



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 2 (2025) pp: 7313-7318

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Pengaruh Penggunaan *Filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri Terhadap Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course*

M.Taufik Akbar Syaputra¹, Sazuatmo², Tri Sefrus³

Universitas Prof.Dr Hazairin,SH Bengkulu

Email: taufikas913@gmail.com¹, sazuatmo68@gmail.com², sefrus.tri@gmail.com³

Abstrak

Penggunaan material ramah lingkungan dalam konstruksi jalan semakin menjadi perhatian, terutama dalam upaya memanfaatkan limbah sebagai bahan tambahan yang bernilai guna. Salah satu limbah organik yang berpotensi adalah abu limbah cangkang kemiri, yang mengandung senyawa kimia tertentu yang dapat mempengaruhi karakteristik campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu limbah cangkang kemiri terhadap sifat mekanik campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium dengan variasi kadar abu limbah cangkang kemiri sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap berat total filler. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), serta nilai VIM, VMA, dan VFA. Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa penambahan abu limbah cangkang kemiri memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Pada kadar tertentu, abu limbah mampu meningkatkan nilai stabilitas dan flow, yang menunjukkan peningkatan kekuatan dan kekakuan campuran. Namun, pada kadar yang terlalu tinggi, terjadi penurunan kinerja campuran. Kadar optimum diperoleh pada penambahan abu limbah cangkang kemiri sebesar 6% yang menghasilkan nilai stabilitas dan MQ tertinggi serta memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Dengan demikian, abu limbah cangkang kemiri berpotensi digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran AC-WC, sekaligus menjadi solusi pengelolaan limbah yang ramah lingkungan.

Kata kunci: AC-WC, Abu Limbah, Cangkang Kemiri, Marshall, Stabilitas

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan memiliki peranan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Kualitas jalan dipengaruhi oleh bahan konstruksi yang digunakan, termasuk pemilihan material pada lapisan as jalan atau Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Dalam proses pembangunan jalan, bahan baku seperti agregat dan aspal memiliki peran besar dalam menentukan kualitas konstruksi perkerasan. Namun, penggunaan agregat dan bahan baku konvensional yang berlebihan dapat berdampak terhadap ketersediaan sumber daya alam. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti dalam campuran aspal menjadi salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk pembangunan yang berkelanjutan.

Abu limbah cangkang kemiri merupakan salah satu limbah organik yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (filler) dalam campuran aspal beton. Limbah ini biasanya tidak dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat sehingga penggunaannya dalam konstruksi jalan dapat menjadi solusi pengelolaan limbah yang tepat. Cangkang kemiri mengandung komponen kimia seperti silika, kalsium, dan alumina yang dapat membantu meningkatkan kinerja campuran aspal. Penelitian ini berupaya menjawab kebutuhan akan material alternatif yang memiliki nilai guna tinggi dan ramah lingkungan.

Penggunaan filler dalam campuran aspal beton berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat dan stabil. Penambahan filler dari abu limbah cangkang kemiri diharapkan dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal beton serta mengurangi jumlah rongga dalam campuran. Penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa penggunaan filler alternatif dapat memberikan dampak positif pada karakteristik mekanis campuran AC-WC, khususnya pada nilai stabilitas dan Marshall Quotient (MQ).

Dengan memanfaatkan limbah abu cangkang kemiri, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan filler konvensional dan meminimalkan dampak lingkungan yang diakibatkan oleh limbah organik. Penelitian ini akan memberikan data empiris mengenai performa campuran AC-WC dengan penambahan filler abu limbah cangkang kemiri, sehingga dapat menjadi referensi dalam implementasi bahan alternatif pada konstruksi jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar abu limbah cangkang kemiri dalam campuran AC-WC dengan mengukur parameter stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA, dan VFA. Penentuan kadar optimum abu limbah cangkang kemiri sebagai filler pada campuran AC-WC menjadi fokus utama dalam penelitian ini untuk mengetahui kadar yang dapat memberikan hasil terbaik sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.

Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan aspek teknis dan lingkungan yang menjadi isu penting dalam pembangunan infrastruktur saat ini. Pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti dalam konstruksi dapat mengurangi beban penumpukan limbah organik di lingkungan, serta mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan menjadikan limbah sebagai sumber daya bernilai tambah. Hal ini sejalan dengan upaya pembangunan berkelanjutan yang mengedepankan penggunaan material ramah lingkungan dan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa pemanfaatan limbah sebagai filler dalam campuran AC-WC dapat meningkatkan performa campuran, seperti meningkatkan stabilitas Marshall dan mengurangi deformasi permanen pada lapisan aus. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi kadar optimum dari abu limbah cangkang kemiri agar tidak menurunkan kinerja campuran akibat penambahan filler yang berlebihan. Hal ini penting untuk menjaga keseimbangan antara peningkatan performa campuran dengan tetap memperhatikan spesifikasi teknis yang berlaku.

Kondisi geografis dan lalu lintas di Indonesia yang beragam juga menjadi tantangan dalam konstruksi perkerasan jalan. Penggunaan bahan alternatif seperti abu limbah cangkang kemiri sebagai filler perlu diuji secara laboratorium untuk memastikan kestabilan dan daya tahan campuran aspal terhadap kondisi beban lalu lintas serta iklim tropis yang dapat memengaruhi kinerja perkerasan. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi langkah awal untuk memberikan data ilmiah dalam penggunaan abu limbah cangkang kemiri secara terukur dan terstandar.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi pemerintah daerah dan kontraktor jalan dalam upaya menggunakan bahan alternatif yang ramah lingkungan dalam konstruksi jalan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknik sipil terkait pemanfaatan limbah sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton. Implementasi penggunaan abu limbah cangkang kemiri sebagai filler diharapkan dapat meningkatkan nilai guna limbah organik sekaligus mendukung pengembangan teknologi konstruksi yang efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pengujian Marshall untuk memperoleh data karakteristik campuran AC-WC dengan variasi kadar abu limbah cangkang kemiri. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler konvensional, aspal Penetrasi 60/70, dan filler abu limbah cangkang kemiri. Variasi kadar filler abu limbah cangkang kemiri yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4%, 6%, 8%, dan 10% dari total berat filler.

Proses penelitian dilakukan dengan menyiapkan agregat kasar dan halus sesuai gradasi yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Abu limbah cangkang kemiri diayak menggunakan ayakan No. 200 untuk memastikan ukuran yang sesuai sebagai filler. Aspal dipanaskan hingga mencapai suhu pencampuran dan dicampurkan dengan agregat serta filler abu limbah cangkang kemiri sesuai variasi kadar yang telah ditentukan. Campuran aspal kemudian dicetak menggunakan cetakan Marshall dan dipadatkan menggunakan tumbukan Marshall sesuai dengan standar pengujian. Setelah pendinginan, benda uji dilakukan pengujian stabilitas, flow, dan penghitungan nilai MQ, VIM, VMA, dan VFA sesuai metode pengujian Marshall. Pengujian dilakukan untuk setiap variasi kadar filler abu limbah cangkang kemiri dengan jumlah tiga benda uji pada setiap variasi untuk memperoleh data rata-rata.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode komparasi antar variasi kadar filler abu limbah cangkang kemiri untuk menentukan kadar optimum yang menghasilkan nilai stabilitas dan MQ terbaik sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018. Analisis dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara variasi kadar filler dengan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ.

III. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler abu limbah cangkang kemiri dengan variasi 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap karakteristik Marshall pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, S.H., Bengkulu dengan mengikuti prosedur standar *Marshall Test* dan spesifikasi teknis Bina Marga 2018 sebagai acuan. Material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, dan filler abu limbah cangkang kemiri yang telah diayak hingga lolos saringan No.200 agar homogen dalam campuran. Variabel utama yang diuji pada penelitian ini meliputi parameter stabilitas Marshall, nilai flow, Marshall Quotient (MQ), Void in the Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA), untuk menilai kinerja campuran secara keseluruhan dalam menahan beban lalu lintas.

Hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 5,5%, diperoleh dari hasil pengujian awal dengan metode Marshall sesuai ketentuan Bina Marga. Kadar aspal optimum ini digunakan pada semua variasi penambahan filler abu limbah cangkang kemiri untuk menjaga konsistensi data. Proses pencampuran dilakukan dengan memanaskan agregat dan aspal hingga suhu pencampuran sekitar 160°C agar aspal dapat melapisi agregat secara merata. Selanjutnya, penambahan filler abu limbah cangkang kemiri dilakukan sesuai variasi yang telah ditentukan, yaitu 4%, 6%, 8%, dan 10% dari total filler dalam campuran.

