

Inovasi Teknologi Perkerasan Jalan Beton Menggunakan Abu Vulkanik Dukono dan Kapur sebagai Substitusi Semen

Elfira Resti Mulya*, Siti Hadija Goraah, Fitro Darwis

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pasifik Morotai, Maluku Utara

*Koresponden email: resti.mulya@gmail.com

Diterima: 30 November 2025

Disetujui: 05 Desember 2025

Abstract

Road construction in Indonesia is increasing every year, including in Morotai, North Maluku. Low traffic can use rigid pavement technology or cement concrete pavement. Regional roads to connect various areas in the region such as industrial and tourism areas, agricultural areas and regional productivity. The purpose of this study is to determine the strength of concrete using Dukono volcanic ash and lime as a cement substitute as a technological innovation in concrete road pavement. This research method is an experimental method, where experimental testing is carried out in the Laboratory to determine concrete with a substitution of Dukono volcanic ash and lime for cement. Concrete strength tests carried out include compressive strength tests and split tensile strength tests. The results of the study showed that the concrete compression test with a variation of 15% volcanic ash and 5% lime had a compressive strength value of 351.45 kg / cm², an increase in the compressive strength value of 16.5% from the planned concrete compressive strength, and for 20% ash and 5% lime an increase of 4.36%. For concrete road pavement, the use of volcanic ash and lime can be a solution for regional road pavement. Because at a percentage of 15% volcanic ash with 5% lime as a cement substitute, it results in an increase in concrete compressive strength of 16.5% at K-300.

Keywords: *rigid pavement, volcanic ash, lime, compressive strength*

Abstrak

Pembangunan jalan di Indonesia meningkat setiap tahunnya, termasuk di Morotai, Maluku Utara. Lalu lintas rendah dapat menggunakan teknologi perkerasan kaku atau perkerasan beton semen. Jalan regional untuk menghubungkan berbagai area di wilayah tersebut seperti kawasan industri dan pariwisata, kawasan pertanian dan produktivitas regional. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan beton yang menggunakan abu vulkanik Dukono dan kapur sebagai substitusi semen sebagai inovasi teknologi perkerasan jalan beton. Metode penelitian ini adalah metode eksperimental, dimana dilakukan pengujian secara eksperimen di Laboratorium untuk mengetahui beton dengan substitusi abu vulkanik dukono dan kapur terhadap semen. Pengujian kekuatan beton yang dilakukan diantaranya uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa uji tekan beton dengan variasi 15% abu vulkanik 5% kapur mempunyai nilai kuat tekan 351,45 kg/cm², terjadi peningkatan nilai kuat tekan sebesar 16,5% dari kuat tekan beton rencana, dan untuk 20% Abu dan 5% kapur meningkat sebesar 4,36%. Untuk perkerasan jalan beton, penggunaan abu vulkanik dan kapur dapat menjadi solusi untuk perkerasan jalan regional. Karena pada persentase 15% abu vulkanik dengan 5% kapur sebagai substitusi semen, menghasilkan peningkatan kuat tekan beton sebesar 16,5% pada K-300.

Kata Kunci: *jalan beton, abu vulkanik, kapur, kuat tekan*

1. Pendahuluan

Pembangunan jalan raya di Indonesia meningkat setiap tahunnya, tidak terkecuali di Morotai, Maluku Utara. Pembangunan jalan daerah di Morotai meningkat seiring dengan penetapan status Kabupaten didaerah perbatasan ini. Diantaranya Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN), dan juga sebagai destinasi 10 Bali baru di Indonesia. Untuk mendukung hal tersebut, konektivitas tentu menjadi prioritas Pembangunan.

Jalan merupakan bagian penting dari infrastruktur transportasi[1]. Konektivitas jalan daerah dengan volume lalu lintas rendah dapat menggunakan teknologi perkerasan kaku atau perkerasan beton semen. Jalan daerah untuk menghubungkan berbagai Kawasan di daerah seperti Kawasan industri dan pariwisata, Kawasan pertanian serta Kawasan produktivitas. Pembangunan jalan menggunakan beton lebih ekonomis dari jalan aspal[2]. Selain itu Perkerasan beton semen juga umumnya mengeluarkan biaya perawatan dan perbaikan yang jauh lebih rendah dibanding perkerasan lainnya[3]. Campuran beton yang dibuat untuk

perkerasan kaku/perkerasan beton semen harus memiliki kelecakan yang baik agar memberikan kemudahan dalam pengerjaan tanpa terjadi segregasi atau blinding[4][5].

