

STUDI PEMERIKSAAN KUAT LENTUR MODEL STRUKTUR BALOK BETON BERLUBANG VERTIKAL

Muhammad Noor Asnan^{1*}, Ayu Hesti Pratiwi¹, Fera Bela Safira Amalia¹, Fitriyati Agustina¹, Vebrrian¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur Jl. Ir. H. Juanda No. 15, Samarinda, Kalimantan Timur
*e-mail: mna985@umkt.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang vertikal terhadap kuat lentur balok beton dengan menggunakan metode *Self Compacting Concrete (SCC)*. Beton berlubang vertikal dikembangkan berfungsi mendukung sistem pengaliran air dan jalur instalasi. Variasi benda uji yang digunakan terdiri atas balok masif, balok berlubang tiga, dan balok berlubang empat dengan diameter lubang 48 mm. Proses pembuatan lubang menggunakan pipa 1½ inci yang dipasang saat pengecoran dan dilepas setelah 24 jam beton mengeras. Dimensi balok 15×15×60 cm yang diuji pada umur 14 dan 28 hari dengan kuat tekan rencana 30 MPa. Penggunaan campuran SCC sehingga memungkinkan beton mengalir dianatara pipa dan memadat sendiri tanpa getaran tambahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat lentur rata-rata balok beton masif adalah 3,88 MPa pada umur 14 hari dan 4,57 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan balok berlubang tiga sebesar 2,68 MPa pada umur 14 hari dan 3,98 MPa umur 28 hari, serta balok berlubang empat sebesar 2,53 MPa pada umur 14 hari dan 3,85 MPa pada umur 28 hari. Penurunan kuat lentur umur 28 hari akibat adanya lubang mencapai 12–16% dibandingkan dengan balok masif. Pola keretakan dominan terjadi pada bentang tengah dan di sekitar area lubang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ada lubang vertikal yang menurunkan kekuatan lentur, namun balok masih layak digunakan untuk aplikasi struktur balok dengan pengurangan kekuatan kurang dari 16%.

Kata kunci: Balok beton berlubang, Kuat lentur, *Self Compacting Concrete (SCC)*, Lubang vertikal, Struktur balok

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi konstruksi modern menuntut inovasi desain struktur dan material yang tidak hanya memiliki kekuatan dan efisiensi tinggi, tetapi juga mampu berfungsi ganda serta ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang semakin banyak dikembangkan adalah beton berlubang vertikal (*Perforated Concrete*) yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem drainase, perkerasan jalan permeabel, maupun elemen struktur bangunan. Beton dengan lubang atau pori vertikal ini dirancang untuk memiliki fungsi tambahan seperti mengalirkan air, mengurangi berat struktur, serta menyediakan jalur untuk instalasi *MEP* (*Mechanical, Electrical, Plumbing*) tanpa mengorbankan kekuatan mekanik dan durabilitasnya.

Pada sistem drainase berlubang, beton berpori atau berlubang vertikal digunakan untuk membantu air hujan meresap langsung ke tanah, sehingga dapat mengurangi genangan dan limpasan permukaan. Penelitian Bhusal dkk (2024) menunjukkan bahwa beton permeabel dengan lubang vertikal mampu meningkatkan laju infiltrasi air hingga 816 kali lebih besar dibandingkan beton konvensional, dengan nilai penyerapan mencapai 0,42 cm/s pada porositas 20–25%. Namun, peningkatan porositas tersebut berdampak pada penurunan kuat tekan hingga 58–60%, sehingga diperlukan keseimbangan antara kemampuan infiltrasi dan kekuatan mekanis beton (Matthew, 2024).

Selanjutnya, pada perkerasan permeabel (*Permeable Pavement*), beton berlubang diaplikasikan di area parkir, trotoar, dan jalan lingkungan dengan konsep *eco-drainage* untuk mendukung pengelolaan air hujan perkotaan. Beton jenis ini berfungsi ganda sebagai lapisan perkerasan sekaligus sistem drainase alami. Hasil penelitian Supriyadi dkk (2023) menunjukkan bahwa beton poros dengan kuat tekan 24–27 MPa masih mampu menahan beban hingga 10 ton sambil mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi pada berbagai jenis tanah. Hal ini menegaskan bahwa desain lubang yang tepat dapat menjaga kekuatan struktural sambil meningkatkan fungsi hidrologi perkerasan.

