

Pengaruh Substitusi *Slag* Baja Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Non Pasir

Erlina Yanuarini¹ Andi Indianto², Sukarman³, Ryan Anggriawan⁴

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

^{2,3,4}Department Head Environment, PT. Gunung Raja Paksi Tbk

Jl. Perjuangan No. 8, Sukadanau, Cikarang Barat Bekasi 17530,

^{1,3}E-mail: erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id, sukarman@sipil.pnj.ac.id

Abstrak — *Beton porous non pasir dengan slag baja merupakan salah satu beton yang ramah lingkungan. Beton ini dapat menjadi alternatif untuk mengatasi permasalahan kerusakan jalan akibat genangan air, terutama pada trotoar, jalan taman, atau jalan lingkungan dalam skala terbatas. Slag baja dapat menggantikan agregat kasar karena memiliki kuat tekan yang mendekati agregat batu pecah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi steel slag terhadap kuat tekan beton porous non pasir. Penelitian eksperimental ini menggunakan dua variasi faktor air-semen (w/c 0,25 dan w/c 0,3) dengan dua variasi agregat batu pecah dan steel slag dengan diameter 10 mm-20 mm. Uji tekan pada benda uji dilakukan pada umur 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Penelitian ini mengacu pada ACI 522R 10. Penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton porous non pasir menggunakan steel slag sebagai agregat kasar memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton tidak halus porous menggunakan batu pecah.*

Kata-kata Kunci: beton porous; kuat tekan; slag baja.

Abstract — *Non-sand porous concrete with steel slag is one of the environmentally friendly concrete. This concrete can be an alternative to overcome the problem of road damage due to puddles, especially on sidewalks, park roads, or environmental roads on a limited scale. Steel slag can replace coarse aggregate because it has a compressive strength close to crushed stone aggregate. This study aims to analyze the effect of steel slag substitution on the compressive strength of non-sand porous concrete. This experimental study used two variations of the water-cement factor (w/c 0.25 and w/c 0.3) with two variations of crushed stone aggregate and steel slag with a diameter of 10 mm-20 mm. The compressive test on the specimens was carried out at the age of 14 days, 21 days, and 28 days. This study refers to ACI 522R 10. This study shows that the compressive strength of non-sand porous concrete using steel slag as coarse aggregate has a lower compressive strength than non-porous concrete using crushed stone.*

Keywords: compressive strength; porous concrete; steel slag.

I. PENDAHULUAN

Kondisi jalan yang selalu terendam air merupakan salah satu dari sekian banyak penyebab jalan menjadi rusak. Salah satu solusi yang bisa diterapkan yakni dengan menggunakan beton non pasir atau beton porous. Beton porous lebih menonjolkan nilai estetikanya dan hanya menggunakan sedikit semen karena hanya untuk melapisi permukaan agregat kasar (*coarse aggregate*). Sehingga terdapat rongga yang dapat digunakan untuk meloloskan air ke permukaan tanah melalui celah-celah beton (Darwis et al., 2017).

Tidak adanya agregat halus (*fine aggregate*) pada pembuatan beton porous menyebabkan beton berpori dan beratnya berkurang (Tjokrodinuljo, 2009). Beton porous umumnya memiliki kuat tekan yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal. Hal ini disebabkan tingkat

kepadatan beton porous lebih rendah dibandingkan beton normal (ACI Committee 522, 2010). Kuat tekan beton porous tersebut sangat dipengaruhi oleh faktor air semen (w/c) dan jenis agregat kasar yang dipakai. Agregat kasar yang ramah lingkungan diperlukan untuk dapat menjadi substitusi dari batu pecah. Jika penggunaan *slag* baja meningkat, maka reduksi sisa peleburan baja juga akan meningkat (lebih ramah lingkungan). Disamping itu, *slag* baja juga harganya lebih murah daripada batu pecah, sehingga biaya produksi beton pun menjadi lebih ekonomis (Yao et al., 2019).

