



ANALISA KARAKTERISTIK LIMBAH LIMESTONE SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN FILLER UNTUK CAMPURAN ASPAL CONCRETE TERHADAP NILAI MARSHALL (AC-WC)

Ikko Bagus Ismanto^{1*}, Herta Novianto², Dwi Nur Rosyid³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro
Jl. Lettu Suyitno No. 2, Kalirejo, Bojonegoro, Indonesia 62119

*Email: Ikkobagoesismanto@gmail.com

Diajukan: 08/08/2025 Direvisi: 02/06/2026 Diterima: 08/06/2026

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan limbah limestone dari industri pemotongan batu di Rengel, Tuban sebagai substitusi parsial filler campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) menggunakan desain Marshall. Pengujian dilakukan pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar limbah 0%, 5%, 10%, dan 15% merujuk pada Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hasil menunjukkan stabilitas meningkat hingga kadar 10% dengan nilai maksimum 2641,13 kg sebelum menurun pada kadar 15%. Parameter Marshall lainnya meliputi rentang VIM (3,50–4,36%), flow (3,10–3,23 mm), dan VMA (15,97–18,72%) yang seluruhnya memenuhi standar teknis yang dipersyaratkan. Variasi 5% memberikan kombinasi parameter paling seimbang, sedangkan kadar 10% memberikan stabilitas tertinggi. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan bukti empiris pemanfaatan limbah lokal bermagnesium tinggi dengan daya serap unik (3,49%) untuk mendukung konstruksi jalan yang berkelanjutan. Temuan ini menegaskan bahwa limbah limestone Rengel efektif meningkatkan kinerja struktural campuran aspal sekaligus menjadi solusi reduksi limbah industri lokal yang sebelumnya belum tereksplorasi secara mendalam.

Kata kunci: Limbah Limestone, AC-WC, Uji Marshall, Filler Alternatif, Konstruksi Berkelanjutan

Abstract

This study evaluates the utilization of limestone waste from the stone-cutting industry in Rengel, Tuban, as a partial filler substitution in Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) mixtures using the Marshall design. Testing was conducted at the Optimum Asphalt Content (OAC) with waste content variations of 0%, 5%, 10%, and 15%, referring to the 2018 Bina Marga Specifications (Revision 2). The results showed that stability increased up to a 10% substitution level, reaching a maximum value of 2,641.13 kg, before decreasing at 15%. Other Marshall parameters included VIM (3.50–4.36%), flow (3.10–3.23 mm), and VMA (15.97–18.72%), all of which met the required technical standards. The 5% variation provided the most balanced combination of parameters, while the 10% variation yielded the highest stability. This research contributes empirical evidence on the use of local high-magnesium waste with a unique absorption rate (3.49%) to support sustainable road construction. The findings confirm that Rengel limestone waste effectively enhances the structural performance of asphalt mixtures while providing an industrial waste reduction solution that has not been previously explored in depth.

Keywords: Limestone Waste, AC-WC, Marshall Test, Alternative Filler, Sustainable Construction.

1. PENDAHULUAN

Laston (*Asphalt Concrete/AC*) merupakan campuran beraspal panas yang tersusun dari agregat, aspal sebagai pengikat, dan *filler* sebagai pengisi rongga halus. Pada lapis aus AC-WC, *filler* berperan penting dalam membentuk *mastic* (campuran aspal-*filler*) yang mempengaruhi kekakuan, adhesi, serta ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dan kerusakan akibat air.

Di sisi lain, peningkatan pembangunan jalan mendorong kebutuhan material *filler* dalam jumlah besar. Pemanfaatan limbah mineral, termasuk limbah *limestone*, menjadi opsi yang relevan untuk menekan konsumsi bahan alam sekaligus mengurangi beban residu industri. Namun, kinerja limbah *limestone* sebagai pengganti *filler* tidak selalu linier: pada kadar tertentu dapat meningkatkan stabilitas, tetapi kadar berlebih dapat mengubah struktur rongga dan ketebalan film aspal sehingga menurunkan kinerja.

