

**ANALISIS PARAMETER *MARSHALL* CAMPURAN
PERKERASAN JALAN TIPE *WEARING COURSE* DENGAN
BAHAN PENGIKAT *CRUMB RUBBER***

(SKRIPSI)

Oleh

**SYINTIANA MASSITOH
2215011103**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRACT

ANALYSIS OF MARSHALL PARAMETERS OF WEARING COURSE PAVEMENT MIXTURE USING CRUMB RUBBER AS BINDER

By

SYINTIANA MASSITOH

This study aims to analyze the effect of using crumb rubber as the primary binder combined with waste cooking oil on the Marshall characteristics of wearing course pavement mixtures, including stability, flow, Void in Mix (VIM), and Marshall Quotient (MQ).

The research methodology was conducted experimentally in the laboratory using binder content variations of 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, and 11%. For each variation, three specimens were prepared, resulting in a total of 15 samples. The binder consisted of a combination of 2/3 crumb rubber and 1/3 waste cooking oil, and all specimens were tested using the Marshall method.

The test results show that the use of crumb rubber as a binder in wearing course pavement mixtures is able to increase stability, reaching 924 kg at 10% content. The flow value is within the ideal range of 3,5 mm at 10% content. The Marshall Quotient (MQ) reaches a maximum value of 267 kg/mm at 10%, indicating the most optimal balance between stability and flow. Meanwhile, the Void in Mix (VIM) values for all variations do not meet the required specifications, with the lowest value of 16,98% obtained at 10,5% content.

Based on these results, the use of crumb rubber combined with waste cooking oil affects the Marshall characteristics of wearing course pavement mixtures, including stability, flow, VIM, and MQ. The 10% content shows the most optimal condition, characterized by high stability and flow within the ideal range, reflecting a balance between strength and deformation. Therefore, the 10% content is determined as the optimum content in this study.

Keywords: crumb rubber, waste cooking oil, wearing course, Marshall parameters, optimum content.

ABSTRAK

ANALISIS PARAMETER *MARSHALL* CAMPURAN PERKERASAN JALAN TIPE *WEARING COURSE* DENGAN BAHAN PENGIKAT *CRUMB RUBBER*

Oleh

SYINTIANA MASSITOH

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat utama yang dikombinasikan dengan minyak jelantah terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran perkerasan jalan tipe *wearing course*, yang meliputi stabilitas, *flow*, *Void in Mix* (VIM), dan *Marshall Quotient* (MQ).

Metodologi penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan variasi kadar 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, dan 11%. Pada setiap variasi kadar dibuat tiga benda uji, sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 15. Bahan pengikat berupa kombinasi 2/3 *crumb rubber* dan 1/3 minyak jelantah, kemudian seluruh benda uji diuji menggunakan metode *Marshall*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan tipe *wearing course* mampu meningkatkan nilai stabilitas hingga mencapai 924 kg pada kadar 10%. Nilai *flow* berada pada rentang ideal sebesar 3,5 mm pada kadar 10%. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) mencapai maksimum sebesar 267 kg/mm pada kadar 10%, yang menunjukkan keseimbangan paling optimal antara stabilitas dan *flow*. Sementara itu, nilai *Void in Mix* (VIM) pada seluruh variasi kadar tidak memenuhi spesifikasi, dengan nilai terendah sebesar 16,98% yang diperoleh pada kadar 10,5%.

Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan *crumb rubber* yang dikombinasikan dengan minyak jelantah berpengaruh terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran perkerasan tipe *wearing course*, meliputi stabilitas, *flow*, VIM, dan MQ. Kadar 10% menunjukkan kondisi paling optimal, ditandai oleh stabilitas tinggi dan *flow* dalam rentang ideal yang mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan deformasi. Oleh karena itu, kadar 10% ditetapkan sebagai kadar optimum dalam penelitian ini.

Kata kunci: *crumb rubber*, minyak jelantah, *wearing course*, parameter *Marshall*, kadar optimum.

**ANALISIS PARAMETER *MARSHALL* CAMPURAN PERKERASAN
JALAN TIPE *WEARING COURSE* DENGAN BAHAN PENGIKAT
*CRUMB RUBBER***

Oleh
SYINTIANA MASSITOH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **ANALISIS PARAMETER MARSHALL
CAMPURAN PERKERASAN JALAN TIPE
WEARING COURSE DENGAN BAHAN
PENGIKAT CRUMB RUBBER**

Nama Mahasiswa : ***SYINTIANA MASSITOH***

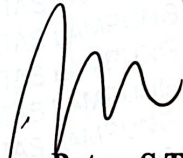
Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011103

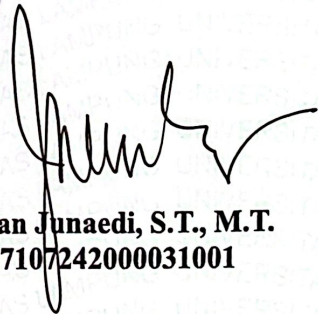
Program Studi : S-1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



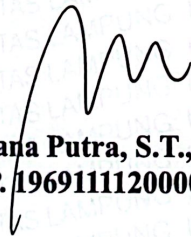
1. Komisi Pembimbing

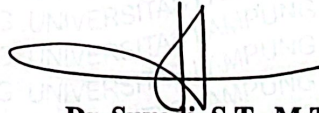

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 196911112000031002


Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.
NIP. 197107242000031001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 196911112000031002


Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP. 1974122520050111003

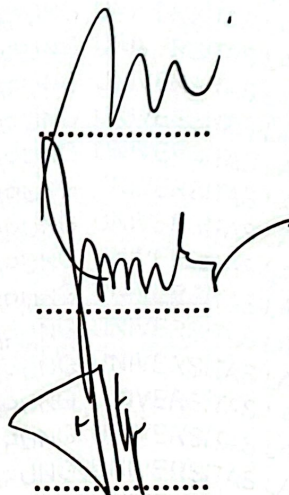
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

Sekretaris : Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Juni 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi saya yang berjudul "*Analisis Parameter Marshall Campuran Perkerasan Jalan Tipe Wearing Course Dengan Bahan Pengikat Crumb Rubber*" adalah bagian dari penelitian Bapak Sasana Putra, S.T., M.T. pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat utama yang dikombinasikan dengan minyak jelantah terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran perkerasan jalan tipe *wearing course*.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidaksesuaian dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 11 Juni 2026



Syintiana Massitoh
NPM. 2215011103

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi pada tanggal 02 Juli 2004, merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Harun dan Ibu Nurbaiti (Almh). Penulis memiliki ibu sambung bernama Rosmiyati dan tiga orang saudara, yaitu adik laki-laki bernama Muhammad Taufiq Abdullah dan Wanda Saputa serta adik perempuan bernama Calya Salsabilla Hasimah. Penulis memulai jenjang Pendidikan dasar di SD Negeri 01 Tanjung Jaya yang diselesaikan pada tahun 2016, kemudian dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 02 Sungkai Utara yang diselesaikan pada tahun 2019, dan dilanjutkan menempuh Pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 02 Kotabumi yang diselesaikan pada tahun 2022.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa program studi S-1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (UTBK). Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada periode 1 2024-2025 serta menjabat sebagai Sekretaris Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada periode 2 tahun 2024-2025.