Slag baja umumnya digunakan sebagai salah satu substitusi agregat kasar untuk beton normal dan beton mutu tinggi. Namun demikian *slag* baja juga dipakai sebagai campuran beton aspal (Rahmawati, 2017) dan bahan perkerasan jalan

(MCA & Susanti, 2017). Penelitian-penelitian terkait beton porous non pasir dengan substitusi penuh dari *slag* baja sebagai agregat kasarnya masih terbatas, maka perlu diteliti pengaruh yang ditimbulkan dengan adanya substitusi tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi dari *slag* baja terhadap kuat tekan beton porous non pasir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Beton porous non pasir ini dikenal karena kegunaannya yang mampu mencegah genangan air pada permukaan beton. 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 dengan beberapa variasi perbandingan semen terhadap agregat. Kuat tekan (3,712 MPa) tertinggi didapatkan pada rasio semen terhadap pasir 1:6 (Darwis et al., 2017).

Penelitian beton porous yang dilakukan oleh Khonado menggunakan empat variasi dari ukuran agregat yang berbeda. Dari penelitian ini diketahui bahwa nilai permeabilitas dari beton porous semakin besar dengan semakin seragamnya ukuran agregat. Penggunaan agregat yang seragam akan membuat rongga dalam beton porous semakin meningkat (Khonado et al., 2019). Penelitian lain terkait beton porous telah dilakukan oleh Mashuri dkk. Dalam penelitian ini menggunakan agregat kasar dari batu pecah dan penambahan admixture Mater Ease 5010 sebagai campuran beton porous. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan dari beton porous akan dipengaruhi oleh penambahan admixture (Mashuri et al., 2021).

Agregat kasar merupakan komponen penting dalam campuran beton. Agregat kasar ini umumnya berupa batu pecah. Namun dalam penelikutian terbaru limbah dari parbikasi baja yang dikenal sebagai *slag* baja dapat digunakan untuk mensubstitusinya. *Slag* baja biasanya digunakan sebagai material substitusi dalam campuran beton normal, beton mutu tinggi bahkan juga untuk campuran beton aspal.

Pemanfaatan slag baja sebagai agregat kasar dalam campuran beton normal pernah telah dilakukan oleh Anggara dkk. Dari penelitian ini diketahui bahwa penggunaan slag baja sebagai agregat kasar sebesar 60% dapat mencapai kuat tekan mencapai 14,05 MPa pada umur 28 hari.

Kekuatan yang dicapai ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kekuatan yang dicapai campuran beton normal tanpa slag baja sebesar 19,04 MPa (Anggara et al., 2017).

Penggunaan limbah *slag* baja sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran aspal hot roll sheet (HRS) akan memberikan *performance* yang lebih baik dalam pengujian aspal jika menggunakan ukuran 3/8 inch. Stabilitas campuran akan meningkat seiring dengan semakin meningkatnya kadar *slag* baja (Rahmawati, 2017). Penggunaan *slag* baja juga dinilai meningkatkan gaya adhesi dari aspal dan agregat. (Liu et al., 2020).

