

**KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERASAN TIPE *BINDER –
COURSE* (BC) MENGGUNAKAN BAHAN PENGIKAT SERBUK
KARET BAN BEKAS**

(SKRIPSI)

Oleh

**DEA GAIZKA QUMAIROH
2215011119**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERASAN TIPE *BINDER-COURSE* MENGGUNAKAN BAHAN PENGIKAT SERBUK KARET BAN BEKAS

Oleh

DEA GAIZKA QUMAIROH

Peningkatan volume lalu lintas kendaraan berat memicu kerusakan dini pada struktur jalan, seperti deformasi permanen (*rutting*) dan retak lelah. Salah satu upaya meningkatkan mutu perkerasan adalah dengan memodifikasi aspal menggunakan material polimer elastomer, seperti serbuk karet ban bekas (*Crumb Rubber*). Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan membuat benda uji menggunakan variasi kadar serbuk karet sebesar (12,5%, 13%, 13,5%, 14%, dan 14,5%). Penentuan kadar optimum awal dilakukan berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian karakteristik campuran dilakukan menggunakan metode *Marshall* untuk mengevaluasi parameter stabilitas, *flow* (kelelahan), *Marshall Quotient* (MQ), dan *Voids in Mix* (VIM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk karet ban bekas secara signifikan memengaruhi karakteristik campuran. Penambahan serbuk karet pada kadar optimum sebesar 12,5% mampu meningkatkan nilai stabilitas *Marshall*. Namun, peningkatan kadar serbuk karet yang terlalu tinggi cenderung menurunkan nilai stabilitas dan meningkatkan rongga dalam campuran (VIM).

Kata kunci: *Binder Course*, Serbuk Karet Ban Bekas, Karakteristik *Marshall*

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF BINDER-COURSE PAVEMENT MIXTURE USING CRUMB RUBBER BINDER FROM WASTE TIRES

By

DEA GAIZKA QUMAIROH

The increasing volume of heavy vehicle traffic triggers premature damage to road structures, such as permanent deformation (rutting) and fatigue cracking. One effort to improve pavement quality is by modifying asphalt using elastomeric polymer materials, such as crumb rubber from waste tires. The research method was conducted experimentally in the laboratory by fabricating specimens using crumb rubber content variations of (12.5%, 13%, 13.5%, 14%, and 14.5%). The determination of the initial optimum content was based on the 2018 Bina Marga specifications. Testing of the mixture characteristics was conducted using the Marshall method to evaluate parameters of stability, flow, Marshall Quotient (MQ), and Voids in Mix (VIM). The results showed that the use of waste tire crumb rubber significantly affected the mixture characteristics. The addition of crumb rubber at an optimum content of 12.5% was able to increase the Marshall stability value. However, an excessively high increase in crumb rubber content tended to decrease the stability value and increase the voids in the mix (VIM).

Keywords: Binder Course, Waste Tire Crumb Rubber, Marshall Characteristics

**KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERSAN TIPE *BINDER COURSE*
MENGUNAKAN BAHAN PENGIKAT SERBUK KARET BAN BEKAS**

Oleh:

DEA GAIZKA QUMAIROH

Skripsi

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

Pada

**JURUSAN TEKNIK SIPIL Fakultas
Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Penelitian : **KARAKTERISTIK CAMPURAN
PERKERASAN TIPE *BINDER* – *COURSE*
MENGUNAKAN BAHAN PENGIKAT
SERBUK KARET BAN BEKAS**

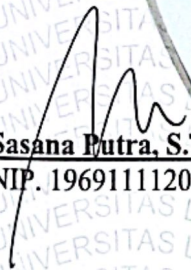
Nama : **DEA GAIZKA QUMAIROH**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2215011119**