Selama kuliah penulis pernah tiga kali menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Mekanika Tanah 1, Hidrolika, dan Dasar-dasar Perkerasan Jalan. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Taman Sari, Lampung Selatan selama Januari – Februari 2025. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Rekonstruksi Jalan Ruas Kalirejo-Pringsewu (Link.033) di

Kabupaten Pringsewu selama tiga bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Analisis Parameter *Marshall* Campuran Perkerasan Jalan Tipe *Wearing Course* dengan Bahan Pengikat *Crumb Rubber*” sebagai bentuk peminatan terhadap konsentrasi Transportasi.

Persembahan

Bismillāhirrahmānirrahīm

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karyaku ini kepada:

Orang Tuaku

Yang senantiasa mengusahakan yang terbaik, melantunkan do'a, dan restu yang selalu menyertaiku. Terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku, memberi dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Dosen Pembimbing dan Penguji

Yang sangat berjasa, selalu memberikan ilmu, motivasi dan membuka pikiran penulis dalam memahami pengetahuan dan penyelesaian skripsi ini.

Teman, Sahabat, dan Keluarga Teknik Sipil Angkatan 2022

Yang selalu memberikan semangat, bantuan, dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Civitas Akademik Jurusan Teknik Sipil

Tempat penulis berproses, mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

Motto

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Pada akhirnya, ini semua hanyalah permulaan.”

(Nadin Amizah)

“semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya, rayakan perasaannu sebagai manusia”

(Baskara - Hindia)

“Long story short, i survived”

- Taylor Swift -

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Parameter Marshall Campuran Perkerasan Jalan Tipe Wearing Course dengan Bahan Pengikat Crumb Rubber* dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta kritik dan saran dalam proses perkuliahan terutama selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Tas'an Junaedi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta kritik dan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.

7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Seluruh staf dari Laboratorium Inti Jalan Raya (Bang Kadek, Pak Suroto, dan Mas Andi) yang sudah memberikan fasilitas sarana prasarana dalam menunjang penelitian serta memberikan saran serta bimbingan selama penulis melakukan penelitian.
9. Kedua orang tuaku, panutan dan pintu surgaku, Bapak Harun dan Ibu Nurbaiti (Almh). Terima kasih atas segala doa dan dukungan yang tidak pernah putus. Memberikan cinta, kasih sayang, dan semangat yang mengiringi setiap langkah penulis untuk menyelesaikan pendidikan ini. Mereka memang tidak sempat merasakan pendidikan di bangku perkuliahan, namun mereka senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan sampai meraih gelar sarjana.
10. Adik-adikku tersayang Wanda Saputra, Muhammad Taufik Abdullah, dan Calya Salsabila Hasimah. Terima kasih telah menjadi sumber semangat dalam setiap langkah perjuangan penulis. Meski sering menjadi “musuh terbesar” dalam hal kecil sehari-hari, namun dibalik itu semua, kalianlah alasan terbesar penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan skripsi ini. Kehadiran kalian membuat perjalanan ini lebih bermakna.
11. Sahabat yang sudah penulis anggap sebagai saudara, Nopi, Niken, dan Citra. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis sejak SMA. Menjadi tempat penulis untuk berkeluh kesah, bertukar pikiran, dan bercerita.
12. Teman-teman terdekat penulis saat kuliah, Tarisa, Dea, Monik, Bela, Dita, Anisa, Afaf, dan Imen. Terima kasih karena telah menjadi bagian penting dalam perjalanan perkuliahan penulis, menjadi tempat berbagi, berdiskusi, penguat di saat lelah, serta salah satu alasan penulis mampu bertahan dan menyelesaikan masa perkuliahan ini.

13. Rekan-rekan Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2022, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis secara langsung ataupun tidak langsung.
14. Seseorang yang tidak kalah penting kehadirannya, yang tidak bisa penulis sebutkan namanya, dan telah kebersamai penulis sejak September 2025 hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan. Terima kasih telah berkontribusi baik waktu dan materi. Terima kasih telah mendukung, menemani dalam setiap situasi, serta menghibur penulis dalam keadaan sedih, mendengar keluh kesah dan menyakinkan penulis untuk pantang menyerah dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
15. *Last, but not least.* Penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk diri sendiri, Syintiana Massitoh. Seseorang yang mungkin sering kali terlupakan, namun diam-diam berjuang tanpa henti. Terima kasih karena telah bertanggung jawab atas apa yang sudah dimulai. Terima kasih karena tidak menyerah serta berani melawan rasa takut, tetap melangkah meski sering ragu dan lelah. Skripsi ini mungkin tidak sempurna, tetapi proses ini menjadi pengalaman yang penuh makna. Berbahagialah selalu dimanapun berada, Syintia. Adapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi isi maupun sistematika. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran diperlukan untuk kesempurnaan skripsi ini dikemudian hari.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Bandar Lampung, Juni 2026

Penulis,

SYINTIANA MASSITOH

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perkerasan Jalan	6
2.2 Bahan Campuran Perkerasan Jalan Tipe <i>Wearing Course</i>	7
2.3 Gradasi Agregat.....	10
2.4 Karakteristik <i>Marshall</i>	12
2.5 Penelitian Terdahulu.....	15
III. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2 Material Penelitian.....	19
3.3 Peralatan Penelitian	20
3.4 Tahap-tahap Penelitian	21
3.4.1 Studi Literatur	21
3.4.2 Persiapan Material Penelitian.....	22

3.4.3	Pengujian material.....	22
3.4.4	Perancangan Gradasi Agregat.....	24
3.4.5	Pembuatan Benda Uji.....	24
3.4.6	Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat <i>Marshall</i>	26
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Hasil Pengujian Agregat.....	27
4.2	Hasil Pengujian Bahan Pengikat.....	29
4.3	Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	30
4.4	Perbandingan Hasil Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya.....	37
V.	PENUTUP	40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran.....	41
	DAFTAR PUSTAKA	42
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1 Diagram alir penelitian.....	18
4.1 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai stabilitas.....	32
4.2 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai <i>flow</i>	33
4.3 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai MQ	34
4.4 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai VIM	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Ketentuan agregat kasar	8
2.2 Ketentuan agregat halus	9
2.3 Ketentuan <i>filler</i>	9
2.4 Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran perkerasan.....	12
3.1 Standar spesifikasi pemeriksaan agregat.....	23
3.2 Rencana gradasi agregat.....	24
4.1 Hasil pengujian agregat.....	27
4.2 Hasil pengujian bahan pengikat	29
4.3 Rekapitulasi hasil pengujian <i>marshall</i>	31

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kebutuhan transportasi dan mobilitas masyarakat. Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi darat yang memiliki peranan strategis dalam menunjang pertumbuhan ekonomi, sosial, serta distribusi barang dan jasa. Oleh karena itu, diperlukan konstruksi jalan yang memiliki kualitas tinggi dan daya tahan yang baik agar mampu menahan beban lalu lintas yang semakin besar serta kondisi lingkungan yang beragam.

