

KAJIAN AWAL PEMBUATAN BETON POROUS UNTUK *PAVING BLOCK* RAMAH LINGKUNGAN

Preliminary Study of Porous Concrete Production for Environmentally Friendly Paving Blocks

Yenni Ciawi¹⁾, I Made Alit Karyawan Salain²⁾, I Putu Adi Yana³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Udayana, e-mail: yenniciawi@unud.ac.id

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, e-mail: imaksalain@unud.ac.id

³⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, e-mail: iputuadiyana@gmail.com

Abstract

In heavily populated urban areas, high rainfall can cause inundation and even flooding because the catchment area is decreasing. To reduce rainwater runoff and increase groundwater recharge, porous concrete can be used in housing area, in parking lots and roads with low traffic loads. Porous concrete is an environmentally friendly and sustainable building material. This study aims to examine the effect of aggregate composition on the porosity and tensile strength of porous concrete. The composition of the concrete mixture is determined based on the weight ratio between portland cement type I (PC) and coarse aggregate (AK), i.e. 1 PC : 3 AK, 1 PC : 4 AK, and 1 PC : 5 AK and the ratio of fine aggregate weight (AH) of 0 ; 0.5 ; 1, and the w/c is 0.5. For each variation, six 150 mm cubes were made. The parameters tested were slump, volume weight, porosity and compressive strength at day 28. The results show that the more coarse aggregate, the lower the volume weight and its compressive strength, and the higher the porosity and slump. Fine aggregate addition increases the compressive strength and volume weight and decrease slump value and porosity. The highest slump value (205 mm) and the smallest volume weight and compressive strength were obtained from concrete mixture with PC/AK=1/5 without AH content. The smallest slump (170 mm) and porosity values were obtained from concrete mixture with PC/AK=1:3 and AH/AK=1 and the largest volume weight and compressive strength. In this study, the slump value tends to be directly proportional to porosity and inversely proportional to volume weight and compressive strength. For further research, it is recommended that the w/c value be reduced to get a larger porosity value but without a significant decrease in compressive strength.

Keywords: compressive strength, porosity, porous concrete

PENDAHULUAN

Pemanasan global mengakibatkan musim yang tidak menentu, menambah tinggi curah hujan di musim penghujan, sementara itu musim kemarau semakin kering (Saptoyo, 2021, Keman, 2007). Sementara itu, di kawasan perkotaan, luas permukaan resapan air semakin berkurang, yang mengakibatkan semakin tingginya frekuensi dan lama banjir dan genangan air (Uca dan Rahayu, 2021, Seng *et al.*, 2015,

Purwantara, 2015, Dewi dan Rudiarto, 2014). Di daerah yang tutupan permukaan tanahnya tinggi, genangan air dan limpasan hujan dapat dikurangi dengan menggunakan permukaan tutupan yang tembus air seperti beton dan aspal porous (Ginting dan Suyono, 2022). Beton porous disebut sebagai bahan bangunan ramah lingkungan dan berkelanjutan (Yang *et al.*, 2022, ACI Committee 522, 2010).

Beton relatif murah dibandingkan dengan kayu dan besi karena mudah

pengerjaan dan perawatannya, dapat menggunakan bahan lokal, mudah dibentuk menyesuaikan dengan kebutuhan, tahan terhadap perubahan cuaca, api dan korosi (Krisbiyantoro, 2005).

Beberapa contoh penggunaan beton adalah sebagai plesteran dan penutup lantai, tempat parkir, jalan setapak, lapangan bermain, dan sebagainya, yang mengurangi luas permukaan tanah untuk tempat air hujan meresap (Desmaliana *et al.*, 2018). Yao *et al.* (2018) bahkan menggunakan beton porous untuk jalan berbeban tinggi pada daerah bersalju dan curah hujannya tinggi. Wijeyawardana *et al.* (2022) melaporkan penggunaan beton porous di perkotaan untuk mengurangi limpasan permukaan sekaligus mengurangi polusi.

Beton yang baik mempunyai kedekatan tinggi, tetapi tidak bisa 100% kedap air (Murdock dan Brook, 1991). Porositas pasta semen tergantung pada kedekatan beton, dengan agregat normal. Namun, faktor dari distribusi ukuran pori tidak hanya fungsi yang sederhana.