Pemanfaatan batu kapur (*limestone*) dalam konstruksi perkerasan jalan telah menjadi subjek penelitian yang luas, terutama karena potensinya sebagai material lokal yang melimpah dan ramah lingkungan. Penelitian terdahulu oleh Asparini (2017) telah mengevaluasi penggunaan batu putih dari Rengel, Tuban, namun fokusnya terbatas pada penggunaannya sebagai agregat alternatif untuk campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS). Di sisi lain, penggunaan kapur dalam bentuk kapur padam (*hydrated lime*) sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) juga telah diteliti, namun lebih menekankan pada fungsinya sebagai agen anti-pengelupasan (*anti-stripping agent*) untuk meningkatkan durabilitas.

Meskipun demikian, terdapat celah penelitian (*research gap*) yang signifikan terkait penggunaan limbah industri

pemotongan batu alam (*limestone*) secara spesifik sebagai substitusi parsial *filler* pada campuran AC-WC. Sebagian besar literatur saat ini, seperti penelitian Dayanti dkk. (2024), cenderung menguji penggunaan abu batu kapur secara penuh (100%) sebagai *filler* atau menggunakan variasi kadar aspal yang berbeda tanpa mempertimbangkan karakteristik spesifik limbah industri dari wilayah geologis tertentu. Analisis mengenai bagaimana butiran halus dari sisa pemotongan batu kapur di wilayah Tuban-Bojonegoro—yang memiliki karakteristik magnesium tinggi dan daya serap air yang unik (3,49%)—mempengaruhi parameter *Marshall* secara simultan (stabilitas, *flow*, VIM, dan VMA) pada lapisan aus masih sangat terbatas.

Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis eksperimental laboratorium yang mendalam untuk menentukan kadar substitusi optimum limbah *limestone* Rengel sebagai *filler*. Hal ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan nilai stabilitas campuran AC-WC melalui mekanisme *filler effect* dan pembentukan *mastic*, tetapi juga memberikan solusi teknis terhadap permasalahan lingkungan akibat penumpukan limbah industri batu alam di daerah sekitar

Berangkat dari urgensi dan celah penelitian tersebut, studi ini bertujuan untuk mengevaluasi secara komprehensif karakteristik *Marshall* pada campuran AC-WC dengan substitusi limbah *limestone* asal Rengel, Tuban. Melalui pendekatan desain *Marshall*, penelitian ini tidak hanya diarahkan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan variasi *filler* yang paling efektif, tetapi juga untuk memberikan bukti empiris mengenai pemanfaatan limbah industri yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) guna mendukung konstruksi jalan yang lebih berkelanjutan

2. METODOLOGI

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal AC-WC dengan memanfaatkan limbah *limestone* sebagai substitusi parsial *filler*. Limbah *limestone* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari industri pemotongan batu alam di daerah Rengel, Kabupaten Tuban, yang secara geografis berada di wilayah formasi batuan kapur endapan (*sedimentary rock*). Berdasarkan data sekunder dari penelitian terdahulu pada lokasi sumber yang sama, material ini diklasifikasikan sebagai *limestone* magnesium (Golongan VII) dengan kandungan kimia dominan berupa Ca (27,2%) dan Mg (5,3%). Secara fisik, material *limestone* dari Rengel memiliki nilai *Apparent Specific Gravity* berkisar antara 2,705 hingga 2,795 dengan penyerapan air (*absorption*) yang cukup tinggi sebesar 3,49%. Meskipun pengujian fisik spesifik tidak dilakukan secara mandiri, penggunaan data referensi geologis ini menjadi dasar ilmiah dalam perhitungan parameter *Marshall*, terutama terkait pengaruh berat jenis *filler* terhadap rongga dalam campuran (VIM) dan rongga antar agregat (VMA).