Dalam konstruksi bangunan, inovasi beton berlubang juga banyak diterapkan pada elemen balok struktural untuk jalur instalasi *MEP*. Lubang dibuat secara vertikal maupun horizontal pada badan balok untuk menyalurkan pipa, kabel listrik, atau ducting AC agar tata ruang lebih efisien. Namun, keberadaan lubang ini berpotensi menurunkan kuat lentur balok, terutama jika jumlah dan diameter lubang tidak direncanakan dengan baik. Penelitian Abd (2024) melaporkan bahwa penurunan kekuatan lentur dapat mencapai 30% tergantung pada ukuran dan posisi lubang. Sementara itu, penelitian Shnait & Izzet (2024) membuktikan bahwa penambahan perkuatan lokal di sekitar lubang, seperti pipa baja atau serat komposit, dapat meningkatkan kembali kapasitas lentur hingga 11–13%.

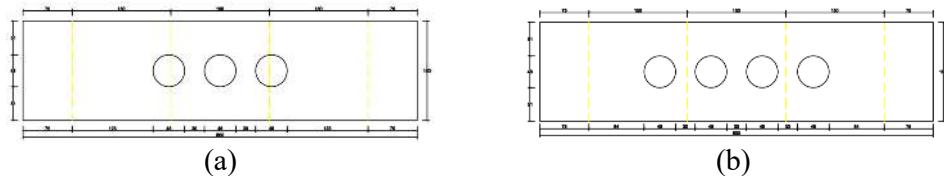
Pada penelitian ini mengkaji konsekuensi dari variasi diameter pipa dan penggunaan pipa PVC dalam beton prisma berongga. Proses eksperimen melibatkan penggunaan prisma beton berukuran 100x100x300 mm³, yang memiliki kuat tekan f_c' 25 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter pipa secara langsung memengaruhi kuat tekan, sedangkan diameter yang lebih besar berkaitan dengan penurunan kuat tekan. Penggunaan pipa dalam beton tidak menghasilkan perbedaan kekuatan tekan yang signifikan. Prisma beton dengan pipa terintegrasi menunjukkan keruntuhan tipe kolom, yang menunjukkan tegangan tekan dominan, sedangkan prisma tanpa pipa mengalami keruntuhan tipe geser, yang menunjukkan pergeseran distribusi tegangan (Asnan, 2023).

Beton Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang mengalir dengan sendirinya tanpa menggunakan alat bantuan pada saat proses pengerjaannya (Asnan, 2025)(Ngudiyono, 2021). Dengan menggunakan SCC juga dapat mengurangi lamanya konstruksi dan juga besarnya upah serta pemasaran beton (Pitoyo, 2020)(Nicolaas, 2019). Pada Pengecoran Self Compacting Concrete juga dapat meminimalkan jumlah pekerja, mempersingkat waktu pelaksanaan dan meminimalkan suara alat pemasaran (Zhao, 2023).

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan dengan membuat model struktur balok beton berlubang vertikal terhadap kuat lentur beton dengan pengecoran menggunakan metode *Self Compacting Concrete (SCC)*. Hal tersebut guna memperoleh desain beton yang optimal antara kekuatan struktural dan fungsi tambahan seperti drainase maupun jalur instalasi *MEP*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan inovasi material beton multifungsi yang efisien, serta menjadi acuan praktis dalam perencanaan/pelaksanaan elemen struktur berlubang yang tetap memenuhi kriteria kekuatan, durabilitas, dan keberlanjutan konstruksi modern.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah lubang vertikal terhadap kuat lentur dan kuat tekan beton *Self Compacting Concrete (SCC)*. Variasi yang digunakan meliputi balok beton masif, beton dengan 3 lubang vertikal seperti Gambar 1 (a), dan beton dengan 4 lubang vertikal seperti Gambar 1 (b).



