Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Volume 4, Nomor 7, August 2026, P. 169-176
E-ISSN: 2986-6340
Licenced by CC BY-SA 4.0
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.21755687

Perencanaan Desain Beton Berpori dengan Penambahan *Fly Ash* untuk Jalan Lalu Lintas Rendah

Design of Pervious Concrete with Fly Ash Addition for Low-Traffic Roads

Sherryva Anique Michella[1], Purwo Mahardi[2]
[1,2] Program Studi D4 Transportasi, Universitas Negeri Surabaya, Kota Surabaya, Indonesia
email: sherryvaanique.21049@mhs.unesa.ac.id, purwomahardi@unesa.ac.id

ABSTRAK

Beton berpori merupakan salah satu jenis material perkerasan yang memiliki rongga saling terhubung sehingga air hujan dapat meresap langsung ke dalam tanah. Material ini banyak digunakan pada jalan dengan volume kendaraan rendah karena mampu membantu mengurangi genangan dan limpasan permukaan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen terhadap karakteristik beton berpori. Variasi fly ash yang digunakan sebesar 10%, 20%, dan 25% dari berat semen. Parameter yang dianalisis meliputi workability, permeabilitas, serta kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari. Metode penelitian dilakukan melalui tahapan perencanaan campuran, pembuatan benda uji, serta pengujian sifat beton segar dan beton keras di laboratorium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* mempengaruhi seluruh parameter pengujian beton berpori. Semakin besar kadar fly ash, kemampuan beton dalam meloloskan air cenderung meningkat, namun nilai kuat tekan mengalami penurunan. Variasi fly ash 20% memberikan hasil paling seimbang karena masih memiliki *workability* yang baik, permeabilitas tinggi, serta kuat tekan yang masih memenuhi syarat untuk jalan lalu lintas rendah. Penggunaan *fly ash* juga dinilai mendukung konsep pembangunan berkelanjutan karena dapat mengurangi penggunaan semen dan memanfaatkan limbah hasil pembakaran batu bara.

Kata Kunci: *beton berpori, fly ash, workability, permeabilitas, kuat tekan.*

ABSTRACT

Porous concrete is a type of pavement material with interconnected cavities that allow rainwater to seep directly into the ground. This material is widely used on roads with low traffic volumes because it helps reduce puddles and surface runoff. This study was conducted to analyze the effect of using fly ash as a partial cement substitute on the characteristics of porous concrete. Variations in fly ash content were 10%, 20%, and 25% of the cement weight. Parameters analyzed included workability, permeability, and compressive strength at 7, 14, and 28 days. The research method involved mix design, specimen preparation, and laboratory testing of fresh and hardened concrete. Test results showed that the addition of fly ash affected all parameters of porous concrete. Higher fly ash content tended to increase the concrete's water permeability, but decreased its compressive strength. The 20% fly ash variation provided the most balanced results, maintaining good workability, high permeability, and compressive strength that met the requirements for low-traffic roads. The use of fly ash is also considered to support the concept of sustainable development because it can reduce cement use and utilize waste from coal combustion. Thus, porous concrete with fly ash substitution has the potential to be an environmentally friendly alternative pavement material suitable for use on neighborhood roads, parking areas, and facilities with light traffic loads.

Keywords: porous concrete, fly ash, workability, permeability, compressive strength.

Article Info
Received date: 16 July 2026 Revised date: 28 July 2026 Accepted date: 2 August 2026

PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur transportasi menuntut penggunaan material konstruksi yang tidak hanya memiliki kekuatan struktural, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Salah satu material yang terus dikembangkan dalam bidang perkerasan adalah beton berpori. Beton berpori merupakan jenis beton yang memiliki rongga saling terhubung sehingga air dapat meresap langsung ke dalam tanah. Sistem tersebut mampu mengurangi limpasan permukaan dan membantu mengurangi beban saluran drainase.