2.1 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini menggunakan metode cara basah, yaitu dengan cara pencampuran agregat limbah *limestone* dengan agregat alami, dan sudah ditambahkan *bitumen*/aspal panas. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, untuk mencari nilai KAO dan variasi pengganti agregat limbah *limestone* 5%, 10%, 15%, dari berat total benda uji.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dari hasil pengujian terhadap aspal, agregat,

campuran antara aspal dan agregat untuk perkerasan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC). Berdasarkan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilakukan pengujian terhadap nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan *Marshall Quotient* dan indeks peredaman terhadap seluruh benda uji dengan menggunakan alat *marshall*. Pengambilan data pada alat *marshall* dilakukan dengan mencatat besarnya gaya yang didapat menghancurkan benda uji tersebut. Dari pengujian *marshall*, akan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

2.3 Analisa Data

Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimental laboratorium berbasis desain campuran *Marshall* secara sistematis untuk menentukan kadar material optimal. Upaya ini dilakukan hingga beberapa kali hingga mendapatkan hasil yang paling sesuai. Berikut langkah penelitian yang dilakukan:

1. Persiapan alat dan bahan

Pengujian agregat kasar, halus, dan *filler*, pengujian agregat kasar dan halus meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air dengan acuan (Standar Nasional Indonesia Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, 1969, Standar Nasional Indonesia Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran Beraspal, 2002). Sedangkan pengujian *filler* harus lolos saringan no. 200, minimal 70% sesuai dengan acuan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

2. Perencanaan *Job Mix Formula*

Urutan proses atau dapat disebut tahapan dalam menentukan campuran benda uji adalah sebagai berikut:

- Menentukan berat total benda uji untuk mempermudah menentukan persentase campuran.
- Menentukan kadar bahan tambah limbah *limestone*

dengan persentase 5%, 10%, dan 15% dari berat total campuran.

- c. Menentukan kadar agregat kasar, halus, *filler*, dan aspal pada masing – masing persentase.

3. Analisis hasil dan Kesimpulan

Sesuai dengan acuan penelitian terdahulu, penelitian ini akan fokus pada pembahasan mengenai karakteristik limbah *limestone* sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap nilai marshall yang meliputi:

- a. Stabilitas
- b. Kelelahan (*flow*)
- c. VMA
- d. VIM
- e. VFA
- f. Kepadatan (*density*)
- g. MQ (*marshall quotient*).

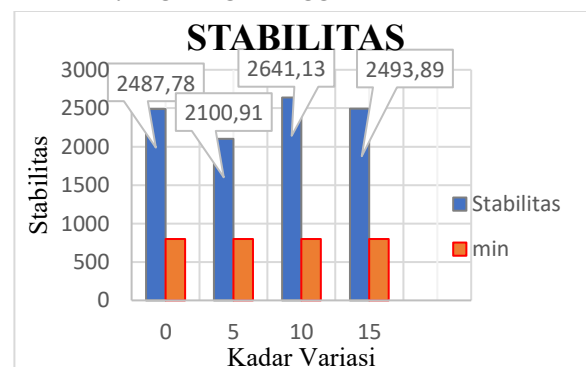
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bedasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan limbah *limestone* yang di gunakan sebagai pengganti sebagian *filler* pada *Ashpalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) maka dapat hasil dalam penjelasan berikut:

3.1 Penggunaan Limbah *Limestone* sebagai Filler pada Nilai Stabilitas

Gambar 1 Peningkatan stabilitas hingga kadar 10% (2641,13 kg) menunjukkan efektivitas limbah *limestone* Rengel dalam memperkuat struktur *interlocking* agregat. Secara ilmiah, hal ini dipicu oleh pembentukan '*mastic*' (campuran aspal-*filler*) yang kaku dan memiliki daya adhesi tinggi terhadap aspal (mencapai 97,5% menurut Asparini, 2017). *Filler limestone* berfungsi mengisi rongga halus antar agregat, sehingga meningkatkan luas kontak dan gesekan internal campuran. Namun, penurunan stabilitas pada kadar 15% terjadi karena volume *filler* yang berlebih menyebabkan film aspal menjadi terlalu tipis untuk menyelimuti seluruh butiran, yang mengakibatkan campuran

