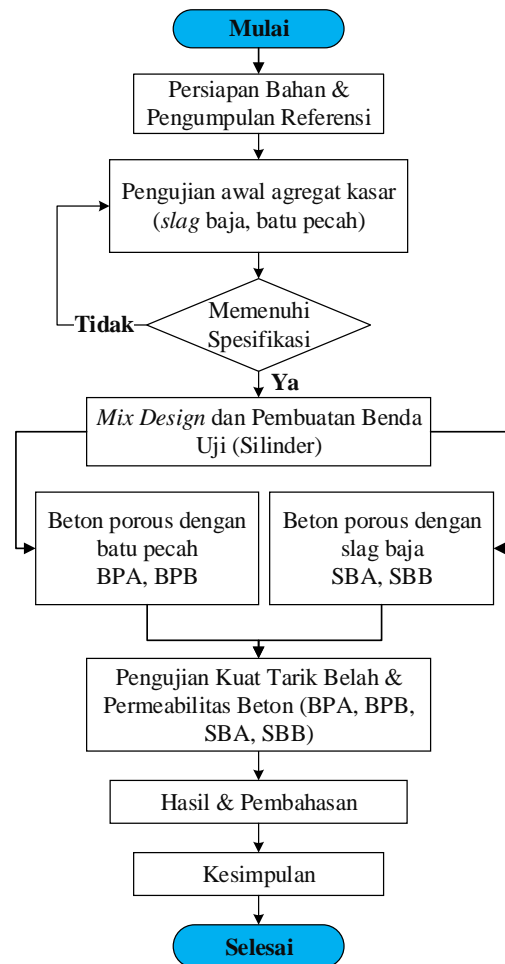
Penelitian beton porous yang dilakukan oleh Khonado Dkk (2019) menggunakan empat variasi dari ukuran agregat yang berbeda. Dari peneltian ini diketahui bahwa nilai permeabilitas dari beton poros semakin besar dengan semakin seragamnya ukuran agregat. Penggunaan agregat yang seragam akan membuat rongga dalam beton porous semakin meningkat (Khonado Dkk, 2019).

Namun yang perlu diperhatikan bahwa dengan berat jenis yang besar berpengaruh dalam pengerjaan (*workability*) saat pembuatan benda uji. Untuk penggunaan *steel slag* dengan proporsi substitusi steel slag sebagai pengganti agregat kasar lebih dari 60%, *workability* dari campuran beton tidak bisa optimum (Pan Dkk, 2020).

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

III.1 Perancangan

Secara umum kegiatan yang dilakukan selama penelitian baik itu pengujian awal terkait material serta pengujian sampel untuk kuat tarik belah dan permeabilitas beton. Pengujian material dilakukan dengan mengacu pada Standar pengujian agregat kasar yakni standar ASTM C127 (ASTM, 2001) dan ASTM C136 (ASTM, 2007) yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

III.2 Analisis Data

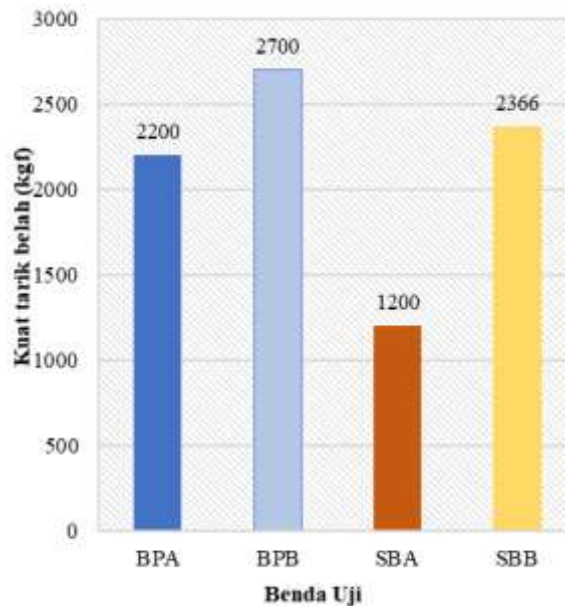
Pengujian material tersebut meliputi berat jenis dan kadar air batu pecah/split yang berasal dari Rumpin. Hasilnya diketahui bahwa rata-rata berat jenis batu pecah adalah 2,54 gr/cm³, berat jenis SSD gr/cm³, dan kadar air 1,7%. Sementara hasil pengujian terkait berat jenis dan kadar air slag baja yang berasal

dari PT Gunung Garuda menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis batu pecah adalah 3,47 gr/cm³, berat jenis SSD 3,49 gr/cm³, dan kadar air 0,6%.