Gambar 1. (a) Balok Beton Berlubang 3 dan (b) Balok Beton Berlubang 4

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. Langkah-langkah penelitian diawali dengan pembuatan rencana campuran beton (*mix design*) yang dirancang untuk mencapai kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Benda uji yang digunakan terdiri atas balok beton berukuran $15 \times 15 \times 60$ cm untuk pengujian kuat lentur dan silinder beton berukuran 15×30 cm untuk pengujian kuat tekan. Jumlah sampel balok dibuat sebanyak 18 benda uji terdiri 3 buah balok masif, 3 buah balok berlubang tiga dan 3 buah balok berlubang empat untuk masing-masing umur 14 hari dan 28 hari. Untuk mengontrol kuat tekan yang dicapai dibuat sampel silinder 15×30 cm sebanyak 6 buah.

Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian dapat digambarkan dalam bagan alir penelitian pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji balok berlubang vertikal berdasarkan bagan alir diatas sebagai berikut:

1. Penimbangan Bahan (*Mix Design*)

Bahan-bahan penyusun beton terdiri dari semen, pasir, agregat halus, air, dan bahan tambahan (*admixture*) sesuai dengan rencana campuran beton (*mix design*) yang telah ditetapkan untuk mencapai kuat tekan target sebesar 30 MPa. Semua material ditimbang sesuai proporsi berat.

2. Pengadukan Campuran Beton (*Mixing Process*)

Seluruh material dimasukkan ke dalam mixer secara bertahap, dimulai dari agregat kasar, pasir, dan semen, kemudian diikuti air serta bahan tambahan. Pengadukan dilakukan hingga adukan terlihat homogen dan mengalir baik (*workable*). Pada tahap ini juga dilakukan uji *slump flow* untuk memastikan beton termasuk kategori *Self Compacting Concrete (SCC)* yang mampu mengisi cetakan tanpa getaran tambahan. Proses pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Proses Uji *Slump Flow*

3. Pemasangan Cetakan dan Lubang Pipa

- Cetakan balok disiapkan dengan ukuran $15 \times 15 \times 60$ cm dan dilapisi oli bekisting agar mudah dibuka setelah pengerasan.
- Pipa berdiameter $1\frac{1}{2}$ inci (diameter luar 48 mm) diposisikan tegak lurus di tengah balok sesuai dengan gambar rancangan dengan jarak antar lubang dan tepi diatur secara simetris (seperti pada Gambar 1 (a) dan (b) di atas).
- Posisi lubang harus tetap stabil selama pengecoran untuk menjaga keseragaman dimensi lubang. Posisi penempatan pipa dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penempatan Pipa pada Cetakan Balok

4. Pengecoran Benda Uji

Adukan beton dituangkan secara bertahap ke dalam cetakan, sambil dilakukan pemerataan manual agar adukan mengisi seluruh ruang di sekitar pipa. Karena beton yang digunakan adalah SCC, maka tidak diperlukan alat pematat atau vibrator. Beton akan mengalir menutupi seluruh permukaan dan rongga antar pipa di dalam cetakan.

5. Perataan Permukaan

Setelah cetakan penuh, permukaan beton diratakan menggunakan alat trowel atau bilah baja untuk memastikan permukaan benda uji halus dan rata sesuai Gambar 5. Kemudian dilakukan pemeriksaan posisi pipa agar tetap tegak lurus sebelum beton mulai mengeras.



Gambar 5. Beton Berlubang

6. Pelepasan Cetakan dan Pipa

Setelah beton mengeras awal (sekitar 24 jam), cetakan dilepaskan dengan hati-hati. Pipa kemudian dicabut secara perlahan sehingga terbentuk lubang vertikal dengan diameter seragam seperti Gambar 6. Proses ini dilakukan sebelum beton mencapai pengerasan sempurna agar tidak menimbulkan kerusakan di sekitar lubang.