menjadi getas dan kehilangan elastisitasnya. Jika dibandingkan dengan penelitian Dayanti dkk. (2024) yang menggunakan abu batu kapur dari Desa Kaloy, Aceh, terdapat perbedaan karakteristik puncak stabilitas yang menarik. Dayanti mencatat stabilitas maksimum sebesar 2780,08 kg pada kadar *filler* yang lebih rendah (4%). Sementara itu, penelitian Andri dkk. (2012) yang menggunakan kapur padam dari Palu menghasilkan stabilitas tertinggi sebesar 1243,425 kg pada kadar 25%. Temuan dalam penelitian ini, dengan stabilitas puncak 2641,13 kg pada kadar 10%, menunjukkan bahwa limbah industri Rengel memiliki performa yang jauh lebih superior dibandingkan kapur padam standar dan hampir setara dengan abu batu kapur murni. Perbedaan kebutuhan kadar optimum ini mengindikasikan bahwa sifat fisik limbah industri pemotongan batu—yang cenderung lebih kasar dibandingkan kapur padam—memerlukan volume yang lebih besar untuk mencapai interaksi *mastic* yang optimal, namun mampu menghasilkan daya dukung beban yang sangat tinggi.

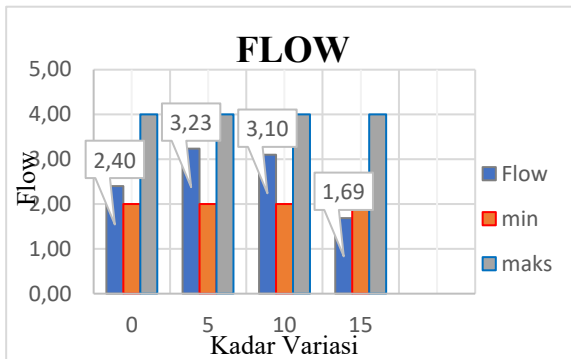


Gambar 1. Analisa Nilai Stabilitas

3.2 Penggunaan Limbah *Limestone* sebagai Filler terhadap Nilai *Flow* (Kelelahan).

Penambahan variasi limbah *limestone* pada penelitian ini adalah 0 %, 5%, 10%, 15%. Pada kadar variasi 5 % didapat nilai kelelahan *flow* sebesar 3,23 mm, mengalami penurunan dari nilai kontrol sebesar 1,69 mm yang tidak memenuhi nilai *flow* sebesar

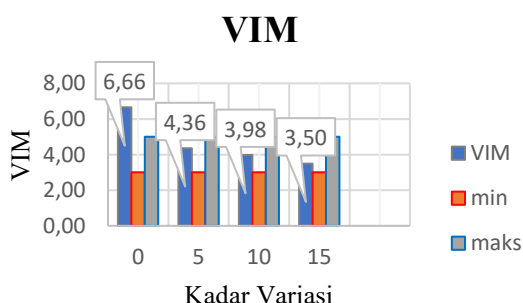
2% sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018. Pada kadar aspal 10% didapat nilai kelelahan *flow* sebesar 3.10 mm, mengalami penurunan dari nilai kadar variasi 5%. Pada penambahan variasi limbah *limestone* memenuhi persyaratan standar spesifikasi umum Bina Marga 2018 yaitu kelelahan atau *flow* minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Nilai *Flow* dapat di lihat dalam Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Analisa Data Nilai *Flow*

