Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan Alkali Aktivator pada Beton Non-Pasir terhadap Kuat Tekan dan Laju Infiltrasi

Mira Setiawati*, Noto Royan, Maya Putriana Sari

Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jl. Jendral A. Yani 13 Ulu Palembang Sumatera Selatan, Indonesia

Email: mirasetiawati060781@gmail.com

Dikirim: 23 Mei 2022 Direvisi: 6 Juli 2022 Diterima: 8 Juli 2022

ABSTRAK

Saat ini banyak pembangunan infrastruktur yang dilakukan oleh negara Indonesia untuk mengubah fungsi kawasan resapan. Salah satu pembangunan infrastruktur yang dilakukan adalah pembangunan jalan. Banyak jalan yang dibangun adalah jalan kedap air yang terbuat dari aspal atau beton konvensional. Hal ini menjadi salah satu pemicu terjadinya genangan, serta kapasitas saluran air yang tidak mampu menampung debit air sehingga air meluap ke jalan dan air tidak dapat meresap ke dalam tanah. Salah satu inovasi yang digunakan untuk mengurangi atau mengantisipasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan lapisan jalan yang dapat dilalui air. Dapat digunakan sebagai *catchment area*, trotoar, atau jalan di kawasan pemukiman yang tidak padat lalu lintas. Adapun inovasi lapisan jalan dari beton yang dapat dilalui air salah satunya beton non pasir, dengan tidak menggunakan pasir dalam proses pembuatannya menimbulkan rongga udara di antara agregat kasar, sehingga air dapat meresap ke dalam tanah. Namun penggunaan semen sebagai bahan utama pembuatan beton digantikan dengan *fly ash*. Pada penelitian ini juga digunakan larutan aktivator basa berupa NaOH dan Na_2SiO_3 dengan tingkat molaritas NaOH yang digunakan 8, 12 dan 16 molar, serta rasio aktivator basa 2,5. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan rata-rata paling optimum dicapai pada variasi 12 molar dengan 9 MPa dengan laju infiltrasi rata-rata 16,12 mm/s dan variasi ini dapat diterapkan pada perkerasan untuk kanal tepi dan bahu sesuai dengan referensi ACI 522R-10.

Kata kunci: Beton bukan pasir, kuat tekan beton, laju infiltrasi

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini banyak pembangunan infrastruktur yang gencar dilakukan Negara Indonesia sampai merubah fungsi dari area resapan. Salah satu pembangunan infrastruktur yang dilakukan Negara Indonesia adalah pembangunan jalan. Banyak jalan yang dibangun merupakan jalan yang kedap air terbuat dari aspal atau beton konvensional. Hal ini salah satu pemicu terjadinya genangan, serta kapasitas saluran air yang tidak dapat menampung debit air sehingga air meluap memenuhi jalan dan air tidak dapat menyerap ke dalam tanah karena lapisan jalan yang kedap air.

Salah satu inovasi yang digunakan untuk mengurangi atau mengantisipasi permasalahan tersebut ialah menggunakan lapisan jalan yang dapat dilalui oleh air, bisa digunakan sebagai area resapan, trotoar, atau jalan di lingkungan perumahan yang tidak memiliki lalu lintas yang padat. Adapun inovasi lapisan jalan dari beton yang dapat dilalui oleh air adalah beton non-pasir. Beton non-pasir *(Non-Fines Concrete)* hampir sama dengan *pervious concrete* dirancang tanpa menggunakan pasir. Karena tanpa pasir menyebabkan terbentuk rongga-rongga udara, tak jarang dinamakan *porous concrete* atau nama lainnya *permeconcrete* atau *pervious concrete* (Mulyono, 2021).