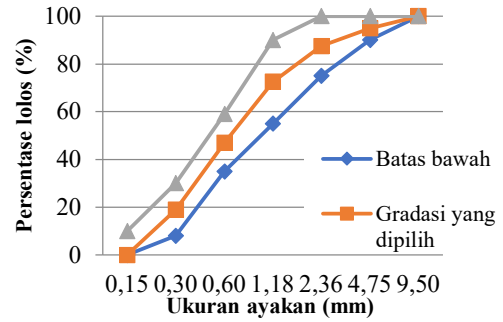
Beton porous (*porous concrete*) meresapkan air ke dalam tanah karena berpori akibat penggunaan hanya sedikit atau bahkan tanpa agregat halus dalam campuran betonnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi penggunaan agregat kasar dan agregat halus dalam beton terhadap nilai slump, kuat tekan, berat volume dan porositas beton porous pada fas 0,5.

BAHAN DAN METODE

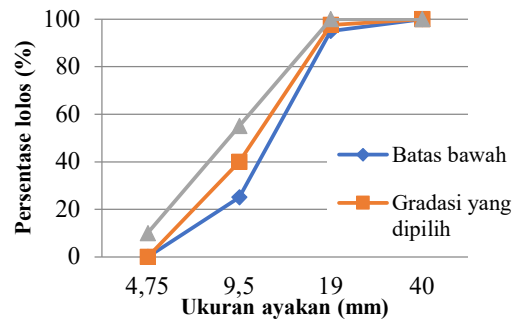
Benda Uji

Material beton dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan bahan untuk beton, yaitu semen Portland tipe I (PC) (Semen Tiga Roda), agregat halus (AH) berupa pasir dari Kabupaten Karangasem, Bali, agregat kasar (AK) berupa batu pecah dan air PDAM. Tempat penelitian adalah Laboratorium Beton dan Bahan, Prodi Teknik Sipil, Universitas Udayana.

Campuran agregat halus dirancang dengan gradasi zona 2 dan agregat kasar dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Distribusi ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Gradasi agregat halus



Gambar 2. Gradasi agregat kasar batu pecah

Diagram alir penelitian diberikan pada Gambar 3 dan beberapa dokumentasi penelitian diberikan dalam Gambar 4. Benda uji pada penelitian ini berbentuk kubus berukuran 150 mm terdiri dari 3 variasi campuran semen dan agregat kasar. Masing-masing variasi campuran terdiri atas 3 variasi penambahan agregat halus. Setiap variasi dibuat 6 buah masing-masing 3 buah terdiri dari pengujian kuat tekan dan pengujian porositas pada umur beton 28 hari (Tabel 1). Faktor air semennya adalah 0,5.

Tabel 1. Rancangan benda uji

Variasi	Perbandingan berat bahan			Jumlah benda uji
	PC	AH	AK	
I.1	1	0	3	6
I.2	1	0,5	3	6
I.3	1	1	3	6
II.1	1	0	4	6
II.2	1	0,5	4	6
II.3	1	1	4	6
III.1	1	0	5	6
III.2	1	0,5	5	6
III.3	1	1	5	6
Total Benda Uji				54

Kuat Tekan

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan kuat tekan beton pada umur tertentu.

$$\sigma_b = \frac{P}{A}$$

dengan : σ_b = kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa); P = beban uniaksial tekan maksimum (N); A= luas penampang pada benda uji (mm²).

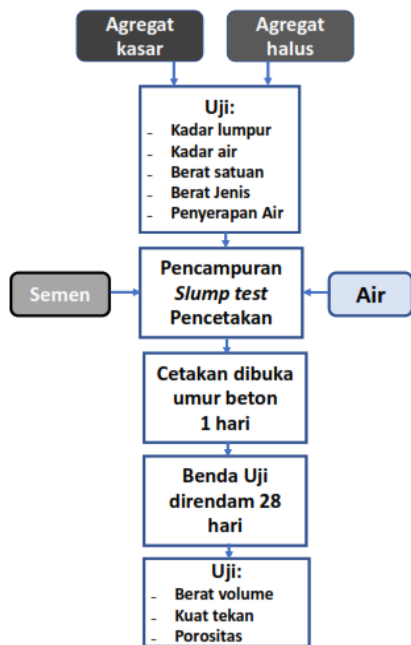
Porositas

Porositas beton dapat dihitung menggunakan rumus berikut (ASTM C642-90, 1990).

$$\text{Porositas (n)} = \frac{C-A}{C-D} \times 100\%$$

dengan : A = berat sampel kering oven (gram); C = berat sampel kondisi jenuh air setelah pendinginan (gram); D = berat sampel dalam air (gram).