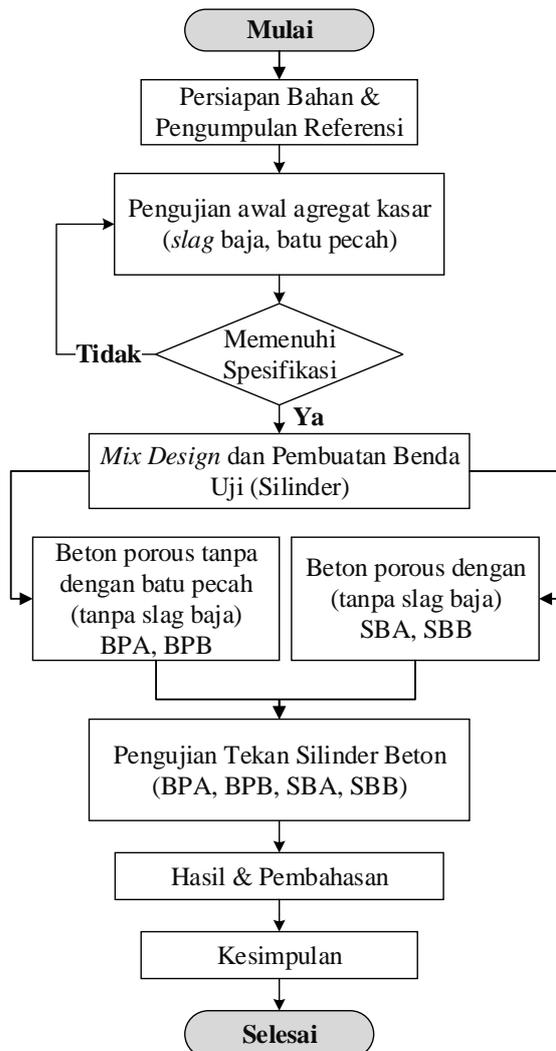
Di samping itu, slag baja sebenarnya juga dapat digunakan sebagai agregat halus. Pemanfaatan *slag* sebagai agregat halus pernah dilakukan oleh Datu dan Khairil untuk mendapatkan campuran beton mutu tinggi $F_c' 50$ MPa. Penggunaan *slag* baja sebagai agregat halus sebesar 100% mampu menaikkan kekuatan beton hingga mencapai 57,08 MPa (Datu & Khairil, 2019). *Slag* baja juga pernah digunakan dalam campuran beton SCC (*Self-Compacting Concrete*) yang dilakukan oleh Pan dkk. Penggunaan *slag* baja sebesar 60% sebagai pengganti agregat halus menunjukkan kuat tekan yang relatif sama dengan campuran beton SCC tanpa *slag* baja (Pan et al., 2020).

Dapat disimpulkan bahwa *slag* baja sebagai pengganti agregat kasar maupun agregat halus mempunyai *performance* yang relatif bagus dari segi kekuatannya namun penelitian terkait *slag* baja sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton porous non-pasir masih terbatas, sehingga dengan dilakukan penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui pengaruh substitusi *slag* baja terhadap kuat tekan beton porous non pasir.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan dimulai dari persiapan bahan penelitian dan pengumpulan daftar referensi, pengujian awal bahan campuran beton porous, perencanaan *mix design* beton porous, pembuatan benda uji, pengujian tekan silinder beton porous, analisis dan evaluasi hasil pengujian beton porous. Standar pengujian agregat kasar didasarkan pada ASTM C 127 (ASTM C 127, 2001) dan ASTM C136 (ASTM C 136, 2007). Sedangkan standar pengujian kuat tekan silinder dan kuat tarik belah silinder beton berturut-turut didasarkan pada SNI 1974-2011 (SNI 1974-2011, 2011) dan SNI 2491-

2014(SNI 2491-2014, 2014). Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Benda uji silinder beton porous dalam Gambar 1 memiliki variabel tetap yaitu dalam hal pengujian tekan yaitu pada umur 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis agregat kasar yang digunakan dan faktor air semen. Jenis agregat kasar ada dua yaitu dari batu pecah (tanpa *slag* baja) dan *slag* baja. Faktor air semen ada dua variasi yaitu 0,25 dan 0,3 didasarkan pada ACI 522R (ACI 522R-06, 2006) dan penelitian dari Ginting, dkk. (Ginting et al., 2015).

Namun pada penelitian ini terdapat beberapa perbedaan ukuran agregat maksimum yang dipakai. Pada penelitian digunakan ukuran agregat maksimum baik untuk batu pecah atau *slag* baja 20 mm, sementara pada penelitian Ginting, dkk.

menggunakan ukuran maksimal 40 mm (Ginting et al., 2015). Dengan adanya variasi ukuran agregat maksimum yang dipakai, maka dimungkinkan terjadinya hasil penelitian yang bisa saja berbeda. Adapun jumlah sampel yang digunakan adalah sejumlah 3 sampel setiap variasi jenis pengujian dengan total 36 benda uji dengan rincian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pertimbangan pengambilan jumlah sampel ini didasarkan pada penelitian yang sebelumnya (Ginting et al., 2015; Megasari et al., 2020; Pandei et al., 2019).