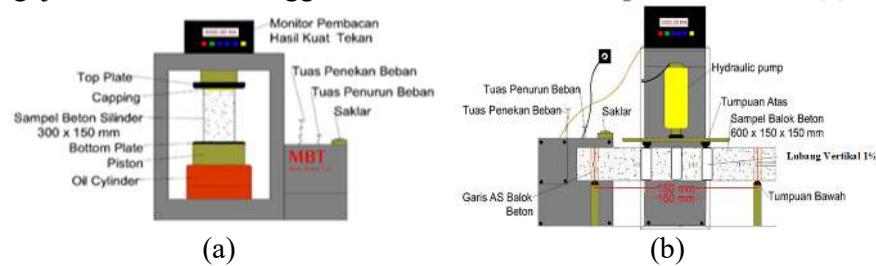
Gambar 6. Proses Pelepasan Cetakan dan Pipa

7. Perawatan (Curing)

- Semua benda uji disimpan dalam kondisi lembap selama masa perawatan. Perawatan dilakukan dengan cara perendaman dalam bak air atau penyiraman rutin agar tidak terjadi penguapan air dari dalam beton.
- Masa perawatan dilakukan selama 14 hari dan 28 hari sesuai dengan rencana umur pengujian.

8. Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Setelah mencapai umur pengujian, benda uji silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan seperti Gambar 7 (a), sedangkan benda uji balok (baik masif maupun berlubang) digunakan untuk pengujian kuat lentur menggunakan alat kuat lentur seperti Gambar 7 (b) dibawah ini.



Gambar 7. Tampak ilustrasi proses pengujian (a) kuat tekan dan (b) kuat lentur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kuat Tekan Silinder

Nilai dari kuat tekan silinder bisa dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder

Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)			Rata- rata
	1	2	3	
14	26,39	27,64	26,42	26,82
28	29,92	34,12	31,43	31,82

Dari pengujian diatas hasil pengujian kuat tekan rata-rata pada 14 hari adalah 26,82 MPa, dan pada 28 hari adalah 31,82 MMa, dengan demikian telah sesuai dengan kuat tekan rencana.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Masif

Pada penelitian ini penulis menggunakan pengujian kuat lentur dengan 3 jenis benda uji yaitu pertama beton masif dan kedua beton berlubang dengan 3 lubang dan 4 lubang.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Masif

Berikut ini merupakan hasil pengujian kuat lentur beton masif yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Masif

No	Umur Hari	Kuat Lentur	Rata- rata	Berat Volume	Rata- rata
		MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³
1	14	3,87		2311,11	
2	14	4,00	3,88	2322,96	2318,02
3	14	3,60		2320,00	
4	28	4,33		2313,09	
5	28	4,80	4,57	2237,78	2233,00
6	28	4,60		2208,15	

Berdasarkan Tabel 2 diatas, hasil pengujian kuat lentur rata-rata untuk beton masif umur 14 hari sebesar 3,88 MPa dan umur 28 hari sebesar 4,57 MPa. Selain itu, berat volume rata-rata umur 14 hari dengan nilai 2318,02 kg/m³ dan 2233 kg/m³ saat umur 28 hari.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Balok Berlubang 3

Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian kuat lentur berlubang 3 yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kuat Lentur Balok Berlubang 3

No	Umur Hari	Kuat Lentur	Rata- rata	Berat Volume	Rata- rata
		MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³
1	14	2,88		2046,42	
2	14	2,44	2,68	2049,38	2046,75
3	14	2,72		2044,44	
4	28	3,88		2101,73	
5	28	4,13	3,98	2124,44	2092,92

No	Umur Hari	Kuat Lentur	Rata- rata MPa	Berat Volume kg/m ³	Rata- rata kg/m ³
		MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³
6	28	3,94		2052,59	

Menurut data hasil pengujian pada Tabel 3, hasil pengujian kuat lentur rata-rata pada balok beton berlubang 3 pada umur 14 hari sebesar 2,68 MPa, dan 3,98 MPa pada umur 28 hari. Dan didapatkan berat volume rata-rata umur 14 hari dengan nilai 2046,75 kg/m³ dan 2092,92 kg/m³ pada umur 28 hari.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Balok Berlubang 4

Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian kuat lentur berlubang 4 yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kuat Lentur Balok Berlubang 4

No	Umur	Kuat	Rata-	Berat	Rata-
	Hari	Lentur	rata	Volume	rata
		MPa	MPa	kg/m ³	kg/m ³
1	14	2,28		2039,51	
2	14	2,54	2,53	2052,59	2031,44
3	14	2,77		2002,22	
4	28	3,56		2069,14	
5	28	3,73	3,85	2053,33	2059,59
6	28	4,26		2056,30	

Menurut data hasil pengujian pada Tabel 4, hasil pengujian kuat lentur rata-rata pada balok beton berlubang 4 pada umur 14 hari sebesar 2,53 MPa, dan 3,85 MPa pada umur 28 hari. Dan didapatkan berat volume rata-rata umur 14 hari dengan nilai 2031,44 kg/m³ dan 2059,59 kg/m³ pada umur 28 hari.