Inovasi dalam desain perkerasan jalan harus selalu menggunakan mekanisme untuk memastikan keberlanjutan, contohnya dengan hanya menggunakan bahan terbarukan untuk menggantikan agregat[6]. Bahan yang dapat menggantikan bahan seperti semen adalah Kapur dan abu batu[7]. Selain itu kombinasi variasi abu vulkanik dan resin epoksi dalam campuran beton polimer juga dapat mempengaruhi kekuatan beton[8],[9]. Abu vulkanik Dukono berasal dari gunung Dukono yang merupakan gunung vulkanik aktif dengan aktifitas tinggi yang terletak di Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. Untuk penggunaan abu vulkanik sebagai substitusi semen pada beton terdapat batasan jumlah dari abu vulkanik yang tidak lagi efektif yakni pada penambahan abu vulkanik 40%.[10] Komposisi terbaik abu vulkanik sebagai bahan tambah adalah 10% terhadap berat semen[11]. Beton menggunakan Abu Vulkanik dengan persentase 45%, pada umur 28 hari kuat tekan mengalami penurunan 30,12% dari beton normal[12]. Beton dengan agregat kasar batu kapur tidak direkomendasikan untuk digunakan pada elemen struktural[13]. Untuk itu ada batasan persentase dalam substitusi parsial bahan abu vulkanik dan kapur yang digunakan. Dengan penggunaan bahan-bahan ini diharapkan dapat memberikan efisiensi penggunaan semen pada campuran beton yang cukup baik tanpa mengurangi kekuatannya secara signifikan.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana teknologi perkerasan jalan beton yang menggunakan abu vulkanik dan kapur sebagai substitusi semen dapat menjadi solusi untuk perkerasan jalan daerah, dan berapa besar persentase penggunaan abu vulkanik dan kapur yang ideal dalam mutu beton tersebut.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium. Adapun prosedur pada Penelitian ini di Laboratorium sebagai berikut:

1. Pengujian bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pasir dari Desa Sangowo, Kerikil dari Ex Palu yang berada di Kecamatan Morotai Selatan. Bahan Abu Vulkanik Gunung Dukono diambil dari Kecamatan Galela, Kab. Halmahera Utara, dan kapur di ambil di Desa Sangowo, Kabupaten Pulau Morotai. Pengujian bahan sesuai dengan pedoman SNI sebagaimana pengujiannya. Jenis pengujian bahan antara lain:

- Uji kadar lumpur (pasir dan kerikil)
- Uji berat jenis dan penyerapan air (pasir dan kerikil)
- Uji berat volume (pasir dan kerikil)
- Uji analisa saringan (pasir dan kerikil)

2. Analisa rancangan campuran

Rancangan campuran dihitung berdasarkan SNI 7565-2012.

3. Pembuatan benda uji

Benda uji beton berbentuk silinder ukuran 150x300mm dan kubus 150x150x150mm untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah, dan benda uji berbentuk balok berukuran 150x150x600mm untuk uji kuat tarik lentur. Mutu beton normal yang direncanakan adalah K-300.

Tabel 1. Matriks pengujian

Variasi	Kode	Kuat Tekan	Kuat Lentur	Penyerapan Air
BN	A	3	3	1
5%AV,5%KPR	B	3	3	1
10%AV,5%KPR	C	3	3	1
15%AV,5%KPR	D	3	3	1
20%AV,5%KPR	E	3	3	1
25%AV,5%KPR	F	3	3	1
Total		18	18	6

Sumber: Rancangan penelitian (2024)

- Pengujian *slump test* dilakukan untuk semua variasi substitusi pada pengujian untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton.

