

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG TELUR SEBAGAI
FILLER ASPAL POROUS TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
DAN CANTABRO**

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Program Strata-1

Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Tridinanti



Oleh :

VELLYCO PRADANA

NPM. 2202210038

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TRIDINANTI

2026

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : VELLYCO PRADANA
Nim : 2202210038
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang Pendidikan : Strata I
Mata Kuliah Pokok : Bahan Perkerasan Jalan
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah Cangkang Telur Sebagai
Filler Aspal Porous Terhadap Karakteristik Marshall Dan
Cantabro

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Hariman Al Faritzie S.ST., M.T.
NIDN.0017078403

Pembimbing II



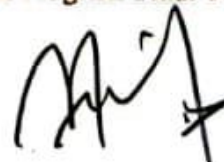
Bazar Asnawi S.T., M.T.
NIDN. 0216126702

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ani Firda, S.T., M.T.
NIDN.0020117701

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Reni Andayani, S.T., M.T.
NIDN.0003067801

SURAT PERNYATAAN

Nama Mahasiswa : VELLYCO PRADA
Nim : 2202210038
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang Pendidikan : Strata I
Mata Kuliah Pokok : Bahan Perkerasan Jalan
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah Cangkang Telur Sebagai Filler Aspal Porous Terhadap Karakteristik Marshall Dan Cantabro

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa,

1. Skripsi dengan judul tersebut di atas adalah murni hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah skripsi dan disebutkan sebagai bahan referensi serta dimasukkan dalam daftar pustaka.
2. Apabila dikemudian hari penulis skripsi ini terbukti merupakan hasil plagiat atau jiplakan dari skripsi karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan serta bersedia menerima sanksi hukum berdasarkan Undang – Undang Republik Indonesia No.20 Tahun 2003 tentang “Sistem Pendidikan Nasional” Pasal 70 yang berbunyi : Lulusan yang karya ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan gelar akademik profesi atau vokasi sebagaimana dimaksud dalam pasal 25 ayat 2 (dua) terbukti merupakan jiplakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 tahun / atau pidana denda paling banyak Rp. 200.000.000,- (Dua Ratus Juta Rupiah).

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dalam keadaan sadar dan tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.



Palembang, Juli 2026



(VELLYCO PRADANA)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah cangkang telur (*eggshell waste*) sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*) konvensional pada campuran aspal porous ditinjau dari karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *permeabilitas*. Cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 94-95% yang berpotensi meningkatkan daya ikat dan stabilitas perkerasan lentur berpori. Variasi persentase substitusi cangkang telur yang diuji meliputi 0%, 25%, 50%, dan 100% dari total berat filler dengan gradasi terbuka sesuai Spesifikasi Bina Marga 2025 (SKh.1.6.37). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran normal adalah 4,75%, sedangkan untuk campuran dengan cangkang telur 25%, 50%, dan 100% diperoleh KAO sebesar 4,5%. Nilai stabilitas Marshall pada kondisi KAO untuk seluruh variasi substitusi cangkang telur memenuhi spesifikasi teknis minimum (350 kg), dengan nilai stabilitas berkisar antara 536,35 kg hingga 613,90 kg. Nilai Cantabro Loss pada kondisi KAO berada pada rentang 14,2% 18,5%, memenuhi batas maksimum 25-35%. Koefisien permeabilitas berkisar antara 0,215 cm/detik hingga 0,312 cm/detik, yang membuktikan bahwa kemampuan drainase perkerasan tetap terjaga dengan sangat baik. Pemanfaatan cangkang telur 50% menghasilkan kombinasi performa mekanis dan durabilitas optimum untuk aplikasi perkerasan jalan berpori.