Perkerasan jalan tipe *wearing course* merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas secara langsung dan melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air serta perubahan cuaca. Lapisan ini juga berperan dalam memberikan permukaan yang halus, aman, dan nyaman bagi pengguna jalan. Lapisan *wearing course* memiliki fungsi utama sebagai lapisan aus yang menahan gaya gesek akibat roda kendaraan dan mencegah kerusakan dini pada struktur perkerasan (Sukirman, 2010). Selain itu, kualitas *wearing course* sangat menentukan umur layanan jalan karena kerusakan pada lapisan ini dapat menurunkan kinerja keseluruhan struktur perkerasan (Hardiyatmo, 2019).

Pada konstruksi perkerasan jalan, bahan pengikat memegang peranan penting karena berfungsi untuk merekatkan agregat sehingga membentuk campuran yang padat, kuat, dan stabil. Aspal minyak bumi merupakan bahan pengikat utama yang umum digunakan pada campuran perkerasan

lentur karena memiliki sifat kedap air, daya rekat yang baik, serta mampu menahan deformasi plastis akibat beban lalu lintas. Namun, ketersediaan aspal yang bergantung pada sumber daya alam tak terbarukan serta fluktuasi harga di pasaran menjadi tantangan tersendiri dalam upaya mewujudkan pembangunan jalan yang berkelanjutan (Afrah *et al.*, 2025).

Kondisi tersebut mendorong dilakukannya berbagai penelitian guna mengembangkan bahan pengikat alternatif yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta memiliki kinerja setara atau lebih baik dibandingkan aspal konvensional.

Crumb rubber atau Karet remah yang dikenal sebagai parutan ban bekas, merupakan produk yang ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah karet yang sudah tidak terpakai. Penggunaan kembali limbah dari produk karet tertentu dapat bertujuan untuk memberikan sifat tertentu yang diinginkan pada suatu campuran beraspal, terutama untuk kestabilan pada perkerasan lentur (Syahputra *et al.*, 2020).

Crumb rubber yang digunakan pada campuran perkerasan, selain untuk memanfaatkan limbah, juga merupakan salah satu langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan nilai stabilitas dalam campuran aspal beton dengan mempertimbangkan sifat-sifat campuran *marshall* dan melakukan penyesuaian yang diperlukan. Penambahan *crumb rubber* pada campuran perkerasan akan meningkatkan sifat elastisitas dalam campuran aspal. Hal ini menunjukkan bahwa aspal dengan penambahan *crumb rubber* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan kelelahan plastis dibandingkan dengan campuran aspal yang tidak menggunakan bahan tambahan *crumb rubber* (Suryono *et al.*, 2019).

Minyak jelantah berfungsi sebagai bahan tambah pada campuran *crumb rubber* untuk bahan pengikat perkerasan jalan tipe *wearing course*. Minyak jelantah merupakan minyak bekas pemakaian untuk menggoreng makanan.

Minyak jelantah memiliki reaksi polimerisasi dan reaksi *maillard* yang menyebabkan minyak mengental dan berwarna gelap yang disebut sebagai resin (Fauziah & Emsyah, 2019). Resin merupakan salah satu senyawa yang terdapat pada aspal dimana resin merupakan cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi pada aspal (Sukirman, 2003).

Dalam penelitian-penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Syahputra (2020) dan Suryono (2019) *crumb rubber* digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) atau pengganti agregat pada fraksi tertentu untuk meningkatkan sifat mekanik aspal. Berbeda dari penelitian terdahulu, penelitian ini mengembangkan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat utama dengan penambahan minyak jelantah sebagai pengganti aspal konvensional pada lapisan perkerasan jalan tipe *wearing course*. Penentuan variasi kadar dilakukan melalui serangkaian percobaan hingga diperoleh variasi kadar sebesar 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, dan 11%. Pada setiap variasi tersebut digunakan bahan pengikat dengan komposisi *crumb rubber* sebesar 2/3 bagian dan minyak sebesar 1/3 bagian. Dalam penelitian ini menggunakan metode *Marshall* untuk menilai kinerja campuran terhadap standar mutu campuran perkerasan jalan yang berlaku.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat terhadap karakteristik *marshall* pada campuran perkerasan jalan tipe *wearing course*.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat terhadap karakteristik *marshall* pada campuran perkerasan jalan tipe *wearing course*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup penelitian ini terbatas pada:

1. Penelitian menggunakan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan jalan tipe *wearing course* dengan bahan pengikat *Crumb Rubber 2/3* Minyak 1/3 variasi kadar 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, dan 11%.
2. Pengujian menggunakan metode *marshall*.
3. Pemeriksaan agregat yang dilakukan adalah analisa saringan, *Aggregate Impact Value* (AIV), *Agregat Crushing Value* (ACV), berat jenis, *loss angeles test*.
4. Pemeriksaan bahan pengikat yang dilakukan adalah penetrasi, titik lembek, dan berat jenis.
5. Penelitian dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil, khususnya yang berkaitan dengan material perkerasan jalan raya.
2. Menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada pengembangan material perkerasan jalan dengan memanfaatkan limbah ban (*crumb rubber*).
3. Dengan adanya penelitian ini, hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi masukan atau solusi dalam pemanfaatan kembali *crumb rubber* dari ban bekas yang sebelumnya belum dimanfaatkan secara optimal.
4. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan terkait kebutuhan inovasi dalam peningkatan kualitas perkerasan jalan melalui penggunaan bahan-bahan ramah lingkungan.

1.6. Sistematika Penelitian

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I: PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan-batasan di dalam penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menjelaskan mengenai landasan teori maupun studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, bagan alir penelitian, serta tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan hasil uji penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil karakteristik aspal.

BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran berdasarkan manfaat yang ditemukan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi informasi mengenai segala referensi yang digunakan dalam membantu penyusunan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan elemen penting dalam konstruksi jalan raya yang berperan besar dalam menjamin kelancaran transportasi darat. Desain perkerasan ini dibuat dengan mengikuti standar dan kriteria perencanaan yang berlaku di Indonesia agar memberikan kenyamanan dan keamanan bagi para pengguna jalan. Transportasi darat menjadi moda yang paling sering digunakan masyarakat dalam mobilitas sehari-hari dibandingkan dengan transportasi air atau udara. Oleh karena itu, jalan raya sebagai bagian dari prasarana darat harus dirancang dengan sistem perkerasan yang mampu menahan dan mendukung volume kendaraan yang melalui jalan tersebut. Perkerasan jalan terus mengalami pengembangan seiring dengan kemajuan teknologi dan inovasi yang ditemukan manusia. Jenis konstruksi perkerasan jalan dapat diklasifikasikan menurut jenis bahan pengikat yang digunakan dalam pembuatannya (Hardiyatmo, 2019).

1. Perkerasan lentur (*Flexible pavement*)

Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang biasanya menggunakan campuran aspal sebagai bahan pengikat utama. Struktur perkerasan ini terdiri dari lima lapisan, yaitu tanah dasar (*sub-grade*), lapis pondasi bawah (*sub-base*), lapis pondasi (*base-course*), lapis pengikat (*binder-course*), dan lapis permukaan (*surface-course*). Setiap lapisan di dalam perkerasan lentur memiliki fungsi untuk menerima dan mendistribusikan beban lalu lintas secara bertahap hingga ke tanah dasar.