Hubungan Antar Kuat Lentur Balok Masif dan Berlubang

Tabel 5. Nilai Deviasi Kuat Lentur Masif dan Berlubang

Umur (Hari)	Deviasi (%)		
	Masif dan 3 Lubang	Masif dan 4 Lubang	Selisih
14	-29,90	-33,83	-3,92
28	-12,96	-15,88	-2,91

Berdasarkan Tabel 5 diatas, deviasi kuat lentur antara beton masif dan berlubang 3 sebesar -29,90% pada 14 hari dan -12,96% pada 28 hari, deviasi kuat lentur antara beton masif dan berlubang 4 sebesar -33,83% pada umur 14 hari dan -15,88% pada umur 28 hari sedangkan selisih kuat lentur antara berlubang 3 dan berlubang 4 sebesar -3,92% pada umur 14 hari dan -2,91% pada umur 28 hari. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa pengaruh jumlah 3 lubang dan 4 lubang memiliki selisih kuat lentur yang kurang dari 5% atau tidak signifikan.

Hal ini juga dapat dilihat pada berat volume balok masif 2233 kg/m³ termasuk dalam berat beton normal antara 2155 – 2560 kg/m³ dalam Pasal 2 SNI 2847:2019. Sedangkan balok 3 lubang 2092,92 kg/m³, dan 4 lubang 2059,59 kg/m³ sehingga terjadi deviasi -6,27% untuk balok 3 lubang dan -7,77% untuk balok 4 lubang. Secara umum penurunan berat volume beton berlubang berkisar antara 6-8%.

Hubungan Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan

Tabel 6. Hubungan Kuat Lentur dan Kuat Tekan

Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	Percentase Kuat Lentur (%)		
		Masif	3 Lubang	4 Lubang
28	31,82	14,38	12,52	12,10

Berdasarkan Tabel 6 di atas, dapat disimpulkan bahwa kuat lentur yang dicapai balok masif maupun berlubang memenuhi kententuan yang dijelaskan SNI 2847 : 2019, bahwa perkiraan nilai kekuatan tarik/lentur beton antara 10 hingga 15 persen dari kekuatan tekan beton.

Pola Kehancuran

Pada pengujian kuat lentur beton, hasil yang didapatkan akan meneliti keretakan dan kehancuran, pola keretakan dan kehancuran mengacu pada penjelasan dalam standar SNI 4431:2011 dan 1974:2011. Gambar pola keretakan dan pola kehancuran yang telah diuji dapat dilihat pada Gambar 8-10, dimana jenis keruntuhan yang terjadi berada pada area tengah balok sehingga dalam perhitungan menggunakan rumus kuat lentur berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

Keterangan :

- σ_1 = kuat lentur benda uji (MPa)
- P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)
- L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
- b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)



Gambar 8. Pola Keretakan Beton Masif



Gambar 9. Pola Keretakan Beton Berlubang 3



Gambar 10. Pola Keretakan Beton Berlubang 4

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap model struktur balok beton berlubang vertikal menggunakan pengecoran *Self Compacting Concrete (SCC)*, didapat hasil balok beton masif memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 4,57 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, pada balok 3 lubang sebesar 3,98 MPa, serta 4 lubang sebesar 3,85 MPa. Kuat lentur yang dicapai tersebut sebesar 12-15% dari kuat tekan beton dan sesuai dengan Pasal 22 SNI 2847 : 2019. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah lubang vertikal tidak signifikan berpengaruh terhadap kekuatan lentur balok beton dimana mengalami penurunan hanya sebesar 12-16%. Sedangkan selisih kuat lentur yang terjadi antara 3 lubang dan 4 lubang sebesar kurang dari 5% atau juga tidak besar pengaruhnya.

Secara umum, balok beton berlubang vertikal masih dapat diterapkan untuk aplikasi struktural dengan mempertimbangkan penurunan kekuatan yang terjadi.

5. SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan kajian terhadap variasi diameter, jumlah, dan posisi lubang guna memperoleh konfigurasi yang paling efisien antara kekuatan struktural dan fungsi struktur yang dituju. Selain itu dapat dikembangkan dalam penelitian pelat beton berlubang vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd, H. J. (2024). Numerical Investigation of Reinforced Concrete Beams with Single and Multi-Longitudinal Hollow Openings. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 63-74. <https://doi.org/10.24237/djes.2024.17106>.
- Abd Shnait, M., & Izzet, A. F. (2024). Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Steel-Plate Reinforced Vertical Opening. *Civil Engineering Journal*, 10(9), 2820–2838. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-09-04>.
- Asnan, M.N., Noor, R., Raharjanti, N.A., Wahyuni, E., Hartono, H.S., Vebrian. (2025). Study of the characteristics of kutai kertanegara local quarry stone for self-compacting concrete production. *Annales de Chimie - Science des Matériaux*, Vol. 49, No. 1, pp. 7-15. <https://doi.org/10.18280/acsm.490102>.
- Asnan, Muhammad Noor, Sahrul Panji Saputra, and Rusandi Noor. 2023. “Assessing the Impact of PVC Pipe Diameter on Compressive Strength and Cracking in Hollow Prism Concrete”. *JSE Journal of Science and Engineering* 2 (1):9-16. <https://doi.org/10.30650/jse.v1i1.3788>.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2002). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 03-1974-1974). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan (SNI 4431:2011). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa (SNI 7656:2012). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). Tata cara pembuatan dan perawatan spesimen uji beton di lapangan (SNI 2810:2013). Jakarta: BSN.

- Badan Standardisasi Nasional. (2021). Cara uji slump flow pada beton memadat sendiri (SNI 1972:2021). Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019). Jakarta: BSN.
- Bhusal, G., Koirala, B., Kharbuja, S., & Duwal, R. (2024). Comparative Analysis of Water Infiltration Potential: A Study of Precast Permeable Blocks, Precast Impermeable Blocks, and Traditional Bricks. *Journal of Science and Engineering*, 11(01), 35–42. <https://doi.org/10.3126/jsce.v11i01.73527>.
- Departemen Pekerjaan Umum & Badan Standardisasi Pekerjaan Masyarakat. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hermansah, F. Y., & Sihotang, A. (2019). Studi Mengenai Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar pada Campuran Beton Memadat Mandiri (SCC). *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 62. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i1.62>.
- Matthew, D., Hadiwardoyo, S. P., Iduwin, T., & Lumingkewas, R. H. (2024). Water absorption rate in porous concrete paving block as a permeable pavement structure. In E3S Web of Conferences (Vol. 517, p. 12003). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451712003>.
- Ngudiyono, N., (2021). Kajian Eksperimental Kuat Lekat Tulangan Beton Memadat Sendiri (Self Compaction Concrete). *Prosiding SAINTEK*, 3, 328-338. <https://doi.org/10.51135/justevol2issue1page97-110>
- Nicolaas, S., & Slat, E. N. (2019). Pemanfaatan Beton Pemadatan Mandiri (Self Compacting Concrete) Sebagai Balok Struktur Dengan Menggunakan Agregat Lokal. *Jurnal Integrasi*, 11(2), 81-85. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1651>.
- Pitoyo, P., Subandi, S., Azzahra, R., & Vebrian, V. (2020). The Effects of Rice Husk Ash and Paper Waste Ash as Admixture to Self Compacting Concrete. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10(03), 12793-12800.
- Supriyadi, A. & Sutandar, E. (2023). The Porous Concrete for Rigid Pavement. *Civil and Environmental Engineering*, 19(1), 2023. 48-58. <https://doi.org/10.2478/cee-2023-0005>.
- Zhao, H.; Xie, Y.; Panjang, G.; Zhu, S.; Yang, K.; Tang, Z.; Umar, HA; Wu, Z. Pengaruh laju pembebanan terhadap karakteristik rekahan pada antarmuka ikatan antara beton uap dan beton pemadatan sendiri menggunakan uji tekuk tiga titik. teori. Aplikasi. Pecahan mekanik. 2023, 125, 103927 <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2023.103927>.