3.3 Penggunaan Limbah *Limestone* sebagai *Filler* terhadap Nilai *Void in Mix* (VIM)

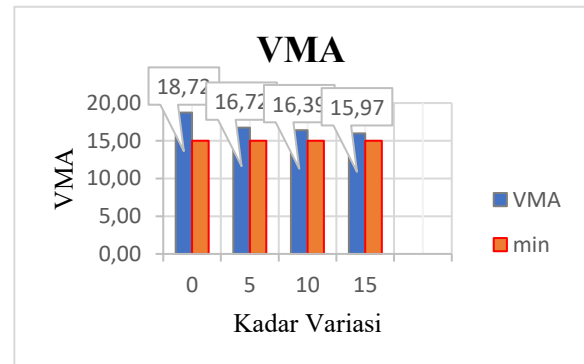
Hasil dari pengujian VIM lapisan aspal beton AC-WC dengan penambahan limbah *limestone* dengan kadar limbah *limestone* 0%, 5%, 10%, 15%. Dengan nilai 4,36%, 3,98%, 3,50% yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dimana nilai minimum untuk VIM adalah 3,0% dan maksimum 5,0% dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Analisa Data Nilai VIM

3.4 Penggunaan Limbah *Limestone* terhadap Nilai *Voids In The Mineral Agregate* (VMA)

Hasil dari perhitungan VMA untuk campuran AC-WC + limbah *limestone* dengan kadar variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pada perhitungan VMA dengan kadar aspal optimum 6.4% didapat nilai tertinggi sebesar 18,72%, nilai tersebut paling tinggi dari batas nilai VMA. Pada kadar variasi 0% 5%, 10% dan 15%. nilai VMA semakin turun namun tetap masuk dalam spesifikasi. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 sebesar 15%. Nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

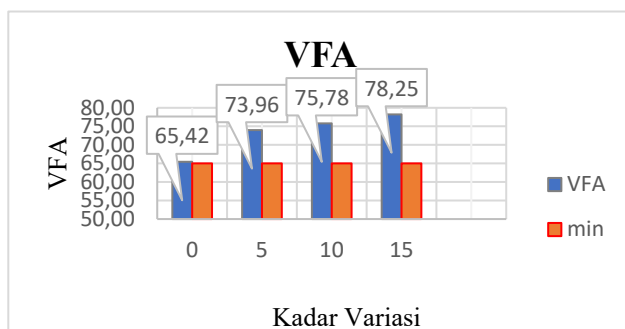


Gambar 4. Analisa Data Nilai VMA

Penurunan nilai VMA (dari 18,72% ke 15,97%) dan VIM seiring bertambahnya kadar filler membuktikan peran limbah *limestone* sebagai pengisi rongga yang sangat dominan. Analisis ini diperkuat oleh karakteristik fisik material Rengel yang memiliki penyerapan air (*absorption*) cukup tinggi sebesar 3,49%. Daya serap yang tinggi ini mengindikasikan struktur pori material yang mampu menyerap sebagian aspal ke dalam butiran *filler*; sehingga mengurangi ruang kosong antar mineral (VMA) namun secara simultan meningkatkan kepadatan (*density*) campuran. Hal ini selaras dengan teori bahwa penambahan *filler* mineral berpori akan memperkecil volume rongga udara yang tersedia dalam campuran.

3.5 Penggunaan Limbah *Limestone* sebagai *Filler* terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Hasil dari pengujian VFA lapisan aspal beton AC-WC dengan penambahan limbah *limestone* 5%, 10%, 15%. dengan kadar aspal optimum 6.4%. Pada kadar aspal 5%, 10% dan 15% nilai VFA penambahan limbah *limestone* memenuhi persyaratan. Semakin tinggi kadar aspal yang dimasukkan, nilai VFA juga semakin tinggi dan memenuhi dengan persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu VFA minimal 65%. Nilai VFA dapat dilihat di Gambar 5 di bawah ini.