Tabel 1. Benda Uji Beton Porous Non Pasir

No	W/C	Agregat kasar	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel/Benda Uji untuk uji tekan pada umur			Total Sampel/Benda Uji
				14 hr	21 hr	28 hr	
1	0,25	Non <i>Slag</i> (Batu Pecah)	BPB	3	3	3	9
2	0,3	Non <i>Slag</i> (Batu Pecah)	BPA	3	3	3	9
1	0,25	dengan <i>Slag</i> Baja	SBA	3	3	3	9
2	0,3	dengan <i>Slag</i> Baja	SBB	3	3	3	9
Total Keseluruhan Benda Uji							36

w/c = Faktor Air Semen; BPA = Beton Porous dengan Batu Pecah (Non *Slag*) & *w/c* 0,25; BPB = Beton Porous dengan Batu Pecah (Non *Slag*) & *w/c* 0,30; SBA = Beton Porous dengan *Slag* Baja & *w/c* 0,25; SBB = Beton Porous dengan *Slag* Baja & *w/c* 0,30.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian material telah dilakukan dengan mengacu pada Standar pengujian agregat kasar didasarkan pada standar ASTM C127 (ASTM C 127, 2001) dan ASTM C136 (ASTM C 136, 2007). Pengujian ini dilaksanakan sebelum dilaksanakan pembuatan benda uji beton porous. Berdasarkan hasil pengujian pendahuluan menunjukkan hasil pengujian terkait berat jenis dan kadar air dalam batu pecah/split yang berasal dari Rumpin. Dari pengujian ini diketahui 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 dalam *slag* yang berasal dari PT Gunung Garuda. Dari pengujian ini diketahui rata-rata berat jenis batu pecah adalah 3,47 gr/cm³, berat jenis SSD 3,49 gr/cm³, dan kadar air 0,6 %.

Hasil penelitian untuk pengujian kuat tekan beton porous non pasir dengan dan tanpa adanya substitusi penuh dari *slag* baja dengan faktor air semen 0,25 dan 0,3 ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3, dan Gambar 2.

Tabel 2. Pengujian Kuat Tekan Beton Porous Tanpa Slag Baja

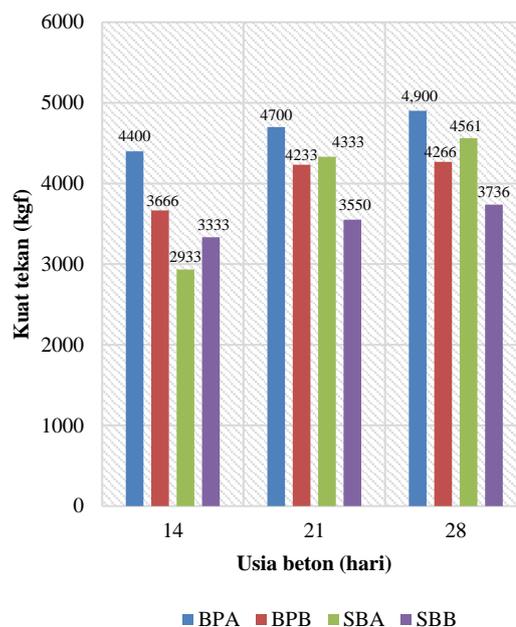
Umur Benda Uji (hari)	Tipe Benda Uji	Kode	Berat (grf)	Berat rata-rata (grf)	Kuat Tekan rata-rata (kgf)	Kuat Tekan (kgf)
14	BPA	BPA-1	8800		4000	4400
		BPA-2	8800	8800	4400	
		BPA-3	8800		4800	
14	BPB	BPB-1	8900		3900	3667
		BPB-2	8200	8533	3800	
		BPB-3	8500		3300	
21	BPA	BPA-1	8300		3800	4700
		BPA-2	8700	8533	5400	
		BPA-3	8600		4900	
21	BPB	BPB-1	8200		3600	4233
		BPB-2	8500	8500	4300	
		BPB-3	8800		4800	
28	BPA	BPA-1	8600		5300	4900
		BPA-2	8000	8333	4600	
		BPA-3	8400		4800	
28	BPB	BPB-1	8300		4800	4267
		BPB-2	8400	8433	2500	
		BPB-3	8600		5500	