Beton non-pasir juga dikenal dengan berbagai istilah seperti beton porous, *no-fines concrete*, *permeconcrete* dan *pervious concrete* dengan tidak digunakannya pasir dalam campuran menyebabkan terciptanya rongga antar agregat kasar, penyebaran rongga pada campuran merata serta saling terkoneksi (kadar rongga berkisar antara 12% - 25%) menyebabkan berkurangnya kepadatan beton dan permukaan efektif butiran yang harus diselimuti pasta semen, biasanya kebutuhan semen per m^3 beton berkisar antara 70 - 130 kg sehingga berdampak langsung terhadap takaran semen pada adukan dan menghemat biaya konstruksi (Trisnoyuwono, 2014). Beton non-pasir telah digunakan di beberapa negara. Umumnya diaplikasikan untuk lahan parkir, jalur jalan dengan lalu lintas ringan, trotoar dan kawasan permukiman karena sifatnya yang *permeable* (meneruskan air). Di Indonesia khususnya di kota Yogyakarta (Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada) beton non-pasir telah dicoba untuk pembuatan buis beton,

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

perkerasan jalan lingkungan, batako ringan, bangunan rumah sederhana sampai dengan gapura (Trisnoyuwono, 2014).

Menurut Mulyono (2021), beton *porous* memiliki kelebihan dan kelemahan. Kelebihan beton Non-Pasir yaitu memiliki tingkat penyusutan lebih cepat dibandingkan dengan beton padat, bobot beton non-pasir yang ringan, tidak membutuhkan banyak semen, sebab tidak menggunakan pasir maka luas permukaan agregat berkurang, metode pembuatan yang sederhana, *sound insulation* atau mengurangi kebisingan dengan memungkinkan udara untuk terjebak di antara ban kendaraan dan jalan, serta dapat dengan mudah dilalui oleh air. Adapun kelemahan beton non-pasir tidak dapat direkomendasikan dengan baja tulangan dan memiliki kuat tekan yang rendah, karena memiliki bobot yang ringan dan rongga udara.

Kuat tekan beton non-pasir pada umur 28 hari berkisar dari 3,5 MPa – 28 MPa (4000 – 5000 psi) dengan 17 MPa sebagai nilai khusus. Karena belum ada standar untuk fabrikasi yang dikembangkan lagi, metode *core* dianggap dapat diandalkan untuk mengukur kekuatan beton lolos air di lapangan. Besar nilai laju infiltrasi sangat bergantung kepada jumlah rongga yang ada pada beton non-pasir. Semakin besar jumlah rongga maka semakin besar nilai laju infiltrasinya, sebaliknya semakin kecil jumlah rongga maka semakin kecil nilai laju infiltrasinya. Pengujian ini mengacu pada ASTM 1701.

Material penyusun beton non pasir terdiri atas tiga bahan utama yaitu *fly ash*, alkali activator, agregat kasar dan air. *Fly ash* atau abu terbang merupakan residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batu bara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas SNI 2460-2014. *Fly ash* merupakan bahan pozzolan, di mana pozzolan merupakan bahan yang mengandung silika atau aluminium yang tidak mempunyai sifat penyemenan, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen. Dengan kandungan senyawa diantaranya silika (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), aluminium oksida (Al_2O_3), kalium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), dan sulfat (SO_4). Alkali aktivator merupakan kombinasi atau perbandingan antara senyawa alkali yang dapat menyebabkan unsur lain bereaksi, biasanya digunakan pada beton geopolimer sebagai larutan pengikat. Alkali aktivator memiliki fungsi sebagai bahan pengikat unsur aluminium dan silika yang terkandung dalam *fly ash* dan biasanya digunakan pada beton geopolimer (Lairenz dkk., 2009). Dalam penelitian larutan yang digunakan yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silika (Na_2SiO_3). Na_2SiO_3 atau *waterglass* dalam larutan aktivator berperan dalam meningkatkan kuat tekan karena mempercepat terjadinya reaksi pada proses polimerisasi. Sedangkan NaOH atau soda api merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan merupakan basa yang kuat berfungsi untuk mereaksikan unsur silika dan aluminium yang terdapat pada *fly ash* sehingga menghasilkan ikatan yang kuat (Titi dan Arie, 2016) yang dikutip pada (Solikin, 2021). Menurut SNI-1969-2008, agregat kasar merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No.1/2 inch). Agregat yang dipakai adalah agregat yang lolos saringan 19 mm. Dalam penelitian ini air digunakan hanya untuk melarutakan NaOH yang berbentuk kristal. Adapun syarat air yang baik menurut Tjokrodimulyo (2007) adalah air harus bersih, tidak mengandung lumpur, garam, klorida dan senyawa sulfat.