2. Perkerasan kaku (*Rigid pavement*)

Perkerasan kaku adalah jenis perkerasan yang menggunakan agregat sebagai bahan utama dan semen sebagai bahan pengikatnya, yang membentuk lapis pondasi dan lapis pondasi bawah yang terletak di atas tanah dasar.

3. Perkerasan komposit (*Composite pavement*)

Perkerasan komposit adalah gabungan antara perkerasan kaku dan lentur, di mana salah satu jenis perkerasan ditempatkan di atas yang lain, misalnya perkerasan lentur di atas kaku atau sebaliknya. Struktur ini dirancang agar keduanya bekerja sama dalam menahan beban lalu lintas.

2.2. Bahan Campuran Perkerasan Jalan Tipe *Wearing Course*

Bahan yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan meliputi agregat kasar, agregat halus, bahan pengikat, dan *filler*. Dalam proses perancangan perkerasan jalan, pemilihan bahan penyusun campuran menjadi faktor penting yang harus diperhatikan saat menganalisis parameter perancangan. Hal ini disebabkan karena kekuatan konstruksi jalan sangat bergantung pada pemilihan material yang tepat (Saodang, 2005). Berikut penjelasan mengenai bahan yang digunakan dalam campuran perkerasan jalan tipe *wearing course*:

1. Agregat

Agregat adalah kumpulan butiran batu dengan ukuran tertentu yang diperoleh langsung dari alam, hasil pemecahan batu besar, atau dibuat khusus untuk keperluan tertentu. Agregat juga sering diartikan sebagai bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai pengisi dalam campuran. Sebagai komponen utama struktur perkerasan jalan, agregat menyusun sekitar 9-95% dari total berat atau 75-85% dari total volume campuran (Pusjatan, 2019). Agregat dibedakan menjadi 3 jenis, berikut macam-macam agregat berdasarkan dimensi butiran:

a. Agregat Kasar

Bina Marga menyaratkan agregat kasar yang tertahan pada saringan nomor 8 (2,36 mm) dalam kondisi bersih, keras, tahan lama, serta bebas dari lempung atau bahan-bahan yang tidak diinginkan, dan harus memenuhi persyaratan berikut:

Tabel 2.1 Ketentuan agregat kasar.

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin los angeles (1)	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah partikel batuan berukuran kecil yang lolos saringan saringan no.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan no.200, biasanya berupa pasir alami atau buatan. Fungsinya sebagai bahan pengisi di antara agregat kasar untuk memperkuat ikatan campuran. Agregat ini harus bersih, keras, dan bebas dari bahan

organik atau lempung agar campuran menjadi kuat dan tahan lama. Karakteristik utama agregat halus yang penting adalah ukuran butiran yang seragam, kekerasan, dan kebersihan untuk mendukung stabilitas dan daya tahan perkerasan jalan.

Tabel 2.2 Ketentuan agregat halus.

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

c. Agregat Pengisi (*Filler*)

Agregat pengisi atau *filler* adalah partikel sangat halus dalam campuran perkerasan jalan yang lolos saringan nomor 200. Fungsinya adalah mengisi ruang kosong antara agregat halus dan kasar, sehingga meningkatkan kepadatan dan kekuatan campuran. *Filler* membantu memperbaiki sifat fisik dan mekanik campuran, seperti meningkatkan stabilitas, mengurangi permeabilitas, dan memperkuat ikatan antara agregat dengan bahan pengikat. Kualitas *filler* sangat penting untuk memastikan daya tahan dan performa perkerasan jalan.

Tabel 2.3 Ketentuan *filler*.

Ukuran Saringan	%Berat yang lolos
No.200 (0,074 mm)	Min. 75%

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2. Limbah Ban (*Crumb Rubber*)

Crumb rubber merupakan serbuk karet hasil daur ulang ban bekas yang memiliki sifat elastis. Kandungan utama dalam *crumb rubber* terdiri atas polimer karet alam (*natural rubber*) dan karet sintetis seperti *styrene-butadiene rubber* (SBR), yang memberikan sifat elastisitas tinggi serta ketahanan terhadap suhu ekstrem dan deformasi (Balaguru dkk, 2011). Penggunaan *crumb rubber* juga berkontribusi pada pengurangan limbah ban bekas yang sulit terurai di alam. Dengan demikian, *crumb rubber* dapat menjadi solusi inovatif untuk menggantikan aspal konvensional dalam pembuatan campuran perkerasan jalan.

3. Minyak Jelantah

Minyak jelantah merupakan minyak goreng bekas yang mengalami perubahan sifat fisik dan kimia akibat pemanasan berulang, sehingga memiliki viskositas tinggi dan warna lebih gelap. Minyak jelantah akan digunakan untuk bahan campuran *crumb rubber* sebagai bahan pengikat sebanyak 2/3 dari total berat bahan pengikat.

2.3. Gradasi Agregat

Menurut (Sukirman, 2010), gradasi ukuran agregat sangat penting dalam menentukan stabilitas perkerasan karena mempengaruhi besar kecilnya rongga antar butir. Agregat dengan ukuran seragam cenderung menghasilkan pori yang besar, sedangkan campuran agregat dengan ukuran bervariasi memiliki volume pori yang lebih kecil karena butir-butir kecil mengisi rongga antara butir besar, sehingga porinya menjadi lebih sedikit. Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah susunan butiran agregat yang mencakup ukuran besar hingga kecil secara lengkap dan proporsional. Butiran kecil berfungsi mengisi rongga di antara butiran besar sehingga campuran menjadi padat dan memiliki *interlocking* yang kuat. Struktur ini menghasilkan pori-pori atau rongga udara yang sedikit, membuat

campuran lebih stabil dan tahan terhadap beban lalu lintas. Jenis gradasi ini sangat baik digunakan untuk lapisan perkerasan utama, seperti lapisan pondasi atas (*base course*) dan lapisan permukaan (*surface course*), karena mampu memberikan kekuatan, kepadatan, serta keawetan tinggi.

2. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Gradasi senjang memiliki susunan butiran agregat yang tidak merata karena terdapat rentang ukuran menengah yang hilang atau jumlahnya sangat sedikit. Hal ini menyebabkan butiran besar dan halus mendominasi campuran, sementara ukuran menengah hampir tidak ada. Struktur seperti ini menghasilkan campuran dengan rongga yang lebih besar dibanding gradasi rapat, namun dapat memberikan fleksibilitas dan tekstur permukaan tertentu. Gradasi senjang harus dirancang dengan hati-hati karena jika distribusinya tidak tepat, dapat menyebabkan segregasi dan berkurangnya kestabilan campuran.

3. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam adalah campuran agregat yang sebagian besar terdiri atas butiran dengan ukuran yang hampir sama. Karena ukuran partikel yang seragam, butiran tidak dapat saling mengisi rongga antar butiran, sehingga struktur campuran menjadi longgar dan memiliki banyak ruang kosong (*voids*). Hal ini menyebabkan daya ikat antar butir rendah dan campuran mudah mengalami pergeseran atau segregasi. Walaupun demikian, gradasi seragam masih digunakan untuk keperluan tertentu, seperti lapisan drainase atau material perkerasan yang membutuhkan rongga udara tinggi agar air dapat mengalir dengan baik.

Spesifikasi campuran perkerasan jalan sesuai dengan Bina Marga 2018, yang disesuaikan dengan ukuran ayakan serta jenis lapisan tipe *wearing course* ketentuannya ditetapkan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2.4 Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran perkerasan.