Proses pemadatan dilakukan menggunakan alat pemadat Marshall dengan 75 tumbukan pada setiap sisi benda uji untuk memperoleh kepadatan yang seragam pada semua sampel uji. Setelah pemadatan, benda uji dilepaskan dari cetakan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang untuk stabilisasi bentuk, kemudian dilakukan perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam menggunakan water bath agar kondisi benda uji mendekati kondisi operasional jalan saat menerima beban lalu lintas dan suhu lingkungan sebelum dilakukan pengujian Marshall.

Pengujian Marshall dilakukan dengan menggunakan mesin uji Marshall untuk mengukur nilai stabilitas (kemampuan campuran dalam menahan beban sebelum terjadi deformasi), nilai flow (deformasi plastis saat menerima beban), serta menghitung nilai Marshall Quotient (MQ) yang merupakan rasio antara stabilitas dan flow, untuk menilai tingkat kekakuan campuran. Selain itu, dilakukan pengukuran berat volume benda uji untuk perhitungan nilai VIM, VMA, dan VFA yang menjadi parameter penting dalam menilai kepadatan dan daya tahan campuran aspal beton.

Berikut hasil data lengkap dari pengujian Marshall terhadap campuran AC-WC dengan variasi abu limbah cangkang kemiri sebagai filler:

Tabel I Hubungan Antara Variasi Kadar Filler Dengan Nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, Dan MQ.

Variasi Filler (%)	VMA (%)	VFA (%)	VIM (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
4%	17,53	77,4	4,4	1646,3	2,7	737,6
6%	17,76	74,6	4,6	2235,5	3,5	800,6
8%	18,76	69,3	5,8	1836,0	4,1	538,0
10%	19,38	67,9	6,5	1940,2	4,3	550,6

Dari tabel tersebut terlihat bahwa penambahan filler abu limbah cangkang kemiri pada kadar 6% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi yaitu 2235,5 kg dan nilai MQ sebesar 800,6 kg/mm, dengan nilai flow yang masih sesuai dengan spesifikasi Bina Marga, yaitu 3,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kadar 6% merupakan kadar optimum yang dapat meningkatkan stabilitas campuran AC-WC secara signifikan.

Penambahan filler pada kadar 4% juga memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai stabilitas 1646,3 kg dan flow 2,7 mm, namun nilai stabilitas yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan dengan kadar 6%. Nilai VFA sebesar 77,4% menunjukkan campuran cukup padat dan memiliki rongga yang terisi aspal secara optimal, mendukung daya tahan campuran terhadap beban lalu lintas. Pada kadar 8% dan 10%, nilai VIM dan flow mengalami peningkatan yang signifikan,

sedangkan nilai VFA mengalami penurunan. Nilai stabilitas pada kadar 8% turun menjadi 1836,0 kg dan MQ juga menurun menjadi 538,0 kg/mm, menunjukkan penurunan kekuatan dan kekakuan campuran. Hal ini terjadi karena kelebihan filler dapat menyebabkan campuran menjadi terlalu kaku dan meningkatkan rongga dalam campuran.

Pada kadar 10%, meskipun nilai stabilitas mengalami sedikit peningkatan menjadi 1940,2 kg, nilai flow mencapai 4,3 mm dan MQ hanya 550,6 kg/mm, menunjukkan campuran memiliki fleksibilitas yang tinggi namun kekuatan dan ketahanannya menurun, yang dapat menyebabkan deformasi permanen pada perkerasan jika terkena beban lalu lintas berat secara terus-menerus. Nilai VMA dan VIM yang semakin meningkat pada kadar filler tinggi menunjukkan adanya peningkatan rongga dalam campuran, yang dapat menurunkan daya tahan campuran terhadap penetrasi air dan mempercepat kerusakan akibat pengaruh lingkungan. Hal ini menunjukkan pentingnya penentuan kadar optimum agar campuran tetap stabil dan tahan lama sesuai dengan kondisi lalu lintas dan iklim di Indonesia.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa abu limbah cangkang kemiri memiliki potensi sebagai bahan filler alternatif dalam campuran AC-WC. Penggunaan pada kadar optimum 6% mampu menghasilkan campuran yang stabil, padat, dan memenuhi ketentuan spesifikasi Bina Marga, sekaligus memanfaatkan limbah organik menjadi bahan konstruksi bernilai guna, mendukung keberlanjutan lingkungan dan efisiensi material konstruksi.