Kata Kunci : Aspal Porous, Cangkang Telur, Uji *Marshall*, *Cantabro Loss*, *Permeabilitas*.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the effect of using eggshell waste as a substitute for conventional mineral filler in porous asphalt mixtures based on Marshall characteristics, Cantabro Loss, and permeability parameters. Eggshells contain approximately 94-95% calcium carbonate (CaCO_3), which has strong potential to improve adhesive bonding and structural stability in open-graded friction courses. The variations of eggshell substitution evaluated were 0%, 25%, 50%, and 100% by weight of filler following Bina Marga 2025 specifications (SKh.1.6.37). Experimental results revealed that the Optimum Asphalt Content (KAO) for the control mixture was 4.75%, whereas mixtures with 25%, 50%, and 100% eggshell substitution achieved an optimum KAO of 4.5%. Marshall stability values at KAO for all eggshell variations successfully met the minimum specification requirement (350 kg), ranging from 536.35 kg to 613.90 kg. Cantabro Loss values at KAO ranged between 14.2% and 18.5%, strictly complying with the maximum threshold of 25-35%. The permeability coefficient varied from 0.215 cm/s to 0.312 cm/s, ensuring excellent surface water drainage performance. Replacing 50% of mineral filler with eggshell waste yields the optimum balance between mechanical strength, particle loss resistance, and hydraulic conductivity for sustainable porous pavements

Keyword : Porous asphalt, eggshell waste, Uji Marshall, Cantabro Loss, Permeabilitas.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang lingkup Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II	7

TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Aspal.....	7
2.2. Aspal penetrasi 60/70	8
2.3. Aspal Porous	9
2.4. Agregat	9
2.4.1. Agregat kasar	10
2.4.2 Agregat halus	10
2.5. Bahan Pengisi (filler)	12
2.6. Cangkang Telur	12
2.7. Design Mix Formula (DMF).....	13
2.8. Job Mix Formula (JMF)	13
2.9. Kadar Aspal Rencana	13
2.10. Pengujian Marshall.....	14
2.10.1. Stabilitas	15
2.10.2. Kelelehan (Flow).....	16
2.10.3. Marshall Quotient (MQ).....	17
2.10.4. Voids In Mix (VIM)	17
2.11. Pengujian Cantabro Loss.....	18
2.12. Pengujian Permeabilitas	19

2.13. Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III.....	26
METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Alur Penelitian.....	26
3.2 lokasi Penelitian	27
3.3 Tahapan Penelitian	28
3.4 Pengujian Material	29
3.4.1 Pengujian agregat Analisa Saringan	29
3.4.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan air agregat kasar	30
3.4.3. Pengujian Berat jenis penyerapan air agregat halus	32
3.5. Pengujian Abrasi	34
3.6.1. Pengujian Berat Jenis Aspal	37
3.6.2. Pengujian Filler.....	38
3.7. Treatment Cangkang Telur	40
3.8. Design Mix Formula (DMF)	41
3.9. Job Mix Formula (JMF)	42
3.10. Pembuatan Benda Uji	42
3.11. Pengujian Marshall	44
3.12. Pengujian Cantabro Loss	45

3.13. Pengujian Permeabilitas	45
3.14. Analisis Data	46
BAB IV	47
ANALISA DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Pengujian Karakteristik Agregat	47
4.2. Pengujian Analisa Saringan Agregat	49
4.3. Proses Pembuatan Filler Cangkang Telur	50
4.4. Pengujian Karakteristik Aspal	50
4.5. Rencana Campuran Aspal Porous	51
4.5.1. Penentuan Kadar Aspal Rencana(Pb)	51
4.5.2. Perencanaan Job Mix Desain (JMF)	52
4.6. Pengujian Sampel Campuran Aspal Porous	53
4.6.1. Pengujian <i>Marshall</i> Sampel Normal	53
4.6.2. Pengujian <i>Marshall</i> Sampel Cangkang Telur 25%	54
4.6.3. Pengujian <i>Marshall</i> Sampel Cangkang Telur 50%	55
4.6.4. Pengujian <i>Marshall</i> Sampel Cangkang Telur 100%	55
4.7. Pengujian <i>Marshall</i>	56
4.7.1. Pengujian <i>Marshall</i> parameter VIM	56
4.7.2. Pengujian <i>Marshall</i> Parameter Stabilitas	64