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Aspal (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No.100	0,150						6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2.4. Karakteristik *Marshall*

Karakteristik Marshall merupakan parameter utama yang digunakan untuk menilai kualitas dan kinerja campuran perkerasan jalan, terutama pada jenis campuran *wearing course*. Pengujian *marshall* bertujuan untuk menentukan sifat stabilitas dan kelelahan plastis (*flow*) dari campuran perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Data yang diperoleh dari metode *marshall* digunakan untuk mengevaluasi kelayakan suatu campuran untuk digunakan pada lapisan perkerasan jalan (Sukirman, 2010). Berikut penjelasan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2006):

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen atau alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki daya tahan yang baik terhadap beban kendaraan berat. Stabilitas dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar bahan pengikat, dan kepadatan campuran. Nilai stabilitas yang terlalu rendah menandakan campuran mudah mengalami deformasi plastis, sedangkan terlalu tinggi dapat menyebabkan campuran menjadi kaku dan

mudah retak. Nilai stabilitas diperoleh melalui pembacaan langsung pada alat uji *marshall* saat pengujian dilakukan. Data hasil pembacaan tersebut selanjutnya disesuaikan dengan faktor koreksi, baik terhadap alat *marshall* yang digunakan maupun volume benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus di bawah ini :

$$S = p \times q \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

S = Angka stabilitas (kg)

p = Pembacaan arloji \times kalibrasi proving test (kg)

q = Angka koreksi tebal benda ujiresa

2. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan atau *flow* merupakan ukuran besarnya deformasi plastis (dalam mm) yang terjadi pada saat benda uji mencapai beban maksimum selama pengujian *marshall*. Nilai *flow* menunjukkan kelenturan campuran, yaitu seberapa jauh campuran dapat menyesuaikan diri terhadap deformasi tanpa retak. Nilai *flow* yang ideal mencerminkan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekuatan, terlalu kecil menyebabkan campuran getas, sedangkan terlalu besar membuat campuran mudah bergelombang.

3. *Marshall quotient*

Marshall quotient merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*) dinyatakan dalam satuan kg/mm pada pengujian *marshall*. Parameter ini digunakan untuk menunjukkan tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran perkerasan. Semakin tinggi nilai *marshall quotient*, campuran cenderung lebih kaku dan kurang fleksibel, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan bahwa campuran lebih lentur dan mudah menyesuaikan terhadap deformasi. Besarnya nilai *marshall quotient* sangat dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow* yang dihasilkan dari pengujian.

4. VIM (*void in mix*)

Void in the mix (VIM) merupakan persentase volume rongga udara yang terdapat di dalam keseluruhan campuran perkerasan. Nilai VIM memiliki pengaruh besar terhadap daya tahan (keawetan) lapisan perkerasan jalan. Semakin tinggi nilai VIM, maka semakin banyak rongga yang terbentuk

dalam campuran sehingga campuran menjadi lebih berpori (*porous*). Kondisi ini menyebabkan campuran kurang rapat dan memungkinkan air serta udara mudah masuk ke dalam rongga, yang dapat mempercepat proses oksidasi bahan pengikat. Air yang masuk dapat melarutkan komponen bahan pengikat yang teroksidasi sehingga kadar bahan pengikat dalam campuran terus berkurang. VIM dapat dihitung menggunakan persamaan (RSNI M-01-2003):

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

VIM = Rongga dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran yang belum dipadatkan

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

G_{mm} = berat jenis maksimum

P_{mm} = persen berat terhadap total campuran

P_s = persen agregat terhadap total campuran

G_{se} = berat jenis efektif agregat

G_b = berat jenis bahan pengikat

P_b = kadar bahan pengikat total, persen terhadap berat total campuran

$$G_{mb} = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{sub}} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

G_{mb} = berat jenis curah (bulk) benda uji padat

W_d = berat kering benda uji padat (gr)

W_{ssd} = benda uji padat jenuh kering permukaan (gr)

W_{sub} = berat benda uji padat dalam air (gr)

2.5. Penelitian Terdahulu

1. Pengaruh Penambahan *Crumb Rubber* Pada Campuran AC-BC Menggunakan Substitusi *Filler* Abu Sekam Padi terhadap Karakteristik *Marshall* (Zikrullah & Widari, 2025).

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh dan besarnya nilai karakteristik *Marshall* terhadap penambahan *Crumb Rubber* 0%, 3%, 4% dan 5% pada aspal dan substitusi *Filler* abu sekam padi 6% terhadap parameter *Marshall* pada campuran aspal AC-BC. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memberikan pengaruh pada campuran AC-BC terhadap semua nilai parameter *Marshall*, variasi optimum karakteristik *Marshall* didapat pada variasi penambahan *Crumb Rubber* (aspal) 3% dan substitusi *Filler* abu sekam padi 6%, dimana pada variasi tersebut semua karakteristik *Marshall* memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 untuk menjadi campuran AC-BC.

2. Pengaruh Penambahan *Crumb Rubber* (CR) Terhadap Parameter *Marshall* Pada Campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Lalu Lintas Sedang (Budiati, 2023).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai volumetrik dan *marshall* pada campuran laston untuk lalu lintas sedang dengan penambahan prosentase varian *crumb rubber* 2%, 3%, dan 4%. Berdasarkan hasil penelitian, pada kadar aspal 5,3%, 5,8%, dan 6,3% dengan penambahan masing-masing CR 2%, 3% dan 4% didapatkan hasil nilai tertinggi dari hasil *Test Volumetric* yaitu nilai *Void Material Agregat* (VMA) sebesar 19,42% dari nilai minimum 14% yang terdapat pada varian nomor 8 dengan kadar aspal 5,8% yang telah ditambah CR 3%, nilai *Void In Mix* (VIM) sebesar 3,13% dari nilai maksimal 4,9% yang terdapat pada varian nomor 11 dengan kadar aspal 5,8% yang telah ditambah CR 4% dan nilai *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 497,3 kg/mm dari nilai minimum 200 kg/mm yang terdapat pada varian nomor 11 dengan kadar aspal 5,8% yang telah ditambah CR 4%. Hasil tersebut sesuai dengan SNI Bina Marga 2010 Rev 3 untuk lalu lintas sedang.

Pada kadar aspal 5,3%, 5,8%, dan 6,3% dengan penambahan CR 2%, 3% dan 4% didapatkan hasil nilai tertinggi dari Test *Marshall* yaitu Nilai Stabilitas 1180,80 kg dari nilai minimum 800 kg yang terdapat pada varian nomor 8 dengan kadar aspal 5,8% yang telah ditambah CR 3% dan Nilai *Flow* sebesar 2,69 mm dari nilai minimum 2 mm yang terdapat pada varian nomor 8 dengan kadar aspal 5,8% yang telah ditambah CR 3%. Hasil nilai *Flow* dan *Marshall Quotient* ini sesuai dengan SNI Bina Marga 2010 Rev 3 untuk lalu lintas sedang.

3. Pengaruh Penambahan Serbuk *Crumb Rubber* Menggunakan *Filler* Abu Sekam Padi Pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* Di Tinjau Dari Karakteristik *Marshall* (Senolinggi, 2018).