Tabel 3. Pengujian Kuat Tekan Beton Porous dengan Slag Baja

Umur Benda Uji (hari)	Tipe Benda Uji	Kode	Berat (grf)	Berat Rata-rata (grf)	Kuat Tekan rata-rata (kgf)	Kuat Tekan (kgf)
14	SBA	SBA-1	9700		3000	2933
		SBA-2	9100	9333	3000	
		SBA-3	9200		2800	
14	SBB	SBB-1	9000		3900	3333
		SBB-2	9200	9067	3000	
		SBB-3	9000		3100	
21	SBA	SBA-1	9000		4200	4333
		SBA-2	8800	8933	3200	
		SBA-3	9000		5600	
21	SBB	SBB-1	9100		3800	3550
		SBB-2	9100	9100	4050	
		SBB-3	9100		2800	
28	SBA	SBA-1	9900		4421	4561
		SBA-2	10100	9867	3368	
		SBA-3	9600		5895	
28	SBB	SBB-1	9900		4000	3737
		SBB-2	10400	9967	4263	
		SBB-3	9600		2947	

Pada hasil pengujian material diketahui bahwa berat jenis untuk batu pecah dalam kondisi SSD sebesar 2,58 gr/cm³ lebih ringan dari berat jenis slag baja sebesar 3,49 gr/cm³. Hal ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya Windi dengan berat jenis batu pecah 2,6 gr/cm³ sementara slag baja 3,072 gr/cm³ (Rahmawati, 2017). Dalam penelitian Datu dan Khairil diketahui berat jenis berat jenis agregat

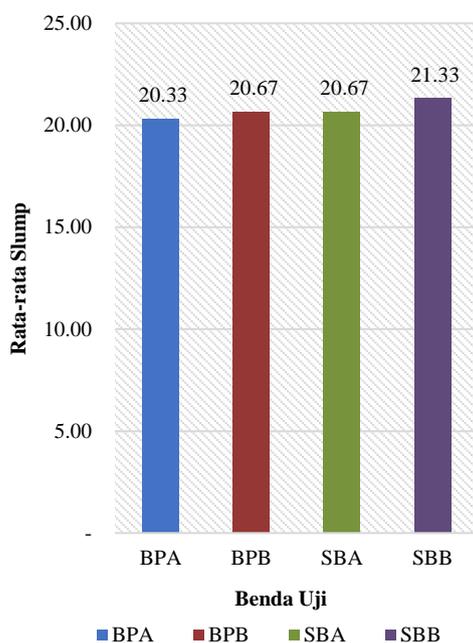
kasarnya 2,535 gr/cm³ sementara slag baja 3,19 gr/cm³ (Datu & Khairil, 2019). Dalam penelitian tersebut diketahui bahwa berat jenis slag baja juga cenderung lebih besar daripada berat jenis batu pecah. Jika dibandingkan dengan kedua penelitian sebelumnya, berat jenis batu pecah yang digunakan relatif sama, sedangkan untuk berat jenis slag baja jauh lebih tinggi. Berat jenis slag baja yang tinggi dapat membuat berat jenis campuran yang beton yang dihasilkan memiliki berat jenis yang jauh lebih tinggi dibandingkan campuran beton dengan menggunakan batu pecah.