4.7.4. Pengujian Marshall Parameter Marshall Quotient (MQ)	75
4.7.5. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Kadar aspal Optimum (KAO)	82
4.7.6. Pengujian Stabilitas Marshall	83
4.8. Pengujian <i>Cantabro loss</i>	86
4.9. Pengujian <i>Permeabilitas</i>	89
4.10. Pembahasan Hasil Pengujian	91
BAB V	94
KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1. Kesimpulan	94
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Laboritorium	27
Gambar 3. 3 Lokasi Penelitian	28
Gambar 3. 4 <i>Treatment</i> Cangkang Telur.....	41
Gambar 3. 5 Pembuatan Benda Uji.....	42
Gambar 4. 1 Proses pembuatan filler cangkang telur	50
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Parameter VIM Campuran Normal	59
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengujian Parameter VIM Campuran Cangkang Telur 25%	60
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengujian Parameter VIM Campuran Cangkang Telur 50%	61
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian Parameter VIM Campuran Cangkang Telur 100%	63
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Parameter Stabilitas Pada Campuran Normal.....	65
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Parameter Stabilitas Pada Campuran Cangkang Telur 25%	66
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Parameter Stabilitas Pada Campuran Cangkang Telur 50%	67
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Parameter Stabilitas Pada Campuran Cangkang Telur 100%	69
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Parameter Kelelahan(<i>flow</i>) Campuran Normal....	71

Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Parameter Kelelehan(<i>flow</i>) Campuran Cangkang Telur 25%.....	72
Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Parameter Kelelehan(<i>flow</i>) Campuran Cangkang Telur 50%.....	73
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian Parameter Kelelehan(<i>flow</i>) Campuran Cangkang Telur 100%.....	74
Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Parameter <i>Marshall Quotient</i> (MQ) Campuran Normal.....	77
Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Parameter <i>Marshall Quotient</i> (MQ) Campuran Cangkang Telur 25%.....	78
Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Parameter <i>Marshall Quotient</i> (MQ) Campuran Cangkang Telur 50%.....	80
Gambar 4. 17 Hasil Pengujian Parameter <i>Marshall Quotient</i> (MQ) Campuran Cangkang Telur 100%.....	81
Gambar 4. 18 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO).....	82
Gambar 4. 19 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> KAO	85
Gambar 4. 20 Pengujian <i>Marshall</i>	86
Gambar 4. 21 Grafik Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	87
Gambar 4. 22 Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	88
Gambar 4. 23 Grafik Pengujian <i>Permeabilitas</i>	89
Gambar 4. 24 Pengujian <i>Permeabilitas</i>	90
Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> KAO	92
Gambar 4. 26 Grafik Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	93

Gambar 4. 27 Grafik Pengujian <i>Permeabilitas</i>	93
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi aspal 60/70.....	8
Tabel 2. 2 Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2. 4 . Gradasi Agregat Campuran Aspal Porous	11
Tabel 2. 5 Kriteria Perencanaan Aspal Porous.....	15
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Rencana Jumlah Sampel Benda Uji Aspal porous menggunakan cangkang telur	44
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat.....	47
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen.....	48
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Cangkang Telur`	49
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	49
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	51
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana	52
Tabel 4. 7 <i>Job Mix Desain (JMF)</i>	53
Tabel 4. 8 Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel Aspal Normal	54
Tabel 4. 9 Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel Cangkang Telur 25%....	54
Tabel 4. 10 Hasil Rata-Rata Pengujian Marshall Sampel Cangkang Telur 50%..	55
Tabel 4. 11 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Marshall</i> Sampel Cangkang Telur 100%	56
Tabel 4. 12 Parameter VIM.....	57
Tabel 4. 13 Parameter Stabilitas.....	64
Tabel 4. 14 Parameter Kelelehan (<i>Flow</i>)	70
Tabel 4. 15 Parameter <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	76

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)	82
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> KAO	84
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	87
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian <i>Permeabilitas</i>	89
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Berdasarkan KAO.....	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia mengalami perkembangan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. salah satu inovasi yang mulai banyak dikembangkan adalah penggunaan aspal porous (*porous asphalt*) yang memiliki keunggulan dalam hal drainase air permukaan, pengurangan noise lalu lintas, dan meningkatkan keamanan berkendara pada kondisi hujan. Aspal porous dirancang dengan gradasi agregat yang bersifat terbuka (*open-graded*), sehingga menciptakan pori-pori yang memungkinkan air meresap ke dalam lapisan perkerasan dan mengalir keluar melalui sambungan lateral. Karakteristik ini sangat relevan dengan kondisi iklim tropis Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi sepanjang tahun.