Jurusan : **Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**

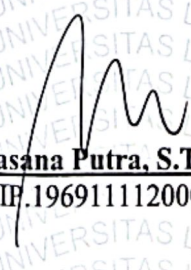


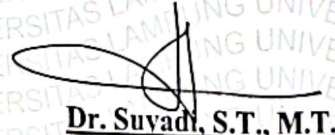

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 196911112000031002


Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.
NIP. 197410042000032002

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. 19741225200501103

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Sekretaris

: Dr.Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T.,M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing

**: Prof. Dr. Eng. Ir. Aleksander Purba, ST.,
MT., IPM. ASEAN Eng.**

2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Juni 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dea Gaizka Qumairoh

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011119

Judul Skripsi : Karakteristik Campuran Perkerasan Tipe *Binder – Course* Menggunakan Bahan Pengikat Serbuk Karet Ban Bekas

Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, Juni 2026



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di salah satu desa yang terletak di Kabupaten Tulang Bawang Barat, Lampung yaitu Penumangan Baru pada tanggal 17 Desember 2003. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, Putri dari Bapak Fuat Tamami dan Ibu Nuraini, serta memiliki satu saudara perempuan yang bernama Amar Wulan Zalsa Hidayah.

Penulis menyelesaikan jenjang pendidikan dasar di SDN 1 Penumangan Baru pada tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan menengah di SMP Bina Desa hingga lulus pada tahun 2019, dan menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 2 Tulang Bawang Udik pada tahun 2022. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif didalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (Himateks) Universitas Lampung sebagai Anggota Departemen Hubungan Luar pada tahun 2023. Di bidang akademik, penulis memiliki pengalaman sebagai asisten dosen untuk beberapa mata kuliah, di antaranya adalah asisten mata kuliah Mekanika Tanah I pada tahun 2024, dan Dasar-Dasar Perkerasan Jalan Raya pada tahun 2025.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Marga Jaya, Kecamatan Selagai Lingga, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung selama 40 hari, yaitu pada Januari - Februari 2025. Kemudian, pada Mei – Agustus 2025 penulis melaksanakan Kerja Praktik pada Proyek Rekonstruksi Jalan Ruas Kalirejo-Pringsewu, Kabupaten Pringsewu, Lampung. Mulai pada tahun 2025 juga, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Karakteristik Campuran Perkerasan Tipe *Binder-Course* Menggunakan Bahan Pengikat Serbuk Karet Ban Bekas” sebagai tugas akhir dan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Bismillāhirrahmānirrahīm

Alhamdulillahirabbil ‘ālamīn, puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta’ala atas segala rahmat, kesehatan, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam.

Karya ini penulis persembahkan kepada:

Kedua Orang Tua Tercinta

Terima kasih atas segala do’a, kasih sayang, pengorbanan, kesabaran, dan dukungan yang selalu mengiringi setiap langkah penulis hingga mampu menyelesaikan perjalanan ini.

Adikku Tersayang

Terima kasih karena senantiasa menjadi pelengkap dinamika dalam hidup penulis. Di balik segala kekeraskepalaan dan tingkah laku yang menguji kesabaran, kehadiranmu adalah motivasi tersendiri dalam setiap langkah perjuangan ini, termasuk dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji

Terima kasih atas ilmu, arahan, motivasi, serta kesabaran yang diberikan selama penyusunan skripsi ini.

Untuk sahabat-sahabat yang telah mendukung

Terima kasih atas dukungan, perhatian, kasih sayang, serta kebersamaan yang diberikan kepada penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah:286)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”

(Hindia)

“Aku membahayakan nyawa ibu untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya, dan aku membuat ayahku lelah bekerja tiap hari, jadi kupastikan lelahnya tidak sia-sia”

(Penulis)

SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah SWT. dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Campuran Perkerasan Tipe *Binder-Course* Menggunakan Bahan Pengikat Serbuk Karet Ban Bekas” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Pada penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta’ala yang senantiasa memberikan rahmat, petunjuk, kekuatan, dan kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan seluruh proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
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, Fakultas Teknik, Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung
5. Ibu Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, perhatian, motivasi, serta masukan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Aleksander Purba, ST., MT., IPM. ASEAN Eng., selaku Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing Akademik yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan serta memberikan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
8. Seluruh staf dari Laboratorium Jalan Raya (Pak Suroto, Bang Kadek, dan Mas Andi) yang sudah memberikan fasilitas sarana prasarana dalam menunjang penelitian serta memberikan saran, dukungan serta bimbingan selama kami melakukan penelitian.
9. Kepada cinta pertama dan pintu surgaku yaitu kedua orang tuaku tercinta, Bapak Fuat Tamami dan Ibu Nuraini. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan, yang senantiasa memberikan yang terbaik dan selalu berjuang untuk kehidupan penulis, serta senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat yang tidak pernah putus kepada penulis.
10. Kepada Adikku tersayang, Amar Wulan Zalsa Hidayah. Terima kasih telah menjadi sumber semangat dan motivasi dalam setiap langkah perjuangan penulis. Meski sering menjadi “musuh terbesarku” dalam hal kecil sehari-hari, terima kasih atas dukungan dan semangatmu yang selalu hadir.
11. Kepada seseorang yang tidak kalah penting kehadirannya, yaitu pemilik nama M. Ridho Triansyah. Terima kasih telah setia menemani dan kebersamaan penulis sejak duduk dibangku putih abu-abu hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas waktu, kesabaran, perhatian, dan dukungan yang tak pernah lelah diberikan. Terima kasih untuk pundakmu yang selalu ada menemani setiap keluh kesah penulis dalam hal apapun, serta terima kasih karena tidak pernah meragukan setiap usaha yang penulis lakukan.
12. Rekan-rekan Laboratorium, Syintiana dan Lazario yang sangat membantu selama proses penelitian dan memberikan warna selama proses penelitian di Lab dengan segala candaan dan tingkah laku aneh yang terjadi setiap harinya. Terima kasih rekan-rekan laboratorium yang senantiasa sabar membantu apabila ada kesulitan.

13. Teman-teman seperjuangan penulis yang sangat penulis cintai dan banggakan yang selalu setia mendukung, membantu apa yang selama ini penulis hadapi, yang selalu mengajari dan menemani disaat-saat penulis butuhkan dan semangat yang telah diberikan sepanjang perjalanan skripsi ini.
14. Rekan-rekan Teknik Sipil Angkatan 2022 yang telah memberikan bantuan, pengalaman, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. 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 memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca serta pihak-pihak yang membutuhkan.

Bandar Lampung, Juni 2026

Penulis,

Dea Gaizka Qumairoh

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	i
DAFTAR TABEL	ii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Perkerasan Jalan	6
2.2. Struktur Lapisan Perkerasan Jalan.....	7
2.3. Campuran Perkerasan Jalan Tipe <i>Binder Course</i>	8
2.4. Gradasi Agregat.....	11
2.5. Karakteristik Campuran Perkerasan <i>Binder Course</i> dengan Metode <i>Marshall Test</i>	13
2.5.1. Stabilitas (<i>Stability</i>)	14
2.5.2. Kelelehan (<i>Flow</i>)	14
2.5.3. Kepadatan (<i>Density</i>)	14
2.5.4. <i>Marshall Quotient</i> (Hasil Bagi Marshall).....	15
2.5.5. VIM (<i>Void In Mix</i>)	15
2.6. Penelitian Terdahulu.....	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2. Lokasi Penelitian	21
3.3. Studi Literatur.....	21