Beton berpori umumnya digunakan pada jalan lingkungan, trotoar, area parkir, dan kawasan dengan volume kendaraan rendah. Meskipun memiliki kemampuan infiltrasi yang baik, beton berpori memiliki kelemahan berupa kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal akibat tingginya jumlah rongga di dalam campuran.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas beton berpori adalah penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen. *Fly ash* merupakan material hasil pembakaran batu bara yang memiliki sifat pozzolanik sehingga dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan membentuk senyawa tambahan yang meningkatkan kualitas beton. Selain meningkatkan performa beton, penggunaan *fly ash* juga dapat mengurangi penggunaan semen dan memanfaatkan limbah industri secara lebih optimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* terhadap *workability,* permeabilitas, dan kuat tekan beton berpori serta menentukan kadar optimum *fly ash* yang memenuhi persyaratan teknis untuk jalan lalu lintas rendah.

KAJIAN PUSTAKA

Beton Berpori

Beton berpori *(pervious concrete)* adalah jenis beton dengan tingkat porositas tinggi yang memungkinkan air mengalir langsung melalui struktur beton ke dalam tanah. Beton ini terdiri dari agregat kasar, semen, air, dan sedikit atau tanpa pasir *(no-fines concrete),* yang menghasilkan rongga di dalam campuran beton. **(Tia et al, 2007)** menyatakan Beton berpori dirancang untuk memungkinkan infiltrasiair dan mengurangi limpasan permukaan, sangat sesuai untuk area dengan lalu lintas rendah seperti trotoar, area parkir, dan jalan lingkungan .

Fly Ash

Fly Ash adalah material hasil samping pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk serbuk halus dan bersifat pozzolan. Menurut ASTM International dalam ASTM C618 (2019), *Fly Ash* merupakan abu halus yang ditangkap dari gas buang pembakaran batu bara dan digunakan sebagai bahan tambah dalam beton. Standar ini mengklasifikasikan *Fly Ash* menjadi Kelas F dan Kelas C berdasarkan komposisi kimianya. **Secara umum,** *Fly Ash* mengandung silika dan alumina reaktif yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), sehingga meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton **(P. K. Mehta & A. M. Neville).** Selain itu, bentuk partikelnya yang halus dan bulat dapat meningkatkan *workability* campuran beton.

Berikut adalah Tabel 1 Karakteristik *Fly Ash* menurut **SNI 2460:2014:**

Senyawa	**Rentang kandungan (%)**
SiO_2 (Silika)	30 – 60%
Al_2O_3	10 – 30%
Senyawa	**Rentang kandungan (%)**
Fe_2O_3	5 – 25%
CaO	1 – 30% (lebih tinggi pada Class C)
MgO	<5%
SO_3	<5%

Pengujian Beton Porous

Pengujian pada beton berpori dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Parameter utama yang diuji meliputi *workability,* permeabilitas, dan kuat tekan.*Workability* digunakan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton. Permeabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan beton dalam meloloskan air. Kuat tekan digunakan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima beban tekan. Ketiga parameter

tersebut sangat penting karena menentukan kelayakan beton berpori sebagai material perkerasan jalan. Perencanaan campuran beton berpori yang baik meliputi pengujian campuran betin berpori sesuai dengan spesifikasi Karakteristik menurut ACI 522R-10 yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Karakteristik Pengujian Beton Berpori (ACI 522R-10)

Kriteria Perencanaan	**Persyaratan**
Kuat tekan	10 – 28 MPa
Porositas	15 – 25%
Permeabilitas (infiltrasi)	≥ 2 mm/detik
Berat volume	1600 – 2000 kg/m³
Faktor air semen (FAS)	0,27 – 0,40
Workability	Slump rendah

Pengujian tersebut dilakukan guna mengevaluasi workabilty, permeabilitas dan kuat tekan Berikut ialah parameter utama yang digunakan dalam pengujian beton berpori::