Adapun hasil pengujian kuat tarik belah beton porus dengan slag baja atau batu pecah dengan faktor air semen (fas) 0,25 dan 0,30 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Porous dengan Slag Baja dan atau Batu Pecah

Umur (hari)	Type Benda Uji	Kode	Berat (grf)	Berat rata-rata (grf)	Kuat Tarik rata-rata (kgf)	Kuat Tarik (kgf)	Type Benda Uji	Kode	Berat (grf)	Berat rata-rata (grf)	Kuat Tarik rata-rata (kgf)	Kuat Tarik (kgf)
28	BPA	BPA-1	7800		2200		SBA	SBA-1	9600		1000	
		BPA-2	8300	8083	2600	2200		SBA-2	10000	9833	1500	1200
		BPA-3	8150		1800			SBA-3	9900		1100	
28	BPB	BPB-1	8300		2400		SBB	SBB-1	10000		2500	
		BPB-2	8700	8600	2600	2700		SBB-2	10000	9933	2800	2367
		BPB-3	8800		3100			SBB-3	9800		1800	



Gambar 3. Kuat Tarik Belah Beton Porous dengan Slag Baja atau Batu Pecah Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3, penambahan berat yang terjadi pada benda uji sekitar 18,5%. Hasil ini didapatkan dari rata-rata berat benda uji beton porous dengan slag baja (9,883 kgf) dibandingkan dengan berat benda uji beton porous dengan batu pecah (8,342 kgf). Sesuai dengan hasil tersebut, maka dengan adanya slag baja sebagai substitusi agregat kasar akan meningkatkan berat jenis campuran beton (Datu dan Khairil, 2019).

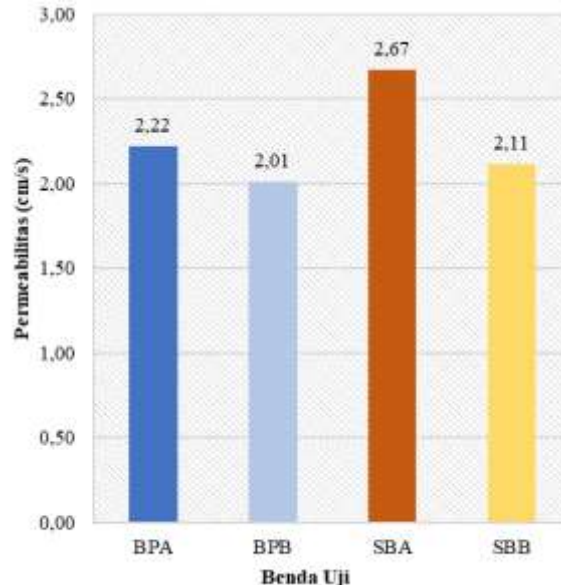
Kuat tarik belah beton porous dengan slag baja (SBA, SBB) menunjukkan bahwa kuat tarik rata-rata dengan fas 0,30 lebih tinggi dibanding dengan fas 0,25. Selanjutnya terlihat bahwa kuat tarik belah

beton porous dengan adanya substitusi slag baja secara penuh sebagai pengganti agregat kasar lebih rendah dibandingkan dengan kuat tarik belah beton porous dengan batu pecah. Hal tersebut mungkin akibat penggunaan steel slag dengan proporsi substitusi steel slag sebagai pengganti agregat kasar lebih dari 60%, *workability* dari campuran beton tidak bisa optimum (Pan Dkk, 2020).

Berikutnya hasil pengujian permeabilitas beton porous dengan slag baja atau batu pecah dengan faktor air semen (fas) 0,25 dan 0,30 ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Pengujian Permeabilitas Beton Porus dengan dan Tanpa Slag Baja

Benda Uji	No. Benda Uji	Waktu (Menit)			Rata-rata waktu (s)	Volume air (cm ³)	Debit (m ³ /s)	Rata-rata Debit (m ³ /s)	Permeabilitas (cm/s)	Rata-rata Permeabilitas (cm/s)
		I	II	III						
BPA	BPA-1	5,02	5,42	5,16	5,20	2000	384,615	392,71	2,18	2,22
	BPA-2	5,31	5,07	4,59	4,99	2000	400,802		2,27	
	BPA-3	5,57	5,40	5,64	5,54	2000	361,228		2,04	
BPB	BPB-1	5,21	6,23	5,34	5,59	2000	357,569	355,05	2,02	2,01
	BPB-2	5,56	5,58	5,88	5,67	2000	352,526		1,99	
	BPB-3	4,41	4,25	4,02	4,23	2000	473,186		2,68	
SBA	SBA-1	3,41	3,54	3,67	3,54	2000	564,97	471,88	3,20	2,67
	SBA-2	5,33	5,13	5,38	5,28	2000	378,79		2,14	
	SBA-3	4,66	5,14	5,32	5,04	2000	396,83		2,24	
SBB	SBB-1	5,65	5,59	5,31	5,52	2000	362,54	373,58	2,05	2,11
	SBB-2	5,00	5,53	5,07	5,20	2000	384,62		2,18	
	SBB-3	5,33	5,65	5,77	5,58	2000	358,21		2,03	