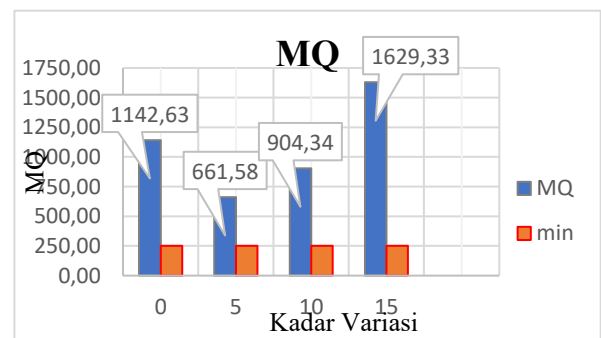
Gambar 5. Analisa Data Nilai VFA

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-WC + limbah *limestone* 5%, 10%, 15% yang semakin tinggi menunjukkan bahwa lapisan aspal beton mempunyai rongga-rongga dalam. Limbah *limestone* dapat mengisi rongga – rongga dalam lapisan aspal beton dengan optimum. Kriteria VFA ini membantu agar campuran tidak mudah *rutting* terhadap beban lalu lintas berat.

3.6 Penggunaan Limbah *Limestone* terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Berdasarkan hasil pengujian (Gambar 6), nilai *Marshall Quotient* (MQ) mengalami tren peningkatan yang signifikan seiring bertambahnya kadar limbah *limestone*, dengan titik tertinggi mencapai 1629,33 kg/mm pada variasi 15%. Secara empiris, MQ merupakan indikator kekakuan (*stiffness*) campuran yang dihasilkan dari rasio antara stabilitas dan kelelahan (*flow*). Lonjakan nilai MQ pada kadar 15%

mengindikasikan bahwa campuran menjadi jauh lebih kaku dibandingkan kadar lainnya. Kekakuan ini dipengaruhi oleh karakteristik limbah *limestone* Rengel yang merupakan jenis magnesium *limestone* dengan tingkat penyerapan air yang tinggi (3,49%). Tingginya absorpsi material menyebabkan sebagian aspal terserap ke dalam pori *filler*, sehingga membentuk *mastic* yang lebih keras dan meningkatkan viskositas campuran.



Gambar 6. Analisa Data Nilai MQ

Meskipun nilai MQ yang tinggi sangat efektif dalam menahan deformasi permanen (*rutting*) akibat beban lalu lintas berat, peningkatan kekakuan yang ekstrem pada kadar 15% perlu diwaspadai karena berpotensi membuat campuran menjadi lebih getas dan rentan terhadap retak lelah (*fatigue cracking*). Jika dibandingkan dengan temuan Roza Is Dayanti dkk. (2024) yang menghasilkan MQ sebesar 707,21 kg/mm pada kadar *filler* 4%, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi limbah industri hingga 15% memberikan tingkat kekakuan yang jauh lebih tinggi. Walaupun demikian, seluruh variasi kadar limbah *limestone* dalam penelitian ini tetap memenuhi standar minimum Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 250 kg/mm, sehingga secara fungsional masih layak digunakan untuk lapis permukaan AC-WC.

Lonjakan nilai MQ hingga 1629,33 kg/mm pada variasi 15% dalam studi ini menunjukkan tingkat kekakuan yang jauh melampaui hasil studi komparatif lainnya. Sebagai perbandingan, Dayanti dkk. (2024)

hanya menghasilkan nilai MQ sebesar 707,21 kg/mm. Tingginya kekakuan pada campuran limbah Rengel ini secara ilmiah dapat dikaitkan dengan karakteristik mineralogi magnesium yang dominan (5,3%) dan sifat absorpsi tinggi (3,49%) material tersebut. Hal ini selaras dengan teori Tumpu dkk. (2020) bahwa *filler limestone* yang bersifat absorptif akan menyerap fraksi ringan aspal ke dalam porinya, sehingga meningkatkan viskositas *mastic* dan kekakuan campuran secara keseluruhan. Keunggulan kekakuan ini sangat menguntungkan untuk jalan dengan volume lalu lintas berat karena meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*).