Diagram alir penelitian diberikan dalam Gambar 3 dan dokumentasi penelitian ditampilkan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir pada penelitian



Gambar 4. 1 : Pemeriksaan kadar lumpur, 2 : Pengukuran berat jenis, 3 : Pencampuran benda uji, 4 : Pengujian nilai slump, 5 : Pencetakan benda pengujian, 6 : Pengujian berat volume beton, 7 : Pengujian kuat tekan beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat satuan semen adalah sebesar 1,136 gram/cm³. Air yang dipergunakan telah memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 2847: 2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) sebagai bahan campuran pada beton.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan bahan

No.	Jenis pemeriksaan	AH	AK
1	Berat jenis <i>bulk</i>	2,74	1,86
2	Berat jenis SSD	2,53	2,12
3	Berat jenis semu	2,63	2,5
4	Penyerapan/absorpsi (%)	2,46	13,62
5	Berat volume (gram/cm ³)	1,54	1,41
6	Kadar lumpur (%)	4,96	0,14
7	Kadar air (%)	0,10	0,28

Hasil Pengujian Slump

Tabel 3. Hasil pengujian nilai slump

PC : AK	AH : AK		
	0	0,5	1
	Nilai Slump (mm)		
1 : 3	190	180	170
1 : 4	200	190	180
1 : 5	205	200	190

Penurunan hasil uji nilai slump terjadi seiring dengan bertambahnya kandungan agregat halus dalam beton dan bertambah dengan bertambahnya komponen agregat kasar dalam campuran beton (Tabel 3). Bertambahnya kandungan agregat halus membuat beton semakin kaku dan semakin padat yang dibuktikan dengan semakin tinggi berat volume beton (Tabel 4). Hal sebaliknya terjadi jika kandungan agregat kasar bertambah, beton menjadi semakin berpori, sehingga nilai slump bertambah (Tabel 3) dan berat volume semakin menurun (Tabel 4). Penggunaan bahan yang dapat memerangkap udara juga memperbaiki *workability* dari adonan beton pada saat pencetakan sehingga distribusi pori dapat diatur (Xie *et al.*, 2019).

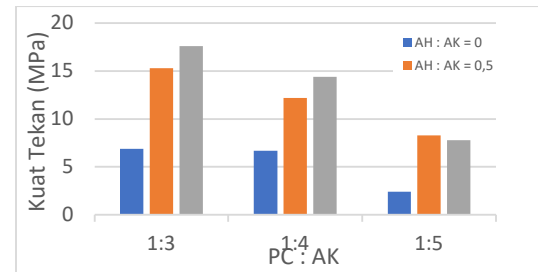
Berat Volume

Berat volume beton porous yang dihasilkan diberikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Berat volume beton porous berdasar variasi berat agregat halus dan agregat kasar

PC : AK	AH : AK		
	0	0,5	1
	Berat Volume Rata-Rata Umur 28 Hari (kg/m ³)		
1 : 3	1.876	2.216	2.255
1 : 4	1.841	2.068	2.153
1 : 5	1.728	1.996	2.051

Hasil Uji Kuat Tekan Beton dan Porositas Beton

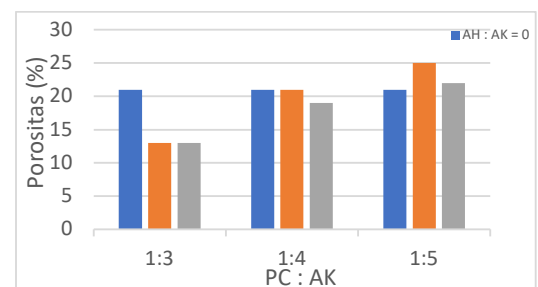


Gambar 5. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari

Tabel 5. Kuat tekan beton rata-rata (28 hari)

PC : AK	Kuat Tekan (MPa)		
	AH : AK		
	0	0,5	1
1 : 3	6,9	15,3	17,6
1 : 4	6,7	12,2	14,4
1 : 5	2,4	8,3	7,8

Peningkatan kuat tekan beton terjadi karena meningkatnya kandungan agregat halus dan menurun dengan meningkatnya kandungan agregat kasar, sama seperti yang dilaporkan oleh Ginting dan Suyono (2022), yang menggunakan batu blondos sebagai agregat kasar. Agregat halus membantu semen mengikat agregat kasar dan membuat beton menjadi padat, sedangkan peningkatan perbandingan agregat kasar/semen menurunkan kuat tekan karena porositas bertambah, beton menjadi lebih porous, yang dapat dilihat dari Tabel 6. Dalam hal ini porositas berbanding terbalik dengan kuat tekan beton. Semakin porous beton, semakin rendah kuat tekannya (Yanti *et al.*, 2021, Ginting dan Suyono, 2022, Ginting, 2017).