Gambar 4. Permeabilitas Beton Porous dengan Slag Baja atau Batu Pecah Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4, nilai permeabilitas beton porous dengan slag baja sebagai pengganti agregat kasar lebih besar dibandingkan dengan permeabilitas beton porous dengan menggunakan batu pecah. Nilai permeabilitas beton porous dengan varian campuran slag baja dan fas (0,25; 0,30) berturut-turut adalah 2,67 cm/det dan 2,11 cm/det, sementara pada varian campuran batu pecah berturut-turut adalah 2,22 cm/det dan 2,01 cm/det. Beton porous dengan slag baja atau batu pecah pada faktor air semen 0,25 (BPA, SBA) memiliki permeabilitas yang lebih besar daripada beton porous dengan slag baja atau batu pecah pada faktor air semen 0,30 (BPB, SBB). Hal tersebut sejalan dengan Desmaliana Dkk, bahwa bahwa nilai fas sangat berpengaruh terhadap terjadinya permeabilitas pada beton porous (Desmaliana Dkk, 2018).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

IV.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Benda uji beton porous dengan substitusi penuh dari slag baja (SBA dan SBB) memiliki rata-rata kuat tarik belah yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton porous dengan batu pecah (BPA dan BPB) pada kedua variasi fas (0,25 dan 0,30).
2. Hasil pengujian beton porous dengan slag baja (SBA, SBB) menunjukkan bahwa kuat tarik rata-rata dengan fas 0,30 lebih tinggi dibanding dengan fas 0,25.
3. Benda uji beton porous dengan substitusi penuh dari slag baja (SBA dan SBB) memiliki rata-rata permeabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton porous dengan batu pecah (BPA dan BPB) pada kedua variasi fas (0,25 dan 0,30).
4. Hasil pengujian beton porous dengan slag baja (SBA, SBB) menunjukkan bahwa permeabilitas rata-rata dengan fas 0,25 lebih tinggi dibanding dengan fas 0,30.

IV.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah dilakukan penelitian diantaranya:

1. Pada saat pemadatan beton selama pembuatan benda uji seharusnya secara maksimal sesuai dengan standar yang ada agar beton padat dengan merata.
2. Perlu melakukan pengujian sejenis dengan memvariasikan proporsi slag baja sebagai material substitusi.
3. Melakukan percobaan yang sama dengan variasi jenis, ukuran agregat dan tipe semen yang dipakai.

REFERENSI

- ACI Committee 522, "Report on Pervious Concrete," 2010.
- Adi, P. 2013. Kajian Jenis Agregat dan Proporsi campuran Terhadap Kuat Tekan Daya Tembus Beton Porus, *Jurnal Teknik*. 3 (2). Yogyakarta, Oktober, 2013. 100-106.
- ASTM C 127, "Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, C 127 – 88 (Reapproved 2001)," ASTM, vol. 04, no. Reapproved, pp. 1–5, 2001.
- ASTM C 136, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates 1," ASTM, vol. I, no. 200, pp. 1–5, 2007, doi: 10.1520/C0136.
- Ginting, J. T. Sipil, F. Teknik, and U. Janabadra, "Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous," *J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 55, pp. 76–98, 2015.
- I. T. Datu and Khairil, "Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Agregat Halus Pada Produksi Beton Mutu Tinggi," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*, 2019, vol. 2019, pp. 119–123.
- K. Tjokrodinuljo, "Tjokrodinuljo, K., 2009. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta," p. 2009.
- Malinap & Wallah, 2019. "Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat". *Jurnal Sipil Statik* Vol.7 No.3 Maret 2019 (351-358) ISSN: 2337-6732.

- M. F. Khonado, H. Manalip, and S. E. Wallah, “Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat,” *Sipil Statik*, vol. 7, no. 3, pp. 351–358, 2019. A.
- S. Pan, D. Chen, X. Chen, G. Ge, D. Su, and C. Liu, “Experimental study on the workability and stability of steel slag self-compacting concrete,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 4, 2020, DOI: 10.3390/app10041291.
- Tennis, P., Leming, M., & Kiefer, C., 2004. *Pervious Concrete Pavements*.
- X. Yao, W. Wang, M. Liu, Y. Yao, and S. Wu, “Synergistic use of industrial solid waste mixtures to prepare ready-to-use lightweight porous concrete,” *J. Clean. Prod.*, vol. 211, pp. 1034–1043, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.252.
- Z. Darwis, B. Baehaki, and H. Supriyadi, “Beton Non-Pasir Dengan Penggunaan Agregat Lokal Dari Merak,” *J. Fondasi*, vol. 6, no. 1, pp. 101–111, 2017, doi: 10.36055/jft.v6i1.2019.
- Zulfikar dan Karolina, R. (2017). “Kajian Pendahuluan Beton Lolos Air (Porous Concrete) dengan Penambahan Masterroc HCA10”. *Jurnal Teknik Sipil USU*, Vol. 6 No. 1.