Penggunaan aspal porous juga menghadapi beberapa tantangan, salah satunya adalah penurunan kekuatan ikatan antar agregat akibat pori-pori yang terbentuk. Hal ini menjadikan pemilihan material filler (pengisi) menjadi sangat kritis untuk meningkatkan kohesi dan stabilitas campuran. Material filler tradisional yang umum digunakan adalah debu batu (*stone dust*) atau semen portland. Meskipun efektif, penggunaan material konvensional ini memerlukan proses penambangan yang berdampak pada degradasi lingkungan.

Indonesia salah satu negara produsen telur terbesar di dunia menghasilkan limbah cangkang telur dalam jumlah yang sangat besar setiap tahunnya Data menunjukkan. bahwa produksi telur nasional mencapai lebih dari 5 juta ton per

tahun, yang menghasilkan limbah cangkang telur sekitar 500.000 ton per tahun. Limbah cangkang telur ini sebagian besar dibuang ke tempat sampah atau dibakar, yang berpotensi mencemari lingkungan. Cangkang telur mengandung komposisi kimia utama berupa kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 94-95%, 1% kalsium fosfat, dan 4% bahan organik, Stadelman, W. J. (2000). Komposisi kimiawi yang didominasi kalsium karbonat ini memberikan potensi untuk dikembangkan sebagai material alternatif pengganti filler konvensional.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan limbah cangkang telur sebagai filler dalam campuran aspal. Penelitian yang dilakukan oleh Ahamad Fatoni dkk. (2024) menunjukkan bahwa substitusi filler konvensional cangkang telur dan abu sekam padi dapat meningkatkan stabilitas marshall pada campuran aspal AC-WC. Selain itu, penelitian Salsabila Rizkia Anju dkk. (2025) menemukan bahwa kombinasi filler serbuk genteng tanah liat dan cangkang telur terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik campuran AC-BC. Namun, penelitian mengenai penggunaan cangkang telur sebagai filler pada aspal porous masih terbatas, terutama terkait dengan pengujian Cantabro yang spesifik untuk mengukur kehancuran (breakdown) agregat pada campuran berpori.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan limbah cangkang telur sebagai filler aspal porous terhadap pengujian Marshall dan Cantabro. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi dalam pengelolaan limbah cangkang telur sekaligus meningkatkan kualitas material perkerasan jalan pori.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah-masalah sebagai berikut:

1. Berapakah hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) terhadap campuran yang menggunakan filler cangkang telur yang diperoleh dari hasil pengujian marshall?
2. Bagaimana kinerja aspal porous yang menggunakan filler cangkang telur dengan pengujian cantabro dan permeabilitas?

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui berapakah kadar aspal optimum (KAO) terhadap campuran yang menggunakan filler cangkang telur yang di peroleh dari hasil pengujian marshall.
2. Mengetahui bagaimana kinerja aspal porous yang menggunakan filler cangkang telur dengan pengujian cantabro dan permeabilitas.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, sesuai dengan tujuan penelitian di atas :

1. Pengembangan mengenai pengaruh variasi campuran lapisan aspal porous menggunakan filler cangkang telur pada pengujian marshall, cantabro dan permeabilitas.
2. Proses penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan informasi bagi peneliti yang ingin melakukan penelitian serupa.

1.5. Ruang lingkup Penelitian

Berdasarkan tujuan dan manfaat penelitian di atas memiliki ruang lingkup pada penelitian ini antara lain :

1. Penelitian ini bersifat ekperimental, karena dilakukan pembuatan benda uji serta dilakukannya pengujian terhadap benda uji tersebut dalam skala laboratorium.
2. Pada penelitian ini terdapat beberapa material yang digunakan material yang digunakan antara lain :
 - a) Aspal Pen. 60/70. Didapat dari PT.Asphalt Bangun Sarana.
 - b) Agregat halus dan agregat kasar yang digunakan didapat dari Kota Palembang tepatnya di Depot Musi II.
 - c) Cangkang telur pada penelitian ini berasal dari CV. SUKSES ABADI FARM Palembang, dari telur ayam negeri.
3. Pengujian sampel dan pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode marshall dan cantabro.
4. Lokasi penelitian dan pengujian lab ini berada di Laboratorium Universitas Tridianti.

5. Penggunaan cangkang telur pada penelitian ini di persentase 0%,25%,50%, dan 100%
6. Pengujian sampel dan pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *marshall* dan *cantabro* dengan gradasi Direktorat Jendral Bina Marga 2025.