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui apakah ada perbedaan nilai karakteristik *Marshall* pada lapisan perkerasan AC-WC menggunakan *filler* abu sekam padi dengan penambahan *Crumb Rubber* 2%, 4%, 6%, 8%, 10%. Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa dengan adanya penambahan serbuk *Crumb Rubber* dapat menaikkan stabilitas optimum. Penambahan serbuk *Crumb Rubber* 4% dari berat aspal campuran beton aspal dengan *filler* abu sekam padi di peroleh nilai stabilitas 1070,4 kg dan nilai stabilitas tanpa penggunaan serbuk *Crumb Rubber* sebesar 883,5kg. Dan nilai karakteristik *Marshall* lainnya memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 2010 Perkerasan Aspal. Pada penelitian ini didapat nilai indeks perendaman rata-rata sebesar 95,418%. Jadi dapat diambil kesimpulan campuran beton aspal di tambah dengan serbuk *Crumb Rubber* akan memiliki durabilitas/ketahanan yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai indeks perendaman yang lebih besar dari 90%.

4. Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Pada Campuran Aspal Beton AC-WC Ditinjau Dari Parameter *Marshall* (Istiqlal, 2022).

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah karet ban terhadap kinerja campuran beraspal. Penelitian ini mencoba menggunakan serutan karet ban dalam sebagai pengganti persentase aspal untuk campuran AC-WC dalam kadar 0%, 2%, 4%, 6, dan 8%. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penelitian ini

memberikan pengaruh pada campuran AC-WC terhadap berbagai karakteristik *marshall* yakni untuk nilai *density*, VFA dan *flow* yang cenderung mengalami penurunan sementara VIM, VMA, stabilitas, dan MQ yang cenderung mengalami peningkatan. Namun pada nilai VIM pada campuran kadar serutan karet ban dalam 6% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Sementara untuk nilai *flow* pada campuran kadar serutan karet ban dalam 8% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yang telah ditentukan.

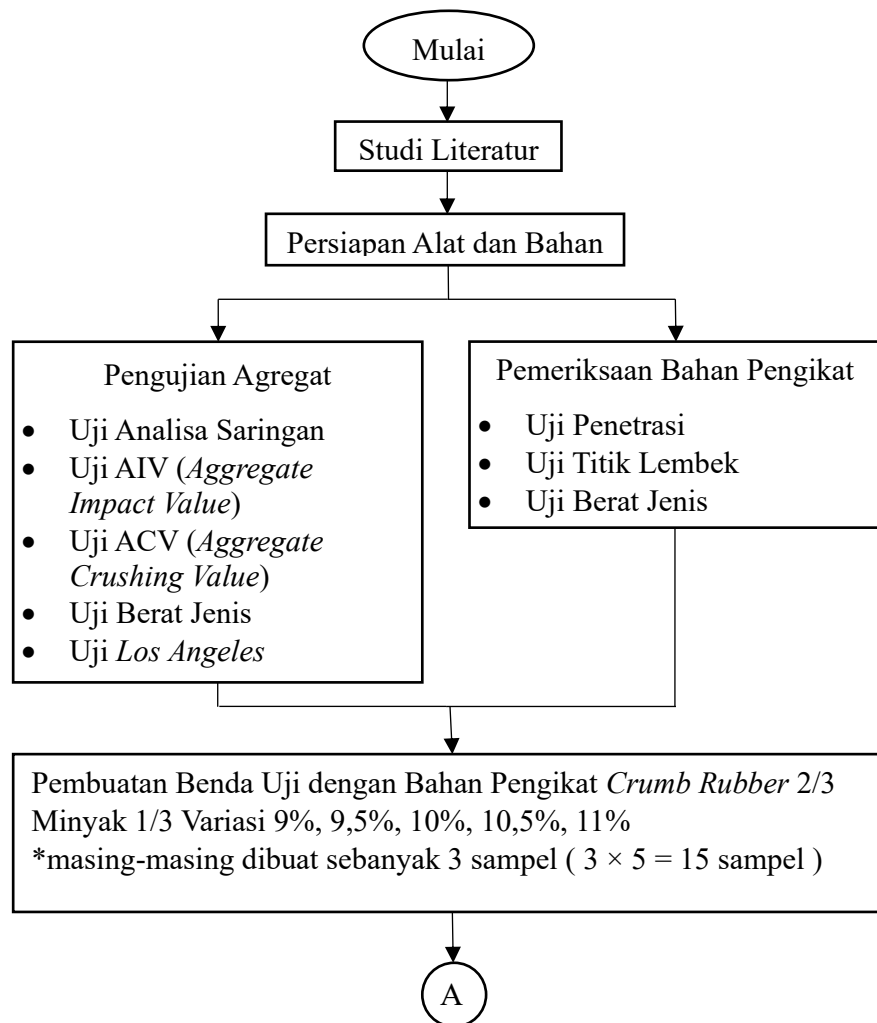
5. Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Kendaraan Sebagai Pemodifikasi Aspal Terhadap Kinerja *Marshall* Pada Campuran AC-WC (Adilahaqi, 2024).

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan aspal hasil modifikasi terhadap sifat-sifat stabilitas, volumetrik dan *cantabro loss*. Pada pengujian *Marshall* penambahan kadar karet dengan persentase 2%,4% dan 6% pada pengujian *Marshall* menunjukan nilai tertinggi pada stabilitas berada pada pesentase 2%. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan limbah ban karet sebagai *additive* pada aspal dengan kadar *rubber* yang terlalu banyak menyebabkan campuran menjadi lebih padat, rapat dan kaku. Perbandingan pada kadar aspal terhadap *rubber* pada nilai stabilitas, *flow*, VITM, VMA, VFVA dan MQ memiliki hasil yang signifikan. Penggunaan serbuk ban karet sebagai *additive* pada aspal cukup berpengaruh menurunkan nilai *cantabro loss*. Pada campuran AC-WC dengan serbuk ban karet 2% memiliki persentase kehilangan berat terkecil. Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa AC-WC dengan kadar *rubber* 2% memiliki keausan lebih kecil atau sedikit dibanding dengan 4% dan 6%.

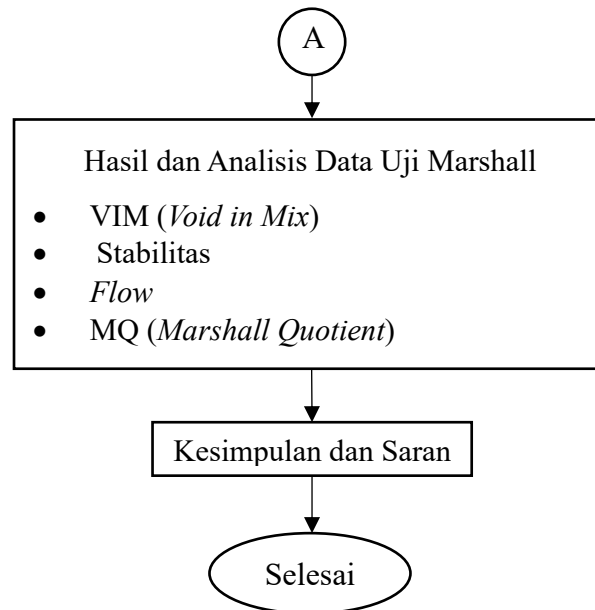
III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Waktu penelitian berlangsung pada bulan Februari-Maret 2026.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (Lanjutan)

3.2. Material Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah yang tertahan pada saringan berukuran No. 8 (2,36 mm), yang terdapat di Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung diperoleh dari PT Tri Wahana Universal (TWU) berlokasi di Desa Sumengko, Kecamatan Kalitidu, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan agregat yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm).