Kuat tekan beton merupakan salah satu pengujian untuk menentukan nilai kuat tekan pada beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, di antaranya faktor air semen, rasio volume agregat dengan semen dan jenis agregatnya. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat pada benda uji silinder beton sampai hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 1974 (2011), berikut rumus perhitungan uji kuat tekan beton:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$f'c$ adalah kuat tekan beton (N/mm^2), P adalah gaya tekan aksial (N), A adalah luas penampang melintang benda uji (mm^2).

Pengujian laju infiltrasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan berapa kadar air yang lolos dari permukaan beton dengan satuan mm/jam. Alat yang digunakan berupa cincin yang ukuran 12 inch. Pengujiannya dilakukan dengan cara menempelkan cincin ke permukaan beton dan dengan alat perekat supaya air yang akan dialirkan tidak keluar dari samping bawah cincin tersebut. Metode pengujiannya berdasarkan pada ASTM 1701 dengan berdasarkan rumus:

$$I = \frac{K.\ M}{D^2.\ t} \quad (2)$$

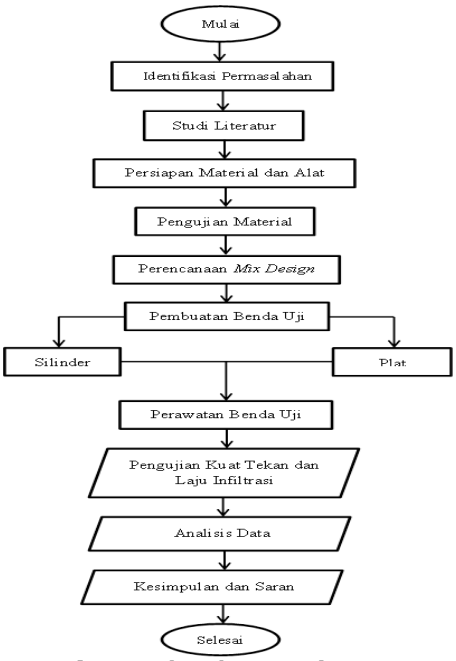
Keterangan I adalah laju infiltrasi (mm/jam), K adalah konstanta (126,87 inch-pound & 4,583666x10^3 SI), M adalah massa Air (kg), D adalah diameter (mm) dan t adalah lama Infiltrasi (s).

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

Penggunaan semen yang kian bertambah sebagai bahan utama penyusun beton, memiliki dampak buruk bagi lingkungan. Karena produksi semen menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2), di mana gas karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu komponen penyebab terjadinya pemanasan global atau *global warming*. Menurut laporan House (2018) setiap tahun lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi, dan menyumbang sekitar 8% emisi karbon dioksida (CO_2) di dunia. Oleh sebab itu pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dan larutan alkali aktivator sebagai larutan pengikat. Adapun larutan alkali aktivator yang dipakai yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hasil dari penggunaan variasi molaritas NaOH terhadap kuat tekan dan laju infiltrasi, serta mengetahui variasi mana yang dapat diaplikasikan pada perkerasan jalan.

2. METODOLOGI

Metode penelitian merupakan tahapan, proses, urutan ataupun alur kerja untuk mendapatkan tujuan dari penelitian yang dilaksanakan. Faktor yang diteliti adalah pengaruh penggunaan *fly ash* dan alkali aktivator terhadap kuat tekan dan laju infiltrasi pada beton non-pasir. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Program Studi Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang. Fly ash yang diperoleh dari PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, larutan alkali aktivator yang digunakan Na_2SiO_3 dan NaOH dengan rasio larutan 5:2, variasi kadar molaritas NaOH yang dipakai 8, 12 dan 16 molar. Menggunakan benda uji silinder ukuran 15x30 cm sebanyak 9 sampel dan benda uji plat ukuran 20x20x5 cm sebanyak 9 sampel. Adapun tahapan penelitian dipaparkan paad Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Pengujian Material dan Pembuatan Larutan NaOH