1.6. Sistematika Penulisan

Memberikan gambaran umum mengenai isi proposal tugas akhir ini, maka sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat teori-teori yang mendukung penelitian meliputi tinjauan umum mengenai aspal porus, filler dalam campuran aspal, karakteristik limbah cangkang telur, pengujian Marshall, pengujian Cantabro, serta penelitian terdahulu yang relevan.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan meliputi tempat dan waktu penelitian, bahan dan peralatan, rencana penelitian, langkah-langkah penelitian, diagram alir penelitian, serta pengujian benda uji dengan metode marshall dan cantabro.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan data hasil pengujian terhadap pengaruh penggunaan filler cangkang telur terhadap karakteristik campuran aspal porus berdasarkan pengujian Marshall dan Cantabro di laboratorium.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan serta saran-saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisy, M. R. (2024). *Pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai filler terhadap campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) ditinjau dari karakteristik Marshall, Cantabro dan ITS* [Skripsi].
- American Society for Testing and Materials. (2014). *ASTM D7064/D7064M-08(2013): Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design*. ASTM International.
- Anju, S. R., dkk. (2025). Pengaruh penggunaan kombinasi filler serbuk genteng tanah liat dan cangkang telur terhadap karakteristik campuran *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*. *Jurnal Infrastruktur dan Teknik Sipil*.
- Anju, S. R., Sideman, I. A. O. S., & Hasyim. (2025). Analisis kinerja volumetrik dan mekanis campuran AC-BC dengan filler genteng tanah liat dan cangkang telur. *Jurnal Infrastruktur*.
- Arifin, M. Z., & Setyawan, A. (2018). Karakteristik campuran aspal porus dengan penambahan berbagai jenis limbah sebagai filler. *Semesta Teknika*, 21(2), 145-152.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 15-2531-1991 Metode pengujian berat jenis semen Portland. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1969:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2441:2011 Cara uji berat jenis aspal keras. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2456:2011 Cara uji penetrasi aspal. Badan Standardisasi Nasional.

Diana, I. W. (n.d.). *Metodologi penelitian rongga terusan dan performa permeabilitas pada aspal porous*.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum untuk Jalan dan Jembatan 2018 (Divisi 6: Perkerasan Aspal) Revisi 1*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum untuk Jalan dan Jembatan 2018 (Divisi 6: Perkerasan Aspal) Revisi 2*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Spesifikasi khusus interim campuran aspal porous*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Standard Specification for Fine-Graded and Open-Graded Asphalt Mixtures Based on AASHTO PP.77*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Djumari. (2009). *Pengaruh penggunaan aspal polimer terhadap karakteristik aspal porus*. Jurnal Teknik Sipil.
- Fatoni, A., Asmaroni, D., Anam, K., & Setiawan, A. (2024). Limbah cangkang telur dan sekam padi sebagai filler dengan batu pecah Madura sebagai agregat pada campuran AC-WC. *Jurnal Jalan dan Jembatan*.
- Hamzah, M. O., & Hardiman, S. N. (2005). A laboratory study on the performance of porous asphalt. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1242-1256.
- Pratomo, P., & Jimmyanto, H. (2021). Studi literature review perkembangan penelitian aspal porus (Tahun 2017 – 2021). *Jurnal Teknik Sipil Lateral*, 9(1), 45-56.
- Putri, D. S. R. (2024). *Analisis karakteristik campuran aspal beton AC-WC dengan menggunakan cangkang telur ayam negeri sebagai bahan pengganti filler* [Skripsi].
- Rumbayoso, Y. P. A., & Ulum, R. B. (2021). Analisis pengaruh penggunaan cangkang telur bebek ras petelur sebagai filler pada campuran aspal porous. *Jurnal Teknik Sipil*.

Setyawan, A. (2005). *Porous Asphalt: Theory and Application*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.

SNI 2417:2008, *Cara Uji Keausan agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, Badan Standar Nasional, 2008.

Stadelman, W. J. (2000). *Encyclopedia of Food Science and Technology: Egg Products*. Wiley-Interscience.

Sukirman, S. (2021). *Buku Perancangan Perkerasan Jalan*. Bandung: Nova

Yuniwati, I., & Saputro, D. E. (2020). Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai filler untuk meningkatkan nilai stabilitas campuran aspal. *Jurnal Inovasi Material*, 2(1), 12-19.