5. Perawatan benda uji
Beton sebagai benda uji direndam selama 28 hari sebagai bagian dari perawatan beton dengan metode *curing*[16].
6. Pengujian kuat tekan beton
Pengujian utama (kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton) untuk beton substitusi abu vulkanik dan kapur sebagai perkerasan jalan beton.
7. Analisis dan pembahasan
Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji batako hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan[17],[18]. Kuat tekan ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \quad (\text{pers. 1})$$

dimana:

P = Beban Maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Kuat tarik belah adalah sifat penting dari beton yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak/keruntuhan didalam struktur. Kuat tarik ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kuat Tarik Belah} = \frac{2P}{bl} \quad (\text{pers. 2})$$

dimana:

P = Beban Maksimum (kg)

b = lebar benda uji (cm)

l = tebal benda uji (cm)

3. Hasil dan Pembahasan

Uji Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat sebagai bahan penyusun jalan beton. Hasil pengujian karakteristik agregat halus dan agregat kasar sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik agregat

Pengujian Karakteristik	Agregat Halus		Agregat Kasar	
	Hasil Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Satuan
Kadar air	8,33	%	8,5	%
Berat volume	1,22	gr/cm ³	1,354	gr/cm ³
<i>Bulk specific gravity dry</i>	2,24	gr/cm ³	2,51	gr/cm ³
<i>Bulk specific gravity SSD</i>	2,45	gr/cm ³	2,57	gr/cm ³
Penyerapan air	4,1	%	3,63	%
Kadar lumpur	4,8	%	1,5	%
Modulus kehalusan	2,21	-	5,5	-
Keausan agregat	-	-	40,58	%

Sumber: Hasil penelitian (2025)

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus pada **Tabel 2** diatas menunjukkan bahwa kadar air, berat volume, berat jenis kondisi kering dan SSD, penyerapan air, kadar lumpur dan modulus kehalusan untuk kedua pasir ini memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada SNI.

Mix Desain

Perhitungan proporsi campuran bahan penyusun beton normal dengan mutu beton yang direncanakan K-300 (F'c 24,90 MPa) sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil perhitungan rancangan campuran beton normal K-300 untuk jalan beton

Bahan	Berat (kg)	Rasio terhadap Semen
Semen	407,17	1
Pasir	616,27	1,51
Kerikil	1150,24	2,82
Air	192,58	0,47

Sumber: Hasil penelitian (2025)

Pengujian Slump

Pembuatan benda uji beton dilakukan selama 14 hari. Dengan jumlah 30 sampel kubus untuk pengujian Kuat Tekan, 30 sampel Silinder untuk pengujian kuat tarik belah. Variasi benda uji atau sampel beton terdiri dari 6 variasi campuran beton dengan substitusi Abu Vulkanik (AV) dan Kapur (Kpr) terhadap Semen dengan variasi 5% Abu Vulkanik sampai dengan 25% Abu Vulkanik. Untuk bahan kapur digunakan substitusi dengan nilai persentase yang konstant pada setiap variasi substitusi yakni 5% kapur terhadap berat semen.

Tabel 4. Hasil pengujian *Slump test*

No.	Benda Uji	Nilai Uji Slump (mm)
1.	BN K-300	74
2.	5%AV,5%KPR	75
3.	10%AV,5%KPR	70
4.	15%AV,5%KPR	75
5.	20%AV,5%KPR	80

Sumber: Hasil penelitian (2025)

Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji berbentuk kubus pada umur beton 28 hari. Pengujian kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut ini.



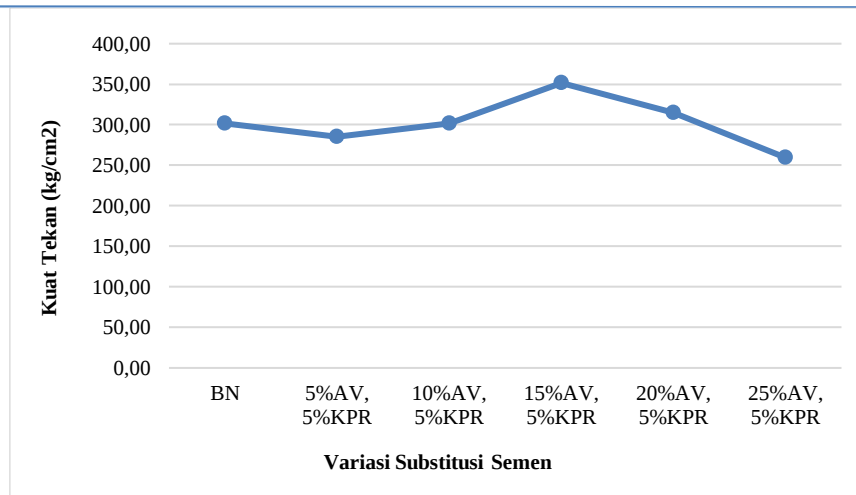
Gambar 1. Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton ditunjukkan pada **Tabel 5** dan **Gambar 2** berikut ini.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Variasi Substitusi	Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
1	BN K-300	301,67
2	5%AV,5%KPR	285,10
3	10%AV,5%KPR	301,85
4	15%AV,5%KPR	351,45
5	20%AV,5%KPR	314,82
6	25%AV,5%KPR	259,47