Gambar 6. Porositas beton

Tabel 6. Porositas beton pada berbagai perbandingan semen dan agregat kasar

PC : AK	AH : AK		
	0	0,5	1
Porositas (%)			
1 : 3	21	13	13
1 : 4	21	21	19
1 : 5	21	25	22

Kuat tekan beton menunjukkan hasil yang mirip dengan kuat tekan beton yang dilaporkan oleh Desmalina *et al.* (2018) dengan faktor air semen yang digunakan 0,5. Disebutkan juga bahwa bertambahnya kuat tekan beton juga dipengaruhi umur beton (kuat tekan beton umur 28 hari > umur 14 hari > umur 7 hari) (Desmaliana *et al.*, 2018, pada semua perbandingan semen-agregat kasar (2,9; 3,5; 4,2; 4,8; 5,5) dan pada semua fas yang digunakan (0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5), sama seperti beton normal. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh (Prabowo *et al.*, 2013, Ondang *et al.*, 2020).

Dalam hal ini ada anomali kuat tekan beton pada kandungan semen terkecil yaitu pada campuran PC:AK = 1:5, kenaikan jumlah agregat halus malah menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah terutama pada jumlah agregat halus terbesar yaitu pada AH:AK = 1. Hal ini sudah dapat ditebak pada saat pengerjaan, air semen banyak mengalir keluar cetakan. Dalam penelitian lain, fas terbaik adalah 0,3-0,35 (Desmaliana *et al.*, 2018, Prabowo *et al.*, 2013, Ondang *et al.*, 2020), sedangkan menurut ACI 522R-10 (2010), fas terbaik harus berkisar antara 0,26 dan 0,45.

Porositas beton berkurang dengan peningkatan komposisi agregat halus dan bertambah dengan meningkatnya komposisi agregat kasar. Agregat halus mengisi rongga antar agregat kasar pada beton diisi sehingga menurunkan persentase kadar pori dalam beton. Ukuran, bentuk dan distribusi pori menentukan kinerja beton porous, baik segi kekuatannya dan fungsinya dalam meloloskan air (Xie *et al.*, 2018). Makin porous betonnya makin

permeabel (Desmaliana, 2018, Ginting dan Suyono, 2022), tetapi dengan adanya bahan tambah seperti resin, hal ini jadi tidak berlaku (Shahab *et al.*, 2020), juga tidak terjadi pada beton geopolimer (Karimah dan Prasajo, 2019). Variasi ukuran agregat juga mempengaruhi porositas dan kuat tekan beton (Al Busaltan *et al.*, 2022, Elizondo-Martínez *et al.*, 2022, Manalip dan Wallah, 2019, Putri *et al.*, 2018). Secara umum, permeabilitas berbanding terbalik dengan kuat tekan beton, beton yang lebih permeable, kuat tekannya lebih rendah (Khonado *et al.*, 2019, Yao *et al.*, 2018, Putri *et al.*, 2018). Ada tiga jenis pori dalam beton porous, pori tertutup (Chen *et al.*, 2021), terbuka dan pori yang berhubungan (Yao *et al.*, 2018). Pemakaian bahan perangkap udara dalam adukan beton perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan *workability* adonan beton yang baik, distribusi pori yang merata, kenaikan porositas tanpa penurunan kuat beton, tetapi pori tertutup tidak menambah permeabilitas (Chen *et al.*, 2021).