3.4. Bahan – Bahan Penelitian.....	21
3.5. Peralatan Penelitian	22
3.6. Prosedur Penelitian.....	23
3.6.1. Persiapan Bahan Penelitian.....	23
3.6.2. Perancangan Gradasi Agregat.....	24
3.6.3. Pengujian Bahan Penelitian	25
3.6.4. Pembuatan Benda Uji	26
3.6.5. Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat <i>Marshall</i>	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Pemeriksaan dan Pengujian Agregat	29
4.2. Pengujian Bahan Pengikat.....	31
4.3. Hasil Uji <i>Marshall</i>	33
4.4. Analisis Hasil Uji <i>Marshall</i> dengan Studi Terdahulu.....	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1 Diagram alir penelitian.....	20
4.1 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai stabilitas.....	35
4.2 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai <i>flow</i>	36
4.3 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai MQ	38
4.4 Grafik hubungan kadar <i>crumb rubber</i> dengan nilai VIM.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Ketentuan agregat kasar	9
2.2 Ketentuan agregat halus	10
2.3 Ketentuan <i>filler</i>	10
2.4 Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran perkerasan.....	13
3.1 Rencana gradasi agregat.....	24
3.2 Standar spesifikasi pemeriksaan agregat.....	26
4.1 Hasil pengujian agregat.....	29
4.2 Hasil pengujian bahan pengikat	31
4.3 Rekapitulasi hasil pengujian <i>marshall</i>	34

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan infrastruktur jalan yang pesat di Indonesia menuntut ketersediaan material perkerasan yang berkualitas dan ramah lingkungan. Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yang dominan digunakan di Indonesia, mengandalkan aspal (bitumen) sebagai bahan pengikat utama. Namun, ketergantungan pada aspal memiliki dua tantangan besar yaitu seiring meningkatnya volume lalu lintas dan beban kendaraan, serta fluktuasi suhu ekstrem, perkerasan sering mengalami kerusakan dini seperti retak, *rutting* (alur), dan *bleeding*. Hal ini memerlukan biaya perawatan yang tinggi. Selain itu aspal merupakan produk turunan minyak bumi yang sumbernya terbatas dan harganya cenderung meningkat seiring waktu.

Disisi lain, Indonesia merupakan negara penghasil karet alam kedua terbesar di dunia, dengan luas perkebunan karet mencapai 3,6 juta hektar dan produksi sebesar 3,3 juta ton pada tahun 2022. Saat ini, lebih dari 12 juta ton karet alam diproduksi setiap tahunnya, yang digunakan di banyak industri untuk menghasilkan produk komersial salah satunya seperti ban (Husaini et al., 2023). Namun, industri otomotif yang berkembang pesat saat ini serta meningkatnya jumlah produksi ban setiap tahunnya menghasilkan limbah ban dalam jumlah besar.

Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Indonesia tahun 2024, produksi limbah ban mencapai sekitar 1,5 juta ton per tahun, dengan sebagian besar dibuang ke lingkungan atau dibakar, yang menyebabkan masalah serius seperti pencemaran tanah, air, dan udara.

Limbah ban ini sulit terurai secara alami karena terbuat dari bahan sintesis seperti karet, serat, dan logam, sehingga memerlukan pengelolaan yang efektif untuk mengurangi dampak lingkungan negatif. Salah satu pendekatan inovatif dalam pengelolaan limbah ban adalah dengan mengolahnya menjadi serbuk karet dan menggunakannya sebagai bahan pengikat utama dalam campuran perkerasan. Selain itu, ban bekas memiliki karakteristik yang berbeda seperti kekuatan tarik yang kuat, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap pergeseran. Ban bekas yang merupakan limbah industri, dapat digunakan sebagai bahan substitusi atau modifikasi aspal pada perkerasan lentur. Ban bekas diprediksi dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan dengan memenuhi kriteria pengikat aspal dan atribut lapisan aspal seperti kekokohan, fleksibilitas, dan daya tahan (Aula dkk., 2024).

Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang terletak diatas tanah dasar, yang telah mengalami pemadatan dan mempunyai fungsi untuk mendukung lalu lintas. Dalam penelitian ini jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan tipe *Binder – Course*. Perkerasan tipe *Binder - Course* merupakan lapisan perkerasan jalan yang berada diantara lapisan aus (*Wearing - Course*) dan lapisan pondasi atas (*Base*). Lapisan *Binder – Course* ini berguna untuk menyalurkan atau meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju ke lapisan yang ada di bawahnya. *Binder - Course* memiliki tebal perkerasan minimum sebesar 5 cm. Lapisan ini dirancang dengan stabilitas tinggi untuk mengurangi tegangan dan menahan beban maksimum akibat beban lalu lintas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kualitas campuran perkerasan yang telah ditambahkan bahan pengikat serbuk karet ban bekas pada lapisan *Binder Course* melalui uji *Marshall* (*Marshall immersion*). Dalam perencanaan perkerasan jalan, parameter nilai *Marshall* merupakan hal paling utama dalam mengevaluasi kualitas campuran perkerasan, yang diukur melalui uji *Marshall*. *Marshall Test* merupakan pengujian yang bertujuan menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran

aspal. Stabilitas didefinisikan sebagai kekuatan internal dan ketahanan geser campuran. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan kemampuan campuran untuk menahan beban vertikal dari lalu lintas tanpa hancur. *Flow* didefinisikan sebagai fleksibilitas dan kekakuan campuran. *Flow* yang terlalu tinggi menunjukkan campuran terlalu lunak (rentan *rutting*), sementara *Flow* yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu kaku (rentan retak lelah). Dengan penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dan referensi dalam peranan pemanfaatan penggunaan serbuk karet ban bekas untuk digunakan sebagai bahan pengikat utama dalam campuran perkerasan jalan.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini untuk mengetahui berapa persen kadar serbuk karet limbah ban bekas yang paling optimal untuk dicampurkan ke dalam perkerasan tipe *Binder-Course* agar hasil pengujian *Marshall* (Stabilitas, *Flow*, VIM (*Voids in Mix*), *Density* dan *Marshall Quotient*) memenuhi semua kriteria spesifikasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk karet ban bekas sebagai bahan pengikat pada perkerasan tipe *Binder-Course*.

1.4. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini, diantaranya :

- a. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- b. Jenis lapisan yang ditinjau adalah perkerasan tipe *Binder Course*.

- c. Bahan pengikat untuk campuran perkerasan yang digunakan adalah serbuk karet yang berasal dari limbah ban bekas kendaraan.
- d. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode *Marshall*.
- e. Parameter *Marshall* yang diteliti yaitu nilai Stabilitas, *Flow*, VIM (*Voids in Mix*), Kepadatan (*density*) dan *Marshall Quotient*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kadar optimal serbuk karet yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dan *Marshall Quotient* (kekakuan), sehingga menghasilkan lapisan *Binder Course* yang lebih kuat dan tahan lama terhadap deformasi (*rutting*). Selain itu, untuk membantu mengatasi masalah penumpukan limbah ban bekas yang sulit terurai, melalui pemanfaatan kembali limbah tersebut menjadi bahan konstruksi yang bernilai ekonomi.

1.6. Sistematika Penulisan

I. Pendahuluan

Bagian ini menguraikan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan-batasan yang terdapat dalam penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Bagian ini membahas tentang landasan teori serta studi literatur yang dipakai dalam penelitian ini.

III. Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian, bagan alir penelitian, serta tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini.

IV. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini terdiri dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil mengenai karakteristik aspal.

V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang diambil dari penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran berdasarkan manfaat yang diperoleh dari penelitian ini.

Daftar Pustaka

Bagian ini berisi referensi yang digunakan sebagai penunjang dalam penyusunan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Menurut Shirley L. Hendarsin (2000) perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. Fungsi utama perkerasan ini untuk mendukung beban lalu lintas secara aman dan nyaman sehingga tidak terjadi kerusakan yang berarti selama umur jalan. Struktur ini juga harus menyediakan permukaan yang rata, stabil, nyaman, dan aman bagi pengguna jalan, serta kedap air untuk melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan hidrologi. Konstruksi perkerasan jalan pada umumnya dapat menggunakan beberapa material seperti batu gunung, agregat, sirtu, dll sebagai lapisan dasar dan material beton. Menurut Sukirman (1992) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Perkerasan Lentur (*Fleksibel pavement*)