3. Filler

Filler yang digunakan yaitu material yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

4. *Crumb Rubber*

Penelitian ini menggunakan limbah ban (*crumb rubber*) sebagai bahan pengikat yang diperoleh dari Toko Cvkramed berlokasi di Malang.

5. Minyak Jelantah

Penelitian ini menggunakan minyak jelantah untuk bahan campuran *crumb rubber* sebagai bahan pengikat.

3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat-alat Uji Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian agregat sebagai berikut:

- a. Satu set saringan (*sieve*) untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat menurut ukurannya
- b. Alat uji AIV dan ACV untuk mengetahui kekuatan agregat
- c. Alat uji berat jenis untuk mengetahui berat jenis agregat
- d. Mesin *Los Angeles* dalam melakukan uji abrasi untuk mengetahui keausan agregat
- e. Alat-alat penunjang yang meliputi oven, timbangan, *container*.

2. Alat-alat Uji Bahan Pengikat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian bahan pengikat sebagai berikut:

- a. Alat uji penetrasi untuk mengetahui tingkat kekerasan bahan pengikat.
- b. Alat uji titik lembek untuk mengetahui titik lembek bahan pengikat pada suhu tertentu
- c. Alat uji berat jenis untuk mengetahui berat jenis aspal
- d. Alat-alat penunjang yang meliputi cawan, termometer, dan *stopwatch*.

3. Alat-alat Uji *Marshall*

Alat uji yang digunakan dalam metode *Marshall* antara lain:

- a. Mesin tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg, dan dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
- b. Cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) yang berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,62 cm) dengan pelat alas dan leher sambung.

- c. Alat *Marshall Automatic Compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan untuk tiap sisi (atas dan bawah).
- d. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- e. Alat untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan berupa sebuah *ejector (extruder)*.
- f. Perlengkapan pendukung termasuk penggorengan, termometer, kompor, sendok pengaduk, sarung tangan tahan panas, timbangan, keranjang kawat, jangka sorong, dan *tipe-x* untuk penandaan sampel uji. Semua peralatan yang digunakan adalah standar untuk pembuatan sampel uji *Marshall* yang akan dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.4. Tahap-tahap Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 15 buah benda uji, dimana untuk setiap masing-masing variasi 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, 11% sebanyak 3 buah benda uji. Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mengumpulkan dan menelaah berbagai sumber informasi tertulis yang relevan dengan topik penelitian. Referensi ini dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, dan laporan penelitian, yang digunakan sebagai landasan teori maupun sumber informasi untuk mendukung penelitian.

3.4.2. Persiapan Material Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat kasar, agregat halus, filler, crumb rubber serta minyak jelantah. Bahan-bahan tersebut diperoleh melalui proses berikut:

1. Agregat Kasar, Agregat Halus, dan *Filler*
 - a) Susun saringan mulai dari yang berukuran lubang terbesar di bagian atas hingga lubang terkecil di bagian bawah secara berurutan.
 - b) Masukkan agregat ke dalam saringan kemudian lakukan proses pengayakan agregat.
 - c) Setelah proses pengayakan selesai, pisahkan agregat berdasarkan ukuran saringan dengan mengambil agregat yang tertahan pada tiap saringan.
 - d) Lakukan kembali langkah a, b, dan c sampai banyaknya agregat sesuai kebutuhan.
2. *Crumb Rubber*

Crumb rubber yang berasal dari limbah ban diperoleh dari Toko Cvkramed di Malang, lalu bahan tersebut ditempatkan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk keperluan penelitian.
3. Minyak Jelantah

Minyak jelantah didapat dari warung-warung penjual gorengan untuk bahan campuran *crumb rubber*.

3.4.3. Pengujian Material

Sebelum material ini dipakai dalam penelitian, perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu guna menilai karakteristik dan kualitasnya, serta memastikan kesesuaiannya dengan standar spesifikasi yang berlaku.

1. Pengujian Agregat

Dalam penelitian ini, pengujian agregat yang dilakukan yaitu pengujian analisa saringan, pengujian AIV dan ACV, pengujian berat jenis dan penyerapan, serta pengujian *Los Angeles*. Metode pengujian ini didasarkan pada Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 dari Peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Tabel 3.1 Standar spesifikasi pemeriksaan agregat.

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
2	<i>Aggregate Impact Value Test</i> (AIV)	BS 812: Part 3: 1975
3	<i>Aggregate Crushing Value Test</i> (ACV)	BS 812: Part 3: 1975
4	Berat Jenis (berat jenis <i>bulk</i> , berat jenis SSD, dan berat jenis semu) dan Penyerapan Agregat Kasar	SNI 1969:2016
5	Berat Jenis (berat jenis <i>bulk</i> , berat jenis SSD, dan berat jenis semu) dan Penyerapan Agregat Halus	SNI 1970:2016
6	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 2417:2008

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2. Pengujian Bahan Pengikat

Dalam penelitian ini, pengujian bahan pengikat *crumb rubber* yang dilakukan yaitu pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, dan pengujian berat jenis. Pengujian penetrasi mengukur kekerasan bahan pengikat melalui kedalaman jarum standar yang menembus permukaannya, pengujian titik lembek menentukan suhu saat bahan pengikat mulai lunak menggunakan metode *ring and ball*, dan pengujian berat jenis yaitu perbandingan antara berat bahan pengikat terhadap berat air suling dengan isi yang sama.

3.4.4. Perancangan Gradasi Agregat

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), rencana gradasi agregat dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 3.2 Rencana gradasi agregat.

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
ASTM	(mm)			
3/4"	19	100	100	0
1/2"	12,5	90 – 100	95	5
3/8"	9,5	77 – 90	83,5	11,5
No. 4	4,75	53 – 69	61	22,5
No. 8	2,36	33 – 53	43	18
No. 16	1,18	21 – 40	30,5	12,5
No. 30	0,6	14 – 30	22	8,5
No. 50	0,3	9 – 22	15,5	6,5
No. 100	0,15	6 – 15	10,5	5
No. 200	0,075	4 – 9	6,5	4
Pan		–	–	6,5
Total				100

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

3.4.5. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua bahan benda uji seperti agregat kasar, agregat halus, *filler*, *crumb rubber*, dan minyak jelantah.
2. Menyiapkan semua peralatan pembuatan benda uji yang dibutuhkan di laboratorium.
3. Timbang agregat beserta *filler* sesuai persentase campuran yang telah dihitung untuk setiap benda uji.
4. Agregat dan *filler* yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam

oven hingga mencapai suhu sekitar 150°C untuk menghilangkan kandungan air dan mencapai kondisi berat kering, lalu keluarkan dari oven dan tunggu sampai beratnya tetap.