Faktor air semen (fas) terbaik untuk beton porous harus berkisar antara 0,26 dan 0,45 (ACI 522, 2008). Untuk penelitian selanjutnya, kuat tekan beton masih bisa ditingkatkan dengan mengurangi fas, kuat tekan beton terbesar terjadi pada nilai fas 0,3 pada rentang fas 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 dan terkecil pada nilai fas 0,5 (Desmaliana *et al.*, 2015), tetapi pada penelitian Ginting (2015) kuat tekan beton lebih besar pada nilai fas 0,3 daripada 0,25, Yanti *et al.* (2021) kuat tekan yang pada fas 0,3 (18,08 MPa, porositas 20,77) lebih baik daripada kuat tekan pada fas 0,25 (12,69, porositas 22,67) dan pada penelitian Ginting dan Suyono (2022), fas 0,3 paling besar pada rentang 0,3; 0,35; 0,4. Sedangkan dalam Prabowo *et al.* (2013), fas tertinggi didapat pada 0,35 pada rentang 0,30; 0,35; 0,40.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran adalah :

1. Nilai *slump* beton porous meningkat dengan peningkatan komposisi agregat

- kasar dan menurun dengan peningkatan komposisi agregat halus, untuk penelitian selanjutnya perlu diteliti pengaruh penambahan bahan yang dapat meningkatkan workability sekaligus dapat menambah porositas.
2. Berat volume beton porous menurun dengan meningkatnya komposisi agregat kasar dan meningkat dengan meningkatnya komposisi agregat halus.
 3. Kuat tekan beton porous dengan penambahan agregat halus 0 ; 0,5 ; 1 (satuan berat) berturut-turut yaitu sebesar 6,9 Mpa, 15,3 MPa, dan 17,6 MPa pada variasi IPC : 3AK, sebesar 6,7 MPa, 12,2 MPa, dan 14,4 Mpa pada variasi IPC : 4AK dan sebesar 2,4 MPa, 8,4 MPa, dan 7,8 MPa pada variasi IPC : 5AK. Peningkatan jumlah agregat kasar menurunkan kuat tekan, sedangkan peningkatan jumlah agregat halus meningkatkan kuat tekan.
 4. Porositas beton dengan penambahan agregat halus 0 ; 0,5 ; 1 berturut-turut sebesar 21 %, 13 %, dan 13% pada variasi IPC : 3AK, sebesar 21%, 21%, dan 19% pada variasi IPC : 4AK dan sebesar 21%, 25%, dan 22% pada variasi IPC : 5AK. Kenaikan jumlah agregat kasar meningkatkan porositas, sedangkan kenaikan jumlah agregat halus menurunkan porositas kecuali campuran tanpa agregat halus.
 5. Selanjutnya, sebaiknya diteliti pengaruh air semen terhadap *workability*, porositas dan kuat tekan beton, demikian juga dengan bahan tambah yang meningkatkan porositas tapi tidak menurunkan kuat tekan beton secara signifikan. Pemakaian bahan tambah yang dapat memerangkap udara perlu dipertimbangkan.
- DAFTAR PUSTAKA**
- ACI Committee 522. (2008). *Specification for Pervious Concrete Pavement. An ACI Standard*. ACI 522.1-08.
- ACI Committee 522. (2010). *522R-10: Report on Pervious Concrete*. *Technical Documents*, p.38. International Concrete Abstracts Portal, American Concrete Institute.
- Al-Busaltan, S., Alameer, S.A.A. , Mahmmod, L.M.R., Kadhim, M.A. Aljawad, O., & Al-Kafaji, M. (2022). Characterizing Porous Concrete Mixtures for Rigid Pavement. *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 1388-1407.
- ASTM. 1990. *Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Void in Hardened Concrete (ASTM C 642-90)*. Website : <http://www.astm.org>
- Badan Standardisasi Nasional (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan*. www.bsn.go.id. Diakses tanggal 30 April 2022.
- Chen, Y., Al-Neshawy, F., Punkki, J. (2021). Investigation on the effect of entrained air on pore structure in hardened concrete using MIP. *Construction and Building Materials*, Vol. 292, 123441, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123441>.
- Desmaliana, E., Hazairin, Herbudiman, B., Lesmana, R. (2018). Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 15, No. 1, pp. 19-29.
- Dewi, N.K. dan Rudiarto, I. (2014). Pengaruh Konversi Lahan terhadap Kondisi Lingkungan di Wilayah Peri-urban Kota Semarang (Studi Kasus: Area Berkembang Kecamatan Gunungpati). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, Vol.10, No.2, pp.115-126.
- Elizondo-Martínez, E.J., Andrés-Valeri, V.C., Juli-Gándara, L. & Rodríguez-Hernández, J. (2022). Multi-criteria optimum mixture design of porous concrete pavement surface layers. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol.23, No. 3.