a. Pengujian Analisa Saringan mengacu pada pada SNI-03-1969-1990. Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar diperoleh hasil dengan batasan-batasan 7,2 < FM < 7,5.
b. Pengujian Berat Jenis SSD dan Penyerapan Air Agregat Kasar mengacu pada SNI-1969-2008 Dari pemeriksaan didapat nilai berat jenis sebesar 2,55 gr/cm^3, nilai berat jenis kering permukaan (SSD) sebesar 2,59 gr/cm^3, dan nilai berat jenis kering permukaan sebesar 2,67 gr/cm^3. Adapun nilai penyerapan yang dihasilkan sebesar 1,72%, berdasarkan ACI C 127 nilai ini berada dibawah nilai absorpsi agregat kasar maksimum yaitu sebesar 4%.
c. Pengujian Berat Isi Agregat Kasar mengacu pada SNI-1973-2008. Dari hasil pemeriksaan didapat nilai berat isi agregat kasar dengan dua cara, cara lepas 1412 kg/m^3 dan cara padat 1496 kg/cm^3.
d. Pengujian Keausan Agregat Kasar mengacu pada SNI-2417-2008. Dari hasil pemeriksaan keausan agregat kasar dengan mesin los angeles didapat nilai abrasi/keausan sebesar 23,38%.
e. Pengujian Kadar Air Agregat Kasar mengacu pada SNI-03-1971-1990. Dari hasil pemeriksaan didapat nilai kadar air yang terkandung di dalam agregat kasar sebesar 0,3%.
f. Pembuatan Larutan NaOH

$$\text{Molaritas} = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (3)$$

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

Keterangan M adalah Molaritas (mol), Mr adalah Massa molekul relatif (NaOH = 40 gr/mol), g adalah Massa zat terlarut (gr), V adalah Volume larutan (ml).
Untuk kebutuhan massa zat terlarut NaOH yang akan digunakan pada 8 molar sebanyak 320 gr, untuk 12 molar sebanyak 480 gr dan untuk 16 molar sebanyak 640 gr.

3. HASIL DAN DISKUSI

a. Mix Design Beton Non-Pasir dalam 1m^3

Perencanaan *mix design* beton non-pasir pada penelitian ini mengacu pada ACI 522R-10 yang dapat dilihat dari Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Komposisi mix design untuk beton non-pasir

Material	Proporsi lb/yd^3 (kg/m^3)
Semen	450 - 700 (270 - 415)
Agregat	2000 - 2500 (1190 - 1480)
w/cm (FAS)	0,27 - 0,34
Agregat : Semen	4 - 4,5:1
Pasir : Agregat	0 - 1:1

Sumber: ACI 522R-10

Tabel 2. *Mix Design* dalam 1m^3

Nama Sampel	Molaritas (Molar)	Fly Ash (kg/m^3)	Agregat Kasar (kg/m^3)	Alkali Aktivator (kg/m^3)
BP8M	8M	351	1450,8	119,34
BP12M	12M	351	1450,8	119,34
BP16M	16M	351	1450,8	119,34

Keterangan:
BP8M : Beton Non-Pasir 8 Molar NaOH
BP12M : Beton Non-Pasir 12 Molar NaOH
BP16M : Beton Non-Pasir 16 Molar NaOH

b. Hasil Pengujian Slump

Sebelum adukan beton dicetak, perlu dilakukan pengujian slump (Gambar 2) yang bertujuan untuk mengetahui homogenitas dan *workability* pada adukan beton segar. Adapun hasil yang didapatkan seragam di tiap variasi sebesar 21 cm.

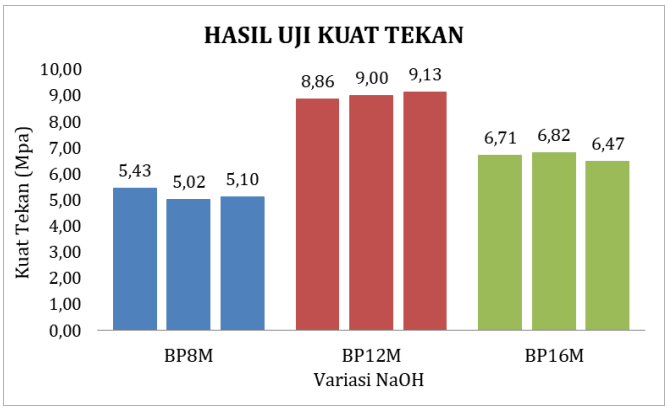
Gambar 2. Uji slump

c. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Beton yang sudah mencapai umur rencana yaitu 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan, untuk mengetahui besar beban yang dapat diterima beton non-pasir atau beton porous. Benda uji yang dipakai berukuran 15 × 30 cm (Gambar 3).