Secara keseluruhan, efektivitas limbah *limestone* Rengel sebagai *filler* diperkuat oleh kemampuan adhesinya yang sangat baik terhadap aspal, mencapai 97,5% menurut data referensi Asparini (2017). Temuan ini didukung oleh Ahmad dkk. (2024) yang menyatakan bahwa inovasi penggunaan kapur dapat meningkatkan ikatan (*bond*) antara aspal dan agregat secara signifikan. Meskipun terdapat variasi hasil pada parameter volumetrik (VIM dan VMA) jika dibandingkan dengan studi Vianda dkk. (2021) atau Zulkarnain dkk. (2023), seluruh parameter *Marshall* dalam penelitian ini tetap konsisten berada dalam rentang Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hal ini membuktikan kelogisan teknis bahwa limbah lokal Rengel bukan sekadar material pengisi, melainkan agen penguat struktur perkerasan yang layak secara fungsional

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis eksperimental laboratorium dan pembahasan mengenai pengaruh substitusi limbah *limestone* asal Rengel, Tuban terhadap karakteristik campuran AC-WC, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Karakteristik *Marshall*: Penambahan limbah *limestone* secara signifikan meningkatkan kinerja struktural campuran aspal melalui mekanisme *filler effect* dan pembentukan *mastic*. Nilai stabilitas *Marshall* mencapai titik puncak pada kadar substitusi 10% sebesar 2641,13 kg, yang dipicu oleh daya adhesi tinggi *limestone* Rengel terhadap aspal (97,5%). Namun, pada kadar 15% stabilitas menurun akibat film aspal yang menipis namun menghasilkan kekakuan tertinggi dengan nilai *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 1629,33 kg/mm.
2. Pemenuhan Spesifikasi Teknis: Seluruh variasi kadar limbah *limestone* (5%, 10%, dan 15%) memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk lapis aus AC-WC. Karakteristik fisik material Rengel yang memiliki absorpsi tinggi (3,49%) terbukti efektif dalam menekan nilai rongga udara, dengan rentang VIM berada pada 3,50%–4,36% dan VMA pada 15,97%–18,72%, yang menunjukkan tingkat kepadatan campuran yang baik.
3. Rekomendasi Kadar Optimum: Berdasarkan keseimbangan seluruh parameter, variasi 5% memberikan kombinasi karakteristik yang paling seimbang terhadap seluruh rentang spesifikasi Bina Marga, sedangkan variasi 10% sangat direkomendasikan untuk penggunaan pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi yang membutuhkan stabilitas maksimum.
4. Kontribusi Material: Penggunaan limbah industri pemotongan batu kapur dari Rengel tidak hanya layak secara teknis sebagai *filler* alternatif, tetapi juga memberikan solusi berkelanjutan terhadap permasalahan lingkungan melalui pengurangan residu industri lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarikhi, M., Sholichin, I., & Estikhamah, F. 2024. Pengaruh Penambahan Batu Kapur Paciran Kabupaten Lamongan Sebagai Filler Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). *Jurnal Gradasi Teknik Sipil* 8(2), 169–180. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v8i2.2387>
- Asparini, A., 2017. Batu Putih dari Rengel-Tuban sebagai Bahan Alternatif Agregat Campuran HRS. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 1(1), pp.5-10. <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats/article/view/2770/2132>
- Budianto, M.D. & Lubis, Z., 2020. Alternatif Penggunaan Agregat Halus Batu Kapur Mantup dalam Campuran Aspal Panas AC-WC. U KARST Учредители: Universitas Kediri, 4(1), p.54. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v4i1.702>
- Canser, J., Serfus, T., & Pujiastuti, E. T. 2026. Pengaruh Kinerja Campuran Aspal AC-BC Dengan Penggantian Filler Batu Kapur. 5(1), 1599–1611. <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6058>
- Chasanah, F., & Putra, F. A. 2019. Effects of Using Limestone as a Filler and Starbit E-55 Asphalt as a Binder on the Performance of AC – WC Mixture. 5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925804005>
- Dayanti, R.I., Irwansyah, I. and Alamsyah, W. 2024. Abu Batu Kapur Sebagai Alternatif Filler dalam Campuran Aspal Beton untuk Lapisan Aus. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 7(1), pp.65-73. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v7i1.5096>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2, 1–1036.
- Gani, S. A., Putri, E. E., Adji, B. M., Hakam, A., Housing, P., Andalas, U., Andalas, U., & Author, C. 2023. Effect Of Several Lime Materials On Split Mastic Asphalt Properties. 25(111), 41–48. <https://doi.org/10.21660/2023.111.3936>
- Irwanto, T. J. & Asmaroni, D. 2019. Pemanfaatan Material Lokal Dan Produk Samping Industri Sebagai Agregat Batu Pecah dan Filler terhadap Kinerja Marshall pada Campuran Panas Aspal Beton Lapis Permukaan Aus (ACWC). 02, 1–8. <https://doi.org/10.25139/jprs.v2i1.1243>
- Irwanto, T. J. & Qadar, T. 2019, November. Influence of Replacement Portland Cement With White Limestone Powder from Madura as Filler on Hot Asphalt Mixture (Hot Mix) Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC) on Marshall characteristic. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1375, No. 1, p. 012026). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012026>
- Ismanto, I.B., 2025. Karakteristik Substitusi Limestone Sebagai Pengganti Sebagian Filler Untuk Campuran Stone Matrix Ashpal (SMA) Tipis Terhadap Nilai Marshall. *Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, pp.321-328. <https://doi.org/10.30742/axial.v13i3.4900>
- Jebur, Y.M., Falah, M.W., Kadhim, M.A., Imran, M.K., Hashim, T.M., Obeid, Z.S., Hussien, S.A. & Kadhim, R.H., 2024, February. Effect of Filler Type and Content on The Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3009, No. 1, p. 030044). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0190471>
- Muhammad, F., Badaron, S. F., Arifin, W., & Alifuddin, A. 2019. Analisis Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan Menggunakan Abu Batu Kapur pada Filler. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 499–509. <https://doi.org/10.33096/zxppvm69>
- Rahmawati, M., Hartatik, N., Rizkiardi, A. and Prasetyo, Y.D. 2023. Pemanfaatan limbah batu kapur bukit Sekapuk Gresik sebagai filler campuran AC-BC. *Jurnal Ilmiah Teknik dan*