- <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1768254>
- Ginting, A. (2017). Perbandingan Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Bergradasi Seragam Dengan Gradasi Menerus. *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (RETII) ke-12 Tahun 2017*. Yogyakarta, 9 Desember 2017, pp.377-383. Available at: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/301>. Diakses tanggal 7 Mei 2022.
- Ginting, A. (2015). Kuat Tekan Dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 11, No.2, pp.76-168
- Ginting, A., Suyono, (2022). Penggunaan Batu Blondos untuk Beton Porous. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 18, No.1, pp. 62–74. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.3983>
- Keman, S. (2007). “Global Climate Change, Human Health and Sustainable Development”, *Journal of Environmental Health*, Vol. 3, No. 2, pp. 195-204.
- Krisbiyantoro, B. 2005. *Tinjauan Permeabilitas dan Shrinkage Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Mineral Metakaolin dan Superplasticizer*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Manalip, M.F.K.H. dan Wallah, S.E. (2019). Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton porous dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.7, No.3, pp.351-358, ISSN: 2337-6732 351
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M. Alih bahasa oleh Hendarko, S. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Ondang, C.Q., Wallah, S.E., dan Windah, R.S. (2020). Sifat Mekanik dan Permeabilitas Beton porous dengan Substitusi Fly Ash terhadap Semen. *Jurnal Sipil Statik*, Vol.8, No.4, pp.495-500, ISSN: 2337-6732 495
- Prabowo, D.A., Setyawan, A., Sambowo, K.A. (2013). Desain Beton Berpori untuk Perkerasan Jalan yang Ramah Lingkungan. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Juni 2013, pp.96-102.
- Purwantara, S. (2015). *Dampak Pengembangan Permukiman terhadap Air Tanah di Wilayah Yogyakarta dan Sekitarnya*. *Geoedukasi*, Vol. 4, No.1, pp. 31-40.
- Putri, T.S., Ngii, E., Mustarif, R.A., Sriyani, R., Sukri, A.S., Talanipa, R., Balaka, R. (2018). *Beton Krib Porous Sebagai Konstruksi Perlindungan di Belokan Sungai*. *Seminar Nasional Teknologi Terapan berbasis Kearifan Lokal (SNT2BKL)*, Kendari 1 Desember 2018. ISBN: 978-602-71928-1-2
- Saptoyo, R.D.A. (2021). *NASA Called 2020 The Warmest Year In History This Is Why*. <https://www.kompas.com/tren/read/2021/01/16/200000165/nasa-nama-2020-so-the-hottest-year-of-history-this-why-?page=all>. Diakses 30 April 2022
- Seng, A.A., Kumurur, V.A., & Moniaga, I.L. (2015). Analisis Perubahan Luas Kawasan Resapan Air di Kota Manado. *Sabua*, Vol. 7, No. 1, pp. 423-430, ISSN 2085-7020.
- Shahab, A., Irlan, A.O., Nugroho, A. (2020). Kuat Tekan dan Porositas Beton Berpori dengan Bahan Tambah Fly Ash Dan Polyester Resin. *Jurnal Forum Mekanika*, Vol. 9, No. 2, doi: <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v9i2.1223>.
- Uca, S. N. dan Rahayu, N.C. (2021). *Pemetaan Tingkat Kekritisian untuk Daerah Resapan (Wilayah Studi Kasus Kota Parepare)*. *Jurnal Environmental Science*, Vol. 4, No. 1, e-ISSN : 2654-9085.

- Wijeyawardana, P., Nanayakkara, N., Chamila Gunasekara, C., Karunarathna, A., Law, D., & Pramanik, B.K. (2022). Improvement of heavy metal removal from urban runoff using modified pervious concrete. *Science of The Total Environment*, Vol. 815, 152936. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152936>
- Xie, N., Akin, M., Shi, X. (2019). Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability, *Journal of Cleaner Production*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.134>.
- Yang, Q., Dai, F. & Beecham, S. (2022). The influence of evaporation from porous concrete on air temperature and humidity. *Journal of Environmental Management*, Vol. 306, 114472. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114472>
- Yanti, G., Zainuri, dan Megasari, S.W. (2021). Variasi Penambahan Sikacim pada Beton Porous. *Jurnal Paduraksa*, Vol. 10, No. 1, pp. 112-123. DOI: [10.22225/pd.10.1.2617.112-123](https://doi.org/10.22225/pd.10.1.2617.112-123)
- Yao, A., Ding, H., Zhang, X., Hu, Z., Hao, R. and Yang, T. (2018). Optimum Design and Performance of Porous Concrete for Heavy-Load Traffic Pavement in Cold and Heavy Rainfall Region of NE China. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, Article ID 7082897, 15 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/7082897>.