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

Gambar 3. Beton non pasir bentuk silinder



Gambar 4. Diagram batang hasil uji kuat tekan

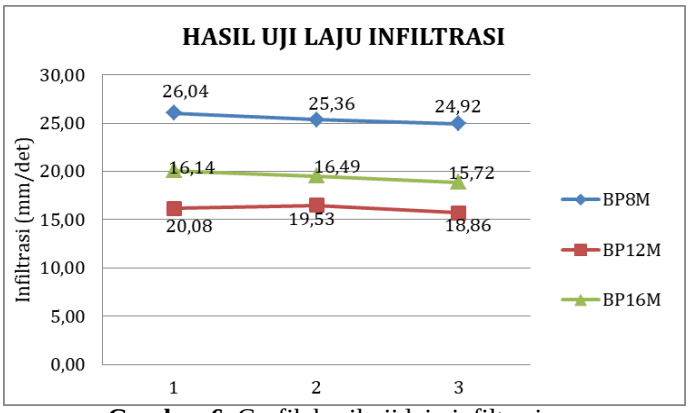
Dari diagram di atas hasil pengujian kuat tekan beton non-pasir dengan kadar molaritas NaOH sebesar 12 molar memiliki rata-rata nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan penggunaan kadar molaritas NaOH 8 dan 16 molar. Rata-rata nilai kuat tekan beton non-pasir pada variasi 12 molar pada umur 28 hari mencapai 9 MPa, sementara rata-rata nilai kuat tekan pada variasi 8 molar dan 16 molar secara berurutan adalah 5,19 dan 6,67 MPa. Dapat disimpulkan bahwa kadar molaritas NaOH yang digunakan mempengaruhi nilai kuat tekan beton, di mana semakin tinggi kadar molaritas NaOH nilai kuat tekan akan meningkat. Akan tetapi, jika kadar molaritas NaOH yang dipakai terlalu tinggi dapat menyebabkan nilai kuat tekan beton menurun. Hal ini terjadi karena kadar molaritas NaOH yang terlalu tinggi akan menghasilkan proses geopolimerisasi terlalu cepat sehingga mengganggu proses geopolimerisasi karena jumlah ion OH^- yang terbentuk terlalu berlebihan dan menyebabkan reaksi geopolimerisasi tidak efisien (Hamidi dkk., 2016).

d. Hasil Pengujian Laju Infiltrasi

Pada pengujian laju infiltrasi (Gambar 5) benda uji yang digunakan berukuran 20×20×5 cm pada umur perawatan 28 hari, yang dimaksudkan untuk mengetahui besarnya daya serap air yang dapat dilakukan beton non-pasir dalam satuan mm/jam. Pengujian dilakukan dengan alat uji laju infiltrasi berupa cincin infiltrasi dan plastisin (lilin mainan).

Gambar 5. Beton non pasir bentuk plat

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/



Gambar 6. Grafik hasil uji laju infiltrasi

Dari grafik (Gambar 6) hasil pengujian laju infiltrasi, nilai terendah terdapat pada variasi BP12M dengan nilai rata-rata 16,12 mm/det dan nilai tertinggi pada variasi BP8M dengan nilai rata-rata 25,44 mm/det dan variasi BP16M memiliki nilai rata-rata 19,49 mm/det. Dapat disimpulkan bahwa kadar molaritas NaOH mempengaruhi jumlah pori terbuka dan pori tertutup yang terdapat pada beton non-pasir. Penggunaan kadar molaritas NaOH yang tinggi membuat semakin sedikitnya jumlah pori yang terbentuk sedangkan kadar molaritas NaOH yang rendah membentuk jumlah pori yang lebih banyak.