1. Pengujian *Workabilty*
   Pengujian *workability* terdapat metode salah satunya ialah metode slup test. Dalam pengujian ini melewati harus melewati beberapa pengujian berikut ini:
   a. *Slump test*
      Slump menunjukkan tingkat kelecakan campuran beton yang dipengaruhi oleh faktor air semen (FAS), gradasi agregat, dan kandungan bahan tambah. Nilai slump diperoleh dari selisih tinggi kerucut beton sebelum dan sesudah pengangkatan cetakan **(Neville, 2011)**. Nilai slump diperoleh dari rumus berikut:
      $$Slump = h_1 - h_2 \quad (1)$$
2. Pengurjian Permeabilitas
   Permeabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk membiarkan lapisan perkerasan untuk megalirkan air **(Susanto, dkk., 2023).** Pengujian ini mengacu pada ASTM C1701 yang direkomendasikan dalam ACI 522R-10. Nilai permeabilitas menjadi parameter penting karena menunjukkan efektivitas beton berpori dalam mengurangi limpasan air permukaan.
   a. Laju Inflitrasi
      Laju infiltrasi dihitung berdasarkan volume air yang meresap, luas penampang, dan waktu pengujian. Nilai laju inflitrasi yang digunakan dengan rumus berikut:
      $$I = V / (A \times t) \quad (2)$$
3. Pengujian Kuat Tekan
   Kuat tekan beton dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampangnya. Nilai kuat tekan di dapat dari rumus berikut:
   $$fc' = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Jalan Lalu Lintas Rendah

Jalan lalu lintas rendah merupakan perkerasan yang digunakan untuk kendaraan dengan volume dan beban relatif kecil, seperti jalan lingkungan dan area parkir **(Bina Marga, 2018).** Berdasarkan UU No. 22 Tahun 2009, jalan umum harus dilengkapi prasarana yang mendukung keselamatan dan kelancaran lalu lintas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* terhadap karakteristik beton berpori. Variasi *fly ash* yang digunakan terdiri dari 10%,

20%, dan 25% dari berat semen. Parameter yang dianalisis meliputi *workability*, permeabilitas, dan kuat tekan beton berpori.. Hasil yang didapat selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan ukuran kinerja yang ditentukan dalam pedoman SNI03-2834-2000, ACI 522R-10 dan Bina Marga 2018 sebagai dasar penilaian kualitas campuran.

Bahan dan Alat

Material yang digunakan dalam penelitian terdiri dari semen Portland Tipe I, agregat kasar, air, dan *fly ash* sebagai bahan substitusi sebagian semen. Agregat kasar digunakan sebagai komponen utama pembentuk rongga beton berpori, sedangkan fly ash digunakan karena memiliki sifat pozzolanik yang dapat mempengaruhi karakteristik beton. Sebelum digunakan, agregat terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik fisik meliputi berat jenis dan penyerapan air sesuai standar SNI. *Fly ash* yang digunakan berasal dari limbah pembakaran batu bara PLTU dengan bentuk partikel halus menyerupai serbuk. Peralatan yang digunakan meliputi satu set saringan untuk analisis gradasi agregat, timbangan digital untuk penimbangan material, mixer concrete untuk pencampuran beton, cetakan silinder beton, alat slump test, alat pengujian permeabilitas, serta Compression Testing Machine (CTM) untuk pengujian kuat tekan beton. Seluruh alat pengujian digunakan sesuai prosedur standar laboratorium guna memperoleh data yang akurat dan konsisten. Peralatan dan bahan ini tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada bagian berikut:


(a)


(b)


(c)


(d)


(e)


(f)

Gambar 3.1 Alat Penelitian: (a) Satu Set Saringan; (b) Timbangan; (c) *Mixer concrete;* (d) *Compression Testing Machine (CTM);* (e) Silinder beton; (f) *Slump Cone. Sumber : Dokumen Pribadi, 2025*









(a) (b) (c) (d)

Gambar 3.2 Bahan Penelitian : (a) *Water*; (b) *Cement Portlamd*; (c) *Fly Ash:* (d) Agg*regate*
Sumber : Dokumen Pribadi, 2025

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Jenis agregat yang digunakan adalah agregat kasar dengan dominasi ukuran tertentu sesuai kebutuhan beton berpori, dimana sebagian besar butiran tertahan pada saringan No. 8. Seluruh parameter pengujian mengacu pada standar SNI serta spesifikasi Bina Marga (2018), dengan metode pengujian yang setara dengan AASHTO T85 (ASTM C127). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa karakteristik agregat memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton berpori, khususnya dalam mendukung kekuatan dan pembentukan rongga. Pengujian yang dilakukan meliputi berat jenis kering (*bulk*), berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu *(apparent*), serta nilai penyerapan air. Hasil pemeriksaan fisik akan disajikan.