Sumber: Hasil penelitian, 2025



Gambar 2. Grafik kuat tekan rata-rata terhadap variasi substitusi semen
Sumber: Peneliti, 2025

Berdasarkan hasil uji tekan beton pada **Gambar 2** diatas dengan variasi 15% abu vulkanik 5% kapur mempunyai nilai kuat tekan tertinggi dengan nilai kuat tekan sebesar 351,45 kg/cm². Sedangkan 5% abu vulkanik 5% kapur, dan 25% abu vulkanik 5% kapur tidak mencapai nilai kuat tekan rencana dengan nilai masing-masing 285,10 kg/cm² dan 259,47 kg/cm².

Hasil ini menunjukkan bahwa beton dengan substitusi 15% Abu Vulkanik dan 5% kapur terhadap semen dapat meningkatkan mutu beton sampai dengan 16,50%. Selain itu untuk 20% Abu dan 5% kapur meningkat sebesar 4,36%.

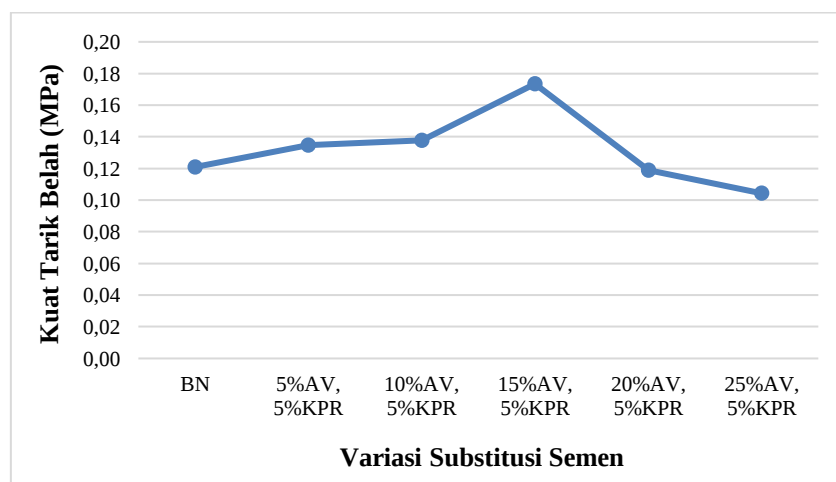
Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton ditunjukkan pada **Tabel 6** dan **Gambar 3** berikut ini.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tarik belah

No	Variasi Substitusi	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)
1	BN K-300	0,1209
2	5%AV,5%KPR	0,1349
3	10%AV,5%KPR	0,1379
4	15%AV,5%KPR	0,1734
5	20%AV,5%KPR	0,1190
6	25%AV,5%KPR	0,1043

Sumber: Peneliti, 2025



Gambar 3. Grafik kuat tarik belah rata-rata terhadap variasi substitusi semen
Sumber: Peneliti, 2025

Kuat tarik belah beton rata-rata naik dari variasi 5% Abu dan 5% kapur sampai 15% abu dan 5% kapur. Kenaikan kuat tarik belah secara berturut-turut adalah 11,58%, 14,06%, 43,42%. Sedangkan pada substitusi 20% Abu dan 25% Abu kuat tarik cenderung menurun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa substitusi abu vulkanik dan kapur terhadap semen pada beton untuk perkerasan jalan berpengaruh pada mutu beton. Untuk parameter kuat tekan, beton dengan substitusi 15% Abu Vulkanik dan 5% kapur terhadap semen dapat meningkatkan mutu beton sampai dengan 16,50%. Sedangkan untuk kuat tarik belah beton rata-rata naik dari variasi 5% Abu dan 5% kapur sampai 15% abu dan 5% kapur, dan pada substitusi 20% Abu dan 25% Abu kuat tarik cenderung menurun. Untuk perkerasan jalan beton, penggunaan abu vulkanik dan kapur dapat menjadi solusi untuk perkerasan jalan regional. Karena pada persentase 15% abu vulkanik dengan 5% kapur sebagai substitusi semen, menghasilkan peningkatan kuat tekan beton sebesar 16,5% pada K-300.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DPPM) Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan pendanaan pada penelitian ini pada tahun 2025.