e. Pengamplikasian Beton Non-Pasir pada Konstruksi

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, beton non-pasir dengan variansi kadar molaritas NaOH 8, 12 dan 16 molar dapat diaplikasikan sebagai bahan perkerasan adalah saluran tepi dan bahu jalan sesuai dengan acuan ACI 522R-10. Akan tetapi, jika mengacu pada SNI 03-0691-1996 yang mensyaratkan minimal kuat tekan beton mencapai 8,5 MPa pada mutu D untuk perkerasan taman dan penggunaan lainya, maka *mix design* pada variasi 12 molar merupakan campuran terbaik untuk beton non-pasir karena menghasilkan kuat tekan rata-rata 9 Mpa dengan nilai rata-rata laju infiltrasi sebesar 16,12 mm/det.

4. KESIMPULAN

Nilai kuat tekan rata-rata beton non-pasir tertinggi 9 MPa dicapai pada campuran NaOH 12 molar dan menurun pada campuran NaOH 16 molar dengan nilai kuat tekan rata-rata 6,67 MPa. Penggunaan molaritas NaOH yang terlalu tinggi tidak selalu meningkatkan mutu beton, campuran NaOH dengan kadar molaritas 12 molar merupakan kadar optimum yang dapat menghasilkan mutu beton yang baik. Nilai laju infiltrasi rata-rata tertinggi dicapai pada campuran NaOH 8 molar dengan 25,44 mm/det, sedangkan yang terendah diperoleh pada campuran NaOH 12 molar dengan nilai 16,12 mm/det. Penggunaan kadar molaritas NaOH yang rendah dapat menciptakan rongga udara dalam jumlah besar sehingga nilai laju infiltrasi yang diperoleh menjadi besar. *Mix design* beton non-pasir yang paling baik untuk diaplikasikan pada perkerasan jalan adalah variasi BP12M dengan kadar molaritas NaOH sebesar 12 molar, yang telah memenuhi syarat untuk perkerasan saluran tepi dan bahu jalan sesuai dengan acuan ACI 522R-10.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi NaOH yang sama dengan ukuran agregat kasar lebih kecil dan seragam. Perlu dilakukan penelitian dengan kadar molaritas NaOH yang lebih tinggi dari 12 molar dan tidak lebih dari 16 molar. Perlu dilakukan penelitian dengan menambah bahan tambahan yang bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan beton non-pasir.

DAFTAR PUSTAKA

ACI. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. In *American Concrete Institute* (Vol. 10, Issue Reapproved).

ASTM 1701. (n.d.). *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*. 3.

Hamidi, R. M., Man, Z., & Azizli, K. A. (2016). Concentration of NaOH and the Effect on the Properties of Fly Ash Based Geopolymer. *Procedia Engineering*, *148*, 189–193. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.568

House, C. (2018). *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon*.

Lairenz, K. N., Surya, R., & Hardjito, D. (2009). *Terhadap Karakteristik Mortar Geopolimer*. 178–185.

Mulyono, T. (2021). *Bahan Bangunan dan Konstruksi* (Ke-1). Stiletto Indie Book.

SNI 03 - 0691 - 1996. Bata beton (paving block)

SNI-03-1969-1990. (1990). *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*. 1–5.

SNI-03-1971-1990. (1990). *Pengujian Kadar Air Agregat*.

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

SNI-1969-2008. (2008). Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.

SNI-1973-2008. (2008). *Cara uji berat isi , volume produksi campuran dan kadar udara beton*.

SNI 1974. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.

SNI-2417-2008. (2008). *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*.

SNI-2460-2014, S. (2014). *Spesifikasi abu terbang batubara dan pozzolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*.

Solikin, M. (2021). *Analisis Pemakaian Kombinasi Fly Ash Tipe F dan Slag 1 : 1 pada Beton Geopolimer dengan Na2SiO3 dan NaOH sebagai Alkali Aktivator : Sebuah Kajian Literatur Analysis of 1 : 1 Fly Ash Type F and Slag Combination in Geopoly*. *14*(1), 13–20.

Trisnoyuwono, D. (2014). Beton Non-Pasir. In *Yogyakarta* (ke-1). Graha Ilmu.

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*.

DOI: 10.21063/JTS.2023.V1001.001-07
http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/