Tabel 3 Hasil Pengujian Pemeriksaan Agregat (Penulis, 2025)

Sampel	Berat Jenis Kering (gr/cm³)	Berat Jenis SSD (gr/cm³)	Berat Jenis Semu (gr/cm³)	Penyerapan (%)	Standar SNI
1	2,58	2,62	2,69	1,92	2,50–2,80 Serap: ≤ 3%
2	2,60	2,64	2,71	1,88	2,50–2,80 Serap: ≤ 3%
3	2,62	2,66	2,73	1,90	2,50–2,80 Serap: ≤ 3%
Rata-rata	2,60	2,64	2,71	1,90	2,65 Serap: ≤ 3%

Hasil Pengujian Beton Berpori

Penambahan fly ash menyebabkan berkurangnya jumlah semen aktif yang berperan dalam proses hidrasi, sehingga kekuatan beton cenderung menurun. Hal ini juga dipengaruhi oleh karakteristik beton berpori yang memiliki rongga cukup besar, sehingga sensitivitas terhadap perubahan komposisi bahan menjadi lebih tinggi. Terdapat kadar optimum *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan maksimum, dimana pada penelitian ini nilai tersebut masih memenuhi persyaratan untuk aplikasi jalan lalu lintas rendah sesuai ACI 522R-10. Pemeriksaan hasil uji dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi fly ash terhadap workability, permeabilitas, dan kuat tekan beton. Variasi fly ash yang digunakan terdiri dari 10%, 20%, dan 25% dari berat semen. Hasil pengujian hubungan antara kadar *fly ash* dan kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian Hubungan Antara Kadar *Fly Ash* dan Kuat Tekan (Penulis, 2025)

Variasi *Fly Ash* (%)	**Slump / *Workability* (mm)**	**Laju Infiltrasi (cm/s)**	**Kuat Tekan 7 Hari (MPa)**	**Kuat Tekan 14 Hari (MPa)**	**Kuat Tekan 28 Hari (MPa)**
10%	130	79	15,3	19,2	21,4
20%	120	102	14,8	18,2	20,3
25%	120	158	12,7	17	18,8

Secara keseluruhan, ketiga grafik menunjukkan adanya trade-off antara *workability,* permeabilitas, dan kuat tekan. Semakin tinggi kadar *fly ash, workability* dan permeabilitas meningkat, tetapi kuat tekan menurun. Oleh karena itu, variasi *fly ash* 20% merupakan komposisi paling optimal karena mampu menghasilkan keseimbangan terbaik antara kemudahan pengerjaan, kemampuan drainase, dan kekuatan mekanis beton berpori.

Pengaruh *Fly Ash* terhadap *Workabilty*

Hasil pengujian *workability* menunjukkan bahwa penambahan fly ash mempengaruhi kemudahan pengerjaan campuran beton berpori. *Fly ash* memiliki partikel yang sangat halus dan berbentuk bulat sehingga mampu meningkatkan homogenitas campuran beton.

Pada variasi *fly ash* 10%, nilai workability menunjukkan kondisi paling baik karena campuran masih stabil dan mudah dipadatkan. Campuran beton pada variasi ini tidak terlalu kering maupun terlalu encer sehingga proses pengerjaan menjadi lebih mudah.

Pada variasi *fly ash* 20%, *workability* masih berada pada kondisi yang cukup baik dan masih layak digunakan untuk aplikasi lapangan. Namun pada variasi *fly ash* 25%, campuran mulai kehilangan kestabilannya akibat jumlah *fly ash* yang terlalu tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi pasta semen menjadi terlalu tipis sehingga campuran beton menjadi kurang stabil.

Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar *fly ash* dapat mempengaruhi konsistensi campuran beton berpori. Semakin tinggi kadar *fly ash* yang digunakan, campuran menjadi lebih sulit mempertahankan kestabilan struktur pori beton**.**

Pengaruh *Fly Ash t*terhadap permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas menunjukkan bahwa peningkatan kadar *fly ash* menyebabkan kemampuan beton dalam meloloskan air menjadi lebih besar. Hal ini disebabkan karena penambahan *fly ash* mempengaruhi distribusi pasta semen sehingga rongga beton menjadi lebih terbuka dan saling terhubung.

Pada variasi *fly ash* 10%, struktur pori beton masih berada pada kondisi yang cukup stabil. Pada variasi *fly ash* 20%, rongga beton mulai lebih terbuka sehingga laju infiltrasi air meningkat. Sedangkan pada variasi *fly ash* 25%, permeabilitas beton meningkat lebih signifikan karena struktur pori menjadi semakin besar dan lebih mudah dilalui air.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* mampu mempertahankan fungsi utama beton berpori sebagai media drainase dan resapan air. Namun demikian, peningkatan permeabilitas yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi kekuatan beton akibat bertambahnya rongga internal.

Pengaruh *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur beton. Namun demikian, peningkatan kadar *fly ash* menyebabkan nilai kuat tekan beton cenderung menurun.

Beton dengan variasi *fly ash* 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 21,4 MPa pada umur 28 hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada kadar tersebut *fly ash* masih mampu membantu pembentukan struktur beton melalui reaksi pozzolanik tanpa mengurangi peran utama semen sebagai bahan pengikat.

Pada variasi *fly ash* 20%, kuat tekan beton menurun menjadi 20,3 MPa, namun masih memenuhi persyaratan minimum untuk jalan lalu lintas rendah. Sementara itu, pada variasi *fly ash* 25%, kuat tekan beton turun menjadi 18,8 MPa akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya jumlah semen aktif di dalam campuran.

Penurunan kuat tekan juga dipengaruhi oleh karakteristik beton berpori yang memiliki rongga cukup besar. Semakin besar rongga yang terbentuk, maka kemampuan beton dalam menahan beban tekan menjadi semakin rendah.

Implikasi Terhadap Klasifikasi Jalan

Variasi kadar *fly ash* dapat dianggap sebagai parameter utama dalam perancangan beton berpori, karena secara langsung menentukan tingkat kekuatan yang dapat dicapai serta kelayakan beton untuk digunakan pada aplikasi perkerasan jalan. Berikut adalah data Implikasi terhadap Klasifikasi Jalan yang dibuat oleh peneliti:

Tabel 6 Implikasi Terhadap Klasifikasi Jalan (Penulis, 2025)

Kadar *Fly Ash* (%)	**Kuat Tekan 28 hari (MPa)**	**Batas Bina Marga**	**Klasifikasi Jalan**
10%	21,39	≥ 20 MPa	Jalan lalu lintas rendah
20%	20,32	≥ 20 MPa	Jalan lalu lintas rendah
25%	18,82	≥ 20 MPa	Jalan non-struktural / drainase