Selain tabel sebelumnya, penelitian ini juga melakukan analisis hubungan antara variasi kadar filler abu limbah cangkang kemiri dengan nilai stabilitas dan flow untuk memvisualisasikan tren pengaruh penambahan filler terhadap karakteristik campuran AC-WC. Data ini dapat membantu dalam pemahaman pola keterkaitan parameter secara praktis bagi implementasi di lapangan.

Tabel 2 Hubungan Variasi Kadar Filler dengan Stabilitas dan Flow pada Campuran AC-WC

Variasi Filler (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Stabilitas/Flow (kg/mm)
4%	1646,3	2,7	609,7
6%	2235,5	3,5	638,7
8%	1836,0	4,1	447,8
10%	1940,2	4,3	451,2

Dari tabel tersebut terlihat bahwa pada kadar filler abu limbah cangkang kemiri sebesar 6%, rasio stabilitas terhadap flow mencapai nilai tertinggi yaitu 638,7 kg/mm. Nilai ini mengindikasikan bahwa campuran AC-WC memiliki tingkat kekakuan yang optimal dengan deformasi plastis yang masih terkendali, sehingga campuran mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen secara signifikan. Nilai rasio stabilitas/flow yang tinggi menjadi indikator penting dalam menilai kinerja campuran, karena mencerminkan hubungan keseimbangan antara kekuatan struktural dan fleksibilitas campuran dalam menerima beban berulang dari lalu lintas harian.

Penurunan rasio stabilitas/flow yang terjadi pada penambahan filler sebesar 8% dan 10% menunjukkan adanya kecenderungan penurunan performa campuran meskipun nilai stabilitas masih berada pada kisaran yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya nilai flow yang signifikan pada kadar filler tinggi, sehingga menyebabkan rasio stabilitas/flow menurun drastis menjadi 447,8 kg/mm pada kadar 8% dan 451,2 kg/mm pada kadar 10%. Penurunan ini mengindikasikan campuran cenderung menjadi lebih lentur, yang dapat berpotensi mengurangi daya tahan struktural perkerasan jalan, terutama pada kondisi beban berat dan suhu tinggi, yang dapat mempercepat terjadinya deformasi permanen.

Hasil analisis ini menegaskan bahwa penambahan filler abu limbah cangkang kemiri pada kadar 6% merupakan kadar optimum yang memberikan keseimbangan antara nilai stabilitas yang tinggi dengan fleksibilitas campuran yang masih sesuai standar. Nilai flow sebesar 3,5 mm masih berada dalam rentang yang ditetapkan oleh spesifikasi Bina Marga (2-4 mm), sehingga campuran tetap memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi plastis saat menerima beban lalu lintas tinggi secara berulang. Pada kadar 8% dan 10%, meskipun nilai stabilitas masih memenuhi ketentuan, kenaikan flow menjadi 4,1 mm dan 4,3 mm menunjukkan adanya peningkatan deformasi plastis yang signifikan, sehingga dapat memicu terjadinya rutting atau alur pada permukaan jalan, terutama di daerah dengan lalu lintas berat.

Selain itu, penambahan filler abu limbah cangkang kemiri juga mempengaruhi parameter volumetrik pada campuran AC-WC, seperti nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) dan Void Filled Asphalt (VFA). Data menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar filler yang digunakan, nilai VMA mengalami peningkatan yang menunjukkan adanya peningkatan volume rongga dalam agregat mineral pada campuran. Namun demikian, nilai VFA cenderung menurun pada kadar filler

tinggi, menunjukkan bahwa rongga pada agregat mineral tidak seluruhnya terisi oleh aspal, yang dapat mempengaruhi ketahanan campuran terhadap penetrasi air dan mempercepat kerusakan akibat pengaruh iklim tropis yang lembap dan curah hujan tinggi.

Kondisi tersebut perlu menjadi perhatian dalam perencanaan dan formulasi campuran AC-WC agar dapat menghasilkan kualitas perkerasan jalan yang memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas cukup, serta tahan lama dalam kondisi operasional lapangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan filler abu limbah cangkang kemiri dengan kadar optimum 6% tidak hanya dapat meningkatkan performa campuran aspal beton, tetapi juga memberikan alternatif pemanfaatan limbah organik yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dan teknis sebagai referensi bagi pemerintah daerah, akademisi, serta kontraktor dalam memilih bahan alternatif ramah lingkungan pada konstruksi jalan. Selain itu, penelitian ini membuka peluang untuk kajian lanjutan terkait ketahanan campuran AC-WC berbahan filler limbah cangkang kemiri terhadap uji ketahanan air (*immersion test*), rutting, fatigue, serta pengujian skala lapangan untuk mengevaluasi kinerja campuran dalam kondisi lalu lintas nyata. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan tetapi juga dapat menjadi solusi dalam mengurangi penumpukan limbah organik yang berpotensi mencemari lingkungan.

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran aspal AC-WC dengan *Substitusi Filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri dapat disimpulkan sebagai berikut : Dari hasil pengujian *marshall*, Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 5,5% pada campuran AC-WC Asphalt Concrete-Wearing Course dengan *Substitusi filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%, sehingga didapatkan Kadar Pencampuran Optimum (KPO) Abu Limbah Cangkang Kemiri sebesar 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa Kadar Pencampuran Optimum 4,0% memiliki nilai *VMA* 17,53%, *VFA* 77,4%, *VIM* 4,4%, Stabilitas 1646,3 kg, *Flow* 2,7 mm, dan *Marshall Quotient* 737,6 kg, sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 6,0% memiliki nilai *VMA* 17,76%, *VFA* 74,6%, *VIM* 4,6%, Stabilitas 2235,5kg, *Flow* 3,5 mm, dan *Marshall Quotient* 800,6 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 8,0% *VMA* 18,76%, *VFA* 69,3%, *VIM* 5,8%, Stabilitas 1836 kg, *Flow* 4,1 mm, dan *Marshall Quotient* 538,0 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 10% *VMA* 19,38%, *VFA* 67,9%, *VIM* 6,5%, Stabilitas 1940,2 kg, *Flow* 4,3 mm, dan *Marshall Quotient* 550,6 kg. Pada hasil pencampuran Abu Limbah Cangkang Kemiri dengan persentase 4,%, 6,%, 8,%, 10%, maka di dapatkan Kesimpulan Dimana pada campuran 4% dan 6% memenuhi persyaratan dari standar spesifikasi SNI Bina Marga 2018 revisi 2, sedangkan pada campuran 8% dan 10% titik *Flow* dan *VIM* melebihi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, Pada Persentase 4% Memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018, Namun nilai Stabilitas lebih rendah. Maka di dapatkanlah nilai persentase optimum yaitu Berdasarkan hasil Kadar Pencampuran Optimum pada *Substitusi Filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri diperoleh pada persentase Kadar Pencampuran Optimum 6,0% dengan nilai stabilitas yaitu 2235,5 kg, namun peningkatan yang terjadi pada stabilitas tidak terlalu signifikan .

REFERENSI

- 1 Agustian, K., & Agusmaniza, R. (2021). Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- 2 Aly, S. H., & Takdir, T. (2011). Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada beton aspal lapisan aus. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 123–134.
- 3 Anonim. (2020). *Petunjuk Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*.
- 4 Bina Marga, Di. (2018). *Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal*.
- 5 et al 2021, K. (2021). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1689–1699.
- 6 Rahman, S., Paneo, S. O., Massara, A., & Alifuddin, A. (2024). Analisis Pengaruh Pemanfaatan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Pengujian Marshall dan Indirect Tensile Strength Pada Campuran (AC- WC). 2(2), 88–94.
- 7 Refiyanni, I. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti. *Konteks* 13, II(October), 256–262.

- 8 Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar...*, 6(1), 10–20. <http://180.250.41.45/jtsipil/article/view/1953>
- 9 Saudi, A. I., Suryani, H., & Okviyani, N. (2024). *Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis AC – WC*. 6(1), 16–23.
- 10 Situmorang, S. (2021). *Perencanaan Tebal Perkerasan Terhadap Kerusakan Ruas Jalan (Studi Kasus: Jalan Wiliam Iskandar Pasar V Medan)*.
- 11 Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Buku.
- 12 Sukirman, S. (2007). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.