Gambar 2. Kuat Tekan Beton Porous dengan dan Tanpa Slag Baja pada Sampai dengan Umur 28 Hari

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara rata-rata berat benda uji beton porous non pasir dengan slag baja (SBA, SBB) lebih berat dibandingkan dengan tanpa slag baja atau dengan batu pecah (BPA, BPB). Adapun penambahan berat yang terjadi sekitar 10,04 %. Hasil ini didapatkan dari selisih rata-rata berat benda uji beton porous dengan slag baja (9378 kgf) dibandingkan dengan berat benda uji beton porous dengan batu pecah (8522 kgf). Selaras dengan hasil yang didapatkan pada Tabel 2, dengan adanya substitusi slag baja sebagai substitusi agregat halus akan meningkatkan berat jenis campuran beton sebesar 9,82% (Datu & Khairil, 2019). Perhitungan tersebut didapatkan dari selisih rata-rata berat benda uji dengan substitusi penuh slag baja (2549 kgf) dan tanpa slag baja (2321 kgf).

Penelitian terkait substitusi penuh *slag* baja juga meningkatkan berat jenis termasuk untuk campuran beton normal. Bahkan dengan adanya substitusi penuh dari *slag* baja menjadi beton normal, maka berat jenis yang dihasilkan akan melebihi berat jenis rata-rata beton normal pada umumnya sebesar kurang lebih 2400 kgf (Anggara et al., 2017). Secara umum dengan adanya penambahan *slag* baja secara penuh sebagai substitusi agregat kasar memang menunjukkan adanya peningkatan berat campuran beton, baik untuk beton normal maupun beton porous seperti yang terjadi pada penelitian ini. Berat jenis yang besar berpengaruh dalam kemudian dalam pengerjaan (*workability*) beton di lapangan. Untuk penggunaan *steel slag* dengan proporsi substitusi *steel slag* sebagai pengganti agregat kasar lebih dari 60%, *workability* dari campuran beton tidak bisa optimum (Pan et al., 2020).



Gambar 3. Slump Beton Porous dengan dan Tanpa *Slag* Baja

Berdasarkan Gambar 3, hasil uji *slump* menunjukkan bahwa benda uji dengan w/c yang lebih besar (0,30) memiliki *slump* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dengan w/c lebih rendah (0,25), baik untuk benda uji dengan dan tanpa *slag* baja. Perbedaan yang kurang signifikan ini menunjukkan dari segi *slump* untuk beton porous dengan dan tanpa *slag* baja memiliki karakteristik relatif sama yaitu

memiliki *slump* yang lebih tinggi dari pada *slump* untuk struktur utama dari beton normal (kurang dari 175 mm) (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Dari kedua hal ini akan membuat beton porous dengan *slag* baja kurang cocok digunakan untuk beton yang digunakan pada struktur utama karena berat dan *slump*-nya rendah.

Hasil pengujian kuat tekan beton porous tanpa dan dengan *slag* baja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa pada faktor air semen yang sama 0,25, benda uji BPA menghasilkan rata-rata kuat tekan beton yang lebih tinggi dari pada benda uji SBA dari baik pada usia 14 hari, 21 hari maupun 28 hari. Perilaku sama juga terjadi pada benda uji BPB dan SBB dengan faktor air semen 0,30. Kuat tekan benda uji BPB lebih tinggi dari pada kuat tekan benda uji SBB baik pada umur 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Slag baja dengan kuat tekan materialnya yang cukup bagus diharapkan dapat menambah kekuatan dari benda uji. Pada penelitian sebelumnya, jika substitusi agregat kasar mencapai proporsi tertentu akan menghasilkan kuat tekan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan yang tanpa adanya substitusi. Kondisi akan berbeda jika agregat kasar yang semula batu pecah disubstitusikan secara penuh (100%) dari bahan limbah. Penelitian yang sama terkait penggunaan substitusi secara penuh agregat kasar dari bahan limbah juga menunjukkan perilaku yang sama (Pan et al., 2020).

Artinya substitusi secara penuh agregat kasar dengan *slag* baja justru akan menurunkan kuat tekan pada beton porous. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk mengetahui pada proporsi berapa *slag* baja sebagai pengganti/substitusi agregat kasar pada beton porous non pasir akan mampu meningkatkan kuat tekan dari beton porous non pasir dengan variasi faktor air semen, selaras dengan saran dari para peneliti sebelumnya (Khonado et al., 2019) (Mashuri et al., 2021).