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dari *Fly Ash* dalam campuran betonl porus memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan peforma material tersebut, sehingga dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Substitusi *fly ash* berpengaruh terhadap *workability* beton berpori. Beton dengan *fly ash* 10% menunjukkan nilai workability paling baik, sehingga memudahkan proses pencampuran, pemadatan, dan pengecoran. Pada variasi *fly ash* 20%, *workability* masih berada pada kondisi yang cukup baik dan layak diaplikasikan di lapangan. Namun, pada variasi *fly ash* 25%, nilai *workability* menurun secara signifikan sehingga berpotensi menyulitkan proses pelaksanaan. Dengan demikian, kadar substitusi *fly ash* yang memberikan *workability* optimal tanpa menurunkan kualitas beton berpori berada pada kisaran 10% hingga 20%.
2. Substitusi fly ash memberikan pengaruh positif terhadap permeabilitas beton berpori. Nilai permeabilitas cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran (10%, 20%, dan 25%) masih mampu mempertahankan fungsi resapan air yang baik dan memenuhi kebutuhan perkerasan jalan lalu lintas rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* tidak menghilangkan fungsi utama beton berpori sebagai media drainase, bahkan pada kadar substitusi yang lebih tinggi.
3. Substitusi *fly ash* berpengaruh terhadap kuat tekan beton berpori. Kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur beton, namun cenderung menurun dengan meningkatnya kadar *fly ash*. Beton dengan substitusi *fly ash* 10% menghasilkan kuat tekan tertinggi dan telah memenuhi persyaratan kekuatan karakteristik untuk perkerasan jalan lalu lintas rendah. Variasi *fly ash* 20% masih memenuhi kuat tekan minimum yang dipersyaratkan, meskipun nilainya lebih rendah dibandingkan variasi 10%. Sebaliknya, variasi *fly ash* 25% menghasilkan kuat tekan terendah dan belum memenuhi persyaratan kuat tekan untuk jalan lalu lintas rendah. Dengan demikian, kadar substitusi *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan optimum pada beton berpori berada pada kisaran 10% hingga 20%, dengan kadar 20% sebagai kondisi paling optimal.
4. Variasi *fly ash* 20% merupakan variasi yang paling optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara workability, permeabilitas, dan kuat tekan sehingga masih layak digunakan untuk jalan lalu lintas rendah.
5. Pemanfaatan *fly ash* dalam beton berpori juga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan karena dapat mengurangi penggunaan semen serta memanfaatkan limbah industri secara lebih efektif.

REFERENSI

Bina Marga. (2021). *Perancangan Fasilitas Pesepeda.* Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Faizal, M. (2021). *Studi Pemanfaatan Serat Ijuk Pada Campuran Asphlat Concrete Terhadap Nilai-Nilai Marshall Propeties* . Lamongan : Universitas Islam Lamongan.

Hardiyatmo, H. (2007). *Pemeliharaan Jalan Raya* . Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Novelino, A. (2024, October 5). *Otomotif*. Retrieved from CNN Indonesia : https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20241004133318-579-1151516/jumlah-kendaraan-di-indonesia-tembus-164-juta-unit-83-persen-motor

Noviantoro, A. R. (2020). *PEMANFAATAN LIMBAH BAN BEKAS SEBAGAI BAHAN PENGANTI AGREGAT PADA KUAT TEKAN BETON.* Semarang: Universitas Semarang.

Perdana, M. G. (2024). Variasi Kekerasan Agregat Terhadap Kinerja Pada Campuran Aspal Berpori. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 316-330.

PU. (2007). *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas.* Jakarta : Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Ridho, A. N. (2012). *Perencanaan Campuran Aspal Porus terhadap Karakteristik Marshall dan Kuat Tarik Tidak Langsung dengan Serbuk Ban Bekas Sebagai Pengganti Aggregat.* Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Sampoerna University. (2024, maret 5). *Pengertian Agregat Beserta Klasifikasinya*. Retrieved from Sampoerna University: https://www.sampoernauniversity.ac.id/id/news/pengertian-agregat-beserta-klasifikasinya

Sembung , N. T., Sendow, T. K., & Palenewen, S. (2020). ANALISA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN MATERIAL DARI KAKASKASEN KECEMATAN TOMOHON UTARA KOTA TOMOHON. *Jurnal Sipil Statik*, 345 - 352.

Susanto, H. A., Mulyono, B., Widyaningrum, A., & Purnomo, W. H. (2023). KINERJA PERKERASAN ASPAL BERPORI DENGAN CAMPURAN LMBAH PLASTIK DAN KARET . *Jurnal Jalan-Jembatan* , 32 - 43.

Utami, K., Yulia, H., & Pataras, M. (2019). Karakteristik Porous Asphalt Pavement Lapis AC-WC menggunakan Spesifikasi Australia dan Malaysia.