Perkerasan lentur adalah lapisan yang berada di atas tanah dasar yang telah dipadatkan sedemikian rupa dan menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Lapisan perkerasan lentur terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*) dan lapis tanah dasar (*subgrade*). Lapisan-lapisan tersebut bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan (V. A. Putri et al., 2016)

2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku atau perkerasan beton adalah suatu perkerasan yang memanfaatkan bahan baku yakni agregat kasar dan halus yang diikatkan menggunakan semen. Perkerasan kaku adalah jenis perkerasan jalan yang

menggunakan pelat beton sebagai lapisan utamanya, yang diletakkan di atas tanah dasar (*subgrade*) atau lapisan pondasi.

3. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan kaku. Perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

2.2. Struktur Lapisan Perkerasan Jalan

Lapis perkerasan merupakan suatu struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung dan ketebalan yang berbeda, fungsi utama lapis perkerasan ini untuk mendukung beban lalu lintas secara aman dan nyaman sehingga tidak terjadi kerusakan yang berarti selama umur jalan. Berikut struktur lapis perkerasan jalan:

1. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapis permukaan menahan beban roda, lapis kedap air, lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan, dan lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Berfungsi menyebarkan beban dari lapisan permukaan ke lapisan pondasi bawah. Terbuat dari agregat berkualitas tinggi atau campuran stabilisasi.

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Sebagai lapisan penopang tambahan antara tanah dasar dan pondasi atas. Biasanya dari agregat kelas rendah atau tanah yang distabilisasi.

4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah asli atau tanah timbunan yang dipadatkan. Kekuatan tanah dasar sangat menentukan tebal perkerasanyang dibutuhkan.

2.3. Campuran Perkerasan Jalan Tipe *Binder Course*

Jenis campuran yang digunakan ini mencakup agregat, bahan pengikat serta *filler*. Pemilihan dan proporsi bahan sangat mempengaruhi daya tahan, stabilitas, dan keberlanjutan perkerasan jalan. Berikut adalah jenis campuran yang digunakan pada perkerasan jalan tipe *binder course*:

1. Agregat

Agregat adalah material granular yang terdiri dari partikel mineral alami (seperti batu pecah, kerikil, pasir). Dalam perkerasan jalan, agregat membentuk bagian terbesar dari volume campuran dan berfungsi sebagai kerangka utama yang menyalurkan serta mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. Agregat juga memberikan stabilitas, kekuatan, dan ketahanan terhadap deformasi pada campuran perkerasan maupun lapisan pondasi. Material utama pembentuk lapisan perkerasan jalan adalah campuran agregat (90-95% dari berat campuran perkerasan) dan aspal (Aminsyah, 2010). Menurut Bina Marga, agregat dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan ukuran:

a. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat dengan ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm, seperti kerikil, batu pecah, atau bahan pecahan batu lainnya. Agregat kasar merupakan suatu material yang digunakan dalam pembuatan campuran perkerasan jalan yang tertahan ayakan No. 4 (4,75 mm), dilakukan secara basah serta harus bersih, keras, awet dan terbebas dari lempung ataupun bahan-bahan yang dikehendaki serta memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi.

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	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	modifikasi dan SMA		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya		Maks. 8%
	100 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90)
	Lainnya		95/90)
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: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya (KEMENPUPR, 2018). Agregat halus berukuran lebih halus dari saringan No. 4 (4,75mm), fungsi agregat halus bertujuan untuk membantu menjaga kestabilan dan mengurangi deformasi pada campuran dengan cara mengikat partikel agregat satu sama lain. Selain itu, agregat halus juga berperan sebagai bahan pengisi di antara agregat kasar.