V. KESIMPULAN

1. Kuat tekan benda uji beton porous non pasir dengan substitusi penuh dari slag baja (SBA dan SBB) juga memiliki rata-rata kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan benda uji beton porous non pasir dengan batu pecah sebagai agregat kasarnya (BPA dan BPB) baik pada usia 14 hari, 21 hari, maupun 28 hari pada faktor air semen 0,25 dan 0,30;

2. Benda uji beton porous non pasir dengan substitusi penuh dari slag baja (SBA dan SBB) juga memiliki rata-rata berat yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton porous non pasir dengan batu pecah sebagai agregat kasarnya (BPA dan BPB).

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 522R-06. (2006). *Pervious concrete*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44719-2_8
- ACI Committee 522. (2010). Report on Pervious Concrete. In *ACI 522R-10*.
- Anggara, A. D., Rahmawati, A., & Nurhidayati, A. (2017). Studi Eksperimen Penggantian Agregat Kasar Dengan Terak Baja Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 1(2), 2–13. <https://doi.org/10.20961/ijcee.v1i2.18152>
- ASTM C 127. (2001). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate , C 127 – 88 (Reapproved 2001). *ASTM, 04(Reapproved)*, 1–5.
- ASTM C 136. (2007). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates 1. *ASTM, i(200)*, 1–5. <https://doi.org/10.1520/C0136>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Darwis, Z., Baehaki, B., & Supriyadi, H. (2017). Beton Non-Pasir Dengan Penggunaan Agregat Lokal Dari Merak. *Jurnal Fondasi*, 6(1), 101–111. <https://doi.org/10.36055/jft.v6i1.2019>
- Datu, I. T., & Khairil. (2019). Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Agregat Halus Pada Produksi Beton Mutu Tinggi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019, 2019*, 119–123.
- Ginting, A., Sipil, J. T., Teknik, F., & Janabadra, U. (2015). Kuat Tekan Dan Perositas Beton Porous. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(55), 76–98.
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Sipil Statik*, 7(3), 351–358.
- Liu, W., Li, H., Zhu, H., & Xu, P. (2020). The interfacial adhesion performance and mechanism of a modified asphalt-steel slag aggregate. *Materials*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/ma13051180>
- Mashuri, H., Ridwan, A., Candra, A. I., & Azhari, F. M. (2021). Research Of Porous Concrete With Master Ease 5010 Mixed And Additional Rude Aggregate From Kedak Region. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 6(1), 83–96.
- MCA, T., & Susanti, E. (2017). Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Pengganti Batu Pecah Untuk Perkerasan Jalan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V 2017, 1*, 31–36.
- Megasari, S. W., Yanti, G., & Zainuri. (2020). Hubungan Karakteristik Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar. *Prosiding Seminar Nasional Pakar Ke 3, 1–7*.
- Pan, S., Chen, D., Chen, X., Ge, G., Su, D., & Liu, C. (2020). Experimental study on the workability and stability of steel slag self-compacting concrete. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041291>
- Pandei, R. W., Supit, S. W. M., Rangan, J., & Karwur, A. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Pemanfaatan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Berpori (Pervious Concrete). *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(1), 45–52. <https://doi.org/10.32722/pt.v18i1.1288>
- Rahmawati, A. (2017). *Pengaruh Limbah Baja (Steel Slag) Sebagai Pengganti Agregat Kasar No. ½ Dan No.8 Pada Campuran Hrs-Wc Terhadap Karakteristik Marshall*. 8, 1–9.
- SNI 1974-2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- SNI 2491-2014. (2014). Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–17.
- Tjokrodinuljo, K. (2009). *Tjokrodinuljo, K., 2009. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta*. 2009.
- Yao, X., Wang, W., Liu, M., Yao, Y., & Wu, S. (2019). Synergistic use of industrial solid waste mixtures to prepare ready-to-use lightweight porous concrete. *Journal of Cleaner Production*, 211, 1034–1043. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.252>