6. Daftar Pustaka

- [1] Salehi, S., Arashpour, M., Kodikara, J., & Guppy, R. (2021). Sustainable pavement construction: A systematic literature review of environmental and economic analysis of recycled materials. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127936.
- [2] Kumari, M., Gupta, P., & Deshwal, S. S. (2022). Integrated life cycle cost comparison and environment impact analysis of the concrete and asphalt roads. *Materials Today: Proceedings*, 60, 345-350.
- [3] Embacher, R. A., & Snyder, M. B. (2001). Life-cycle cost comparison of asphalt and concrete pavements on low-volume roads; case study comparisons. *Transportation research record*, 1749(1), 28-37.
- [4] Gunawan, A., & Trinugroho, I. H. S. (2014). Tinjauan Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Kuat Lentur Beton Menggunakan Tras Jatiyoso Sebagai Pengganti Pasir Untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [5] Dermama, I. (2018). Karakteristik Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur Di Tinjau Dari Uji Kuat Lentur. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Jalan Kabupaten Indragiri Hilir*, 4(3).
- [6] Styer, J., Tunstall, L., Landis, A., & Grenfell, J. (2024). Innovations in pavement design and engineering: A 2023 sustainability review. *Heliyon*, 10(13).
- [7] Melinda, S., Dapas, S. O., & Sumajouw, M. D. (2020). Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur Dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *J. Sipil Statik*, 8(5), 671-678.
- [8] Alkhaly, Y. R., Panondang, C. N., & Zulfahmi, Z. (2015). Kuat Tekan Beton Polimer Berbahan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Dan Resin Epoksi. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- [9] Faqih, N., & Krisnawan, G. (2019). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Abu Vulkanik Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Teras*, 9(4), 1-12.
- [10] Takapente, G. N., Wallah, S. E., & Manalip, H. (2018). Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Vulkanik. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), 657-664.
- [11] Rochmah, N., Ariansyah, A. L., & Pertiwi, D. (2023). Perbandingan Beton Normal Dengan Beton Menggunakan Abu Vulkanik Gunung Semeru Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Setting Time. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 519-526.
- [12] Mododok, W., Darwis, F., & Sultan, M. A. (2020). Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Kasar Batu Kapur Sangowo Dengan Variasi FAS. *Clapeyron: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(2).
- [13] Darwis, F., Banggu, I., & Sultan, M. A. (2018). The Effects Of Volcanic Ash On The Strength And Permeability Mortar. *International Conference on Science and Technology (ICST 2018)*, 1(1), 372–375. <https://doi.org/10.2991/icst-18.2018.78>

- [14] Darwis, F., & Mulya, E. R. (2020). Karakteristik tanah timbunan dari desa daeo sebagai subgrade pada struktur perkerasan jalan. *DINTEK*, 13(1), 20-27.
- [15] Darwis, F., Mulya, E. R., & Laaha, A. (2022). Tinjauan Mutu Agregat Sirtu Sabatai Sebagai Material Lapis Pondasi Pada Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik SILITEK*, 1(02), 145-155.
- [16] Domagała, L. (2011). Modification of properties of structural lightweight concrete with steel fibres. *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(1), 36-44. <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.553923>
- [17] Mosa, A. M., Taha, M. R., Ismail, A., & Rahmat, R. A. O. K. (2013). A diagnostic expert system to overcome construction problems in rigid highway pavement. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(6), 846-861. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.801905>
- [18] Drzymala, T., Jackiewicz-Rek, W., Gałaj, J., & Šukys, R. (2018). Assessment of mechanical properties of high strength concrete (HSC) after exposure to high temperature. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(2), 138-144. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.457>.