- Manajemen Industri, 3(1), pp.1-8.
<https://doi.org/10.46306/tgc.v3i1.56>
- Setiawan, A., Saifuddin, M., Abidin, M.Z., Ramadhana, N. and Zain, W., 2025. Pengoptimalan Campuran AC-WC dengan Variasi Limbah Industri Kulit Singkong dan Serbuk Batu Kapur Berdasarkan Nilai Karakteristik Marshall. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 8(2), pp.69-74.
<https://doi.org/10.25139/jprs.v8i2.10050>
- Taufik, M., & Ibnu, H. 2025. Inovasi Penggunaan Kapur sebagai Pengganti Bahan Pengisi pada AC-WC. *Jurnal Sosial Teknologi*, 5(7), 2970–2986.
<https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v5i7.32340>
- Tumpu, M., Tjaronge, M.W., Djamaluddin, A.R. and Amiruddin, A.A. 2020. Effect of Limestone and Buton Granular Asphalt (BGA) on Density of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Mixture. In *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* (Vol. 419, No. 1). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012029>
- Vianda, M.O., Sriharyani, L. and Kurniawan, S. 2021. Karakteristik Marshall Campuran Aspal Concrete–Binder Course (AC-BC) dengan Bahan Pengisi (Filler) Abu Batu Kapur (Limestone). *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 2(1), pp.138-143.
<https://doi.org/10.24127/jumatisi.v2i1.3685>
- Yacob, M. & Wesli, W., 2017. Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur dan Abu Tempurung Kelapa terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton AC-BC. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), pp.213-222.
<https://doi.org/10.29103/tj.v7i1.127>
- Zulkarnain, I. & Hidayat, M. 2023. Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan Filler Pada Campuran Aspal AC-BC. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 7(2), pp.239-251.
<https://doi.org/10.31289/jcebt.v7i1.9124>