5. Campurkan *crumb rubber* dan minyak jelantah sesuai persentase campuran yang telah dihitung dalam kontainer lalu aduk hingga merata tanpa dipanaskan.
6. Panaskan agregat di dalam wajan hingga suhu $\pm 150^{\circ} C$.
7. Tuangkan agregat ke dalam wajan lalu masukkan *crumb rubber* yang sudah dicampur dengan minyak jelantah sambil diaduk sampai agregat terselimuti bahan pengikat secara merata pada suhu $\pm 250^{\circ}C$.
8. Letakkan cetakan benda uji (*mould*) diatas alas cetakan, tahan dengan pemegang cetakan. Lalu memberi kertas penyaring atau kertas penghisap di bagian dasar cetakan.
9. Masukkan semua bahan yang sudah dicampur pada suhu maksimal pencampuran ke dalam cetakan sembari ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengah untuk menghilangkan rongga udara. Lalu beri kertas penyaring atau kertas penghisap di atasnya.
10. Selanjutnya lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 2×75 kali tumbukan pada setiap sisi (atas dan bawah) benda uji.
11. Setelah pemadatan, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan *extruder* dan melepas kertas penyaring atau kertas penghisap serta diberi tanda pada setiap sampel. Lalu, biarkan selama ± 24 jam pada suhu ruang.
12. Ukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm di tiga sisi benda uji.
13. Timbang benda uji dengan timbangan ketelitian 0,1 gram untuk mendapatkan berat kering, berat dalam air, dan berat SSD (*Saturated Surface Dry*).

3.4.6. Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat *Marshall*

Berikut adalah langkah-langkah pengujian menggunakan alat *Marshall*:

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendaman (*water bath*) selama ± 30 menit dengan suhu 60°C .
2. Bagian dalam permukaan kepala penekan alat *marshall* dibersihkan dan diberi pelumas agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
3. Keluarkan benda uji dari bak perendam, letakkan benda uji dalam cincin, pasang *flow* meter, dan tempatkan kembali pada mesin penekan *marshall*.
4. Naikkan penekan hingga menyentuh alas cincin penguji, lalu atur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.
5. Berikan pembebanan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit. Bacalah nilai stabilitas saat jarum stabilitas berhenti dan mulai berputar menurun, yang merupakan nilai stabilitas *marshall*. Pada saat yang sama, bacalah nilai kelelahan (*flow*) pada arloji.
6. Setelah pengujian selesai, lepaskan bagian atas kepala penekan dan keluarkan benda uji.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penggunaan *crumb rubber* yang dikombinasikan dengan minyak jelantah sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan tipe *wearing course*, dapat disimpulkan bahwa penambahan *crumb rubber* berpengaruh terhadap karakteristik *Marshall*. Peningkatan kadar *crumb rubber* hingga 10% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi sebesar 924 kg dengan nilai *flow* sebesar 3,5 mm yang masih berada dalam rentang spesifikasi yang dipersyaratkan. Kondisi tersebut menghasilkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi sebesar 267 kg/mm, yang menunjukkan keseimbangan optimal antara kekuatan dan kemampuan deformasi campuran. Berdasarkan parameter stabilitas, *flow*, dan MQ, kadar *crumb rubber* 10% ditetapkan sebagai kadar optimum pada penelitian ini. Namun demikian, berdasarkan parameter *Void in Mix* (VIM), seluruh variasi kadar *crumb rubber* belum memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan, dengan nilai VIM terendah sebesar 16,98% pada kadar 10,5%. Hal ini menunjukkan bahwa rongga udara dalam campuran masih relatif tinggi sehingga tingkat kepadatan campuran belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi kadar *crumb rubber* yang lebih rinci di sekitar kadar optimum, agar diperoleh nilai optimum yang lebih akurat dan representatif.
2. Pada penelitian ini, *crumb rubber* dikombinasikan dengan minyak jelantah sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji penggunaan bahan lain sebagai bahan pengombinasi *crumb rubber*, sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap karakteristik campuran serta diperoleh alternatif bahan yang berpotensi memberikan kinerja yang lebih baik.
3. Pada penelitian ini tidak mengkaji variasi ukuran dan gradasi *crumb rubber*, sehingga disarankan untuk melakukan pengkajian variasi ukuran dan gradasi partikel *crumb rubber*, karena hal tersebut berpengaruh terhadap distribusi dan interaksi dalam campuran.
4. Pada penelitian ini hanya melakukan uji *Marshall* maka disarankan untuk melakukan pengujian tambahan seperti uji kelelahan (*fatigue test*), uji ketahanan terhadap deformasi (*rutting test*), uji ketahanan terhadap air (*immersion test*), serta uji durabilitas jangka panjang untuk mengetahui performa campuran secara menyeluruh dalam kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adilahaqi, R. H. (2024). *Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Kendaraan Sebagai Pemodifikasi Aspal Terhadap Kinerja Marshall Pada Campuran AC-WC*.
- Afrah, D. B., Saputri Delli, J. F., Ramona Putri, T. M., Riady, M. ihsa., & Muzzaki, A. N. (2025). *Pemanfaatan Tar Residu Bio-Oil Limbah Tempurung Kelapa dengan Aditif Biochar dan Gondorukem Menjadi Bio-Aspal*. 4247(April), 61–68.
- Budiati, A. (2023). *Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON) Untuk Lalu Lintas*. 1(1), 18–21.
- Balaguru, P., Mohan, N. K., & Sathiyagnanam, A. P. (2011). *Neural network based analysis of thermal properties rubber composite material - Pneumatic tire*. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011, 3, 2015–2019.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tentang Pekerjaan Perkerasan Aspal*.
- Fauziah, M., & Emsya, Y.D. 2019. *Pengaruh Penggunaan Wco Sebagai Bahan Peremaja RAP Terhadap Karakteristik Rap-Aspal Baru Bergradasi Superpave*. Tugas akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2019). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah Edisi Ke-3* (H. C. Hardiyatmo (ed.); 3rd ed.). Gadjah Mada University Press, gmupress@ugm.ac.id.
- Istiqlal, N. F. (2022). *Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Pada Campuran Aspal Beton AC-WC Ditinjau Dari Parameter Marshall*.

- RSNI M-01-2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*: Badan Standarisasi Nasional.
- Saodang, H. (2005). *Konstruksi Jalan Raya*. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 13, Issue April).
- Senolinggi, R. D. (2018). *Pengaruh Penambahan Serbuk Crumb Rubber Menggunakan Filler Abu Sekam Padi Pada Asphalt Concrete - Wearing Course Di Tinjau Dari Karakteristik Marshall*.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Sukirman, S. (2006). *Beton Aspal Campuran Panas*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Sukirman, Silvia, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta.
- J. Suryono, Karminto, and Arifan, *Pengaruh Crumb Rubber dengan material lokal serta Filler batu laterit terhadap nilai Marshall asphalt concrete–binder course (AC-BC)*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi V, pp. 39-50, 2019.
- Syahputra, D., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2020). *Asphalt Concrete – Wearing Course (Ac–Wc) With Crumb Rubber Mixture Performance Evaluation*. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(3), 223. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.5>
- Zikrullah, W., & Widari, L. A. (2025). *Pengaruh Penambahan Crumb Rubber Pada Campuran AC-BC Menggunakan Substitusi Filler Abu Sekam Padi terhadap Karakteristik Marshall*. 1(1), 3–6.