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: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

c. *Filler*

Filler didefinisikan sebagai material berbutir sangat halus yang sebagian besar lolos saringan No. 200 (0.074 mm). *Filler* berperan mengisi rongga-rongga kecil di antara butiran agregat, sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat dan mengurangi porositas. *Filler* mempengaruhi sifat fisik dan kimia campuran seperti viskositas, ketahanan suhu tinggi, dan daya tahan terhadap air. Jenis dan proporsi *filler* sangat menentukan performa campuran, baik pada suhu tinggi maupun rendah. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136: 2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

Tabel 2.3. Ketentuan *Filler*

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

2. Serbuk Karet Ban Bekas (*Crumb Rubber*)

Crumb rubber adalah material hasil daur ulang ban kendaraan yang sudah tidak terpakai, yang diolah menjadi butiran halus. Serbuk karet ban bekas dapat berfungsi sebagai bahan pengikat alternatif dengan karakteristik fisik dan mekanis yang kompetitif dibandingkan aspal konvensional.

Penggunaan serbuk karet sebagai pengganti aspal dapat memperbaiki daya tahan terhadap retak, serta memberikan nilai tambah dari sisi lingkungan karena mengurangi limbah ban bekas dan ketergantungan pada aspal berbasis minyak bumi. Selain itu, serbuk karet ban bekas memiliki sifat elastis yang dapat meningkatkan fleksibilitas campuran perkerasan, sehingga lebih tahan terhadap beban berulang dan perubahan suhu. Serbuk karet ban bekas adalah solusi inovatif dan ramah lingkungan untuk pemanfaatan limbah ban bekas, dengan aplikasi utama pada modifikasi aspal. Penggunaannya dapat meningkatkan performa material konstruksi sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari limbah ban.

3. Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah minyak goreng bekas pakai yang telah mengalami proses pemanasan berulang sehingga mengalami perubahan fisik dan kimia, seperti peningkatan kadar asam lemak bebas dan penurunan kualitas. Minyak jelantah dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat alternatif (*bio-asphalt/bio-binder*) atau sebagai *aditif/modifier* pada campuran aspal konvensional. Minyak jelantah mengandung komponen ringan (aromatik dan asam lemak) yang mirip dengan fraksi aspal, sehingga dapat melunakkan aspal yang kaku akibat penuaan dan meningkatkan fleksibilitas campuran. Minyak jelantah berpotensi besar sebagai bahan pengikat pengganti aspal dalam perkerasan jalan. Selain mendukung keberlanjutan dan pengelolaan limbah, minyak jelantah mampu meningkatkan fleksibilitas dan menurunkan suhu kerja campuran aspal.

2.4. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan suatu lapisan perkerasan. Gradasi agregat untuk setiap konstruksi lapis perkerasan memiliki batas-batas yang disyaratkan yang diperoleh berdasarkan analisa saringan yang dinyatakan dalam persentasi lolos dan

persentase tertahan untuk setiap ukuran saringan tertentu. Gradasi agregat dalam campuran beraspal yang memenuhi amplop gradasi memiliki banyak variasi yang menghasilkan campuran beraspal, sehingga penentuan gradasi yang menghasilkan campuran beraspal yang paling optimum perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian *Marshall* (Dotulung et al., 2023). Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Gradasi Rapat (*Dense-Graded*)

Gradasi rapat adalah campuran agregat dengan distribusi ukuran butir yang merata dari besar hingga kecil, sehingga rongga udara di antara butiran sangat sedikit. Campuran ini menghasilkan struktur yang padat, stabil, dan memiliki daya dukung tinggi. Gradasi rapat banyak digunakan pada lapisan permukaan dan dasar jalan karena ketahanannya terhadap deformasi dan rutting. Tipe gradasi ini sangat efektif untuk diterapkan pada lapisan perkerasan utama, seperti lapisan pondasi atas dan lapisan permukaan, karena mampu memberikan kekuatan, kepadatan, serta daya tahan yang tinggi.

2. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam adalah salah satu jenis distribusi ukuran agregat di mana sebagian besar butiran agregat memiliki ukuran yang hampir sama, dengan sedikit atau tanpa kehadiran butiran berukuran jauh lebih kecil atau lebih besar. Meskipun agregat ini memberikan permeabilitas yang baik, mereka kurang stabil dan biasanya digunakan dalam aplikasi spesifik seperti pelapis chip pada perkerasan jalan.

3. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Gradasi senjang adalah campuran yang mengandung ukuran butir tertentu, tetapi ada beberapa fraksi ukuran yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, sehingga distribusi ukuran butirnya tidak merata. Hasilnya, terbentuk struktur kerangka agregat kasar yang kuat dengan sedikit agregat halus sebagai pengisi. Gradasi ini banyak digunakan pada campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) yang memiliki ketahanan tinggi terhadap deformasi dan rutting.

Berikut spesifikasi campuran lapisan jalan menurut Bina Marga 2018, yang telah disesuaikan dengan ukuran ayakan serta jenis lapisan tipe *binder course*, ditentukan berdasarkan tabel di bawah ini:

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)

2.5. Karakteristik Campuran Perkerasan *Binder Course* dengan Metode *Marshall Test*

Campuran perkerasan *binder course* (lapis antara) merupakan salah satu lapisan penting pada struktur perkerasan lentur. Penilaian karakteristik campuran ini umumnya menggunakan metode *Marshall test*, yang bertujuan untuk menentukan kualitas dan kinerja campuran aspal terhadap beban lalu lintas. Prosedur pengujian *Marshall* mengikuti SNI-06-2489-1991, AASHTO T245-90, atau ASTM D 1559-76 (Nanang Hermawan, 2023). *Marshall test* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur ketahanan/stabilitas terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal (Anes dkk., 2022). *Marshall Test* dilakukan di laboratorium dengan alat khusus dengan memberikan beban tekan terhadap sampel campuran agregat dan aspal hingga mengalami

deformasi. Metode *Marshall test* mengukur beberapa parameter utama yang menjadi indikator mutu campuran *binder course*, yaitu:

2.5.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap, seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Untuk perkerasan diisyaratkan stabilitas lebih besar dari 800 kg (Aminsyah, 2010). Stabilitas didapat dengan membaca angka dengan jarum dial selama pengujian alat *Marshall Test*. Gesekan pada butiran agregat menyebabkan stabilitas. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) berikut:

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

Dimana :

S : Nilai Stabilitas (kg)

p : Kalibrasi alat *Marshall*

q : Pembacaan dial *Marshall*

r : Koreksi benda uji

2.5.2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah perubahan bentuk yang terjadi pada campuran akibat adanya pembebanan. Untuk jenis lapis perkerasan BC, nilai kelelehan diisyaratkan diatas 2 mm (Aminsyah, 2010). Nilai kelelehan di dapatkan dari jarum dial saat angka jarum dial pada stabilitas tidak bergerak lagi dalam satuan milimeter (mm), untuk nilai *flow* disyaratkan 2-4 mm berdasarkan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

2.5.3. Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* atau kepadatan menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Campuran dengan *density* atau kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* atau

kepadatan rendah. Apabila nilai yang diperoleh semakin tinggi, maka campuran akan semakin baik.

2.5.4. *Marshall Quotient* (Hasil Bagi Marshall)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis yang menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran aspal dalam menerima beban, yang dinyatakan dengan satuan Kg/mm atau kN/mm (AASHTO, 1997). Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018, syarat nilai *Marshall Quotient* (MQ) atau kelelahan *Marshall* umumnya ditetapkan minimal 250 kg/mm untuk campuran aspal panas (*Hot Mix*). Faktor yang mempengaruhi nilai MQ antara lain adalah gradasi agregat, bentuk butir, kohesifitas, kadar aspal, energi dan temperatur pemadatan. Nilai *Marshall Quotient* dihitung menggunakan persamaan (2) berikut:

$$MQ = \left(\frac{\text{Nilai Stabilitas}}{\text{Flow}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

2.5.5. VIM (*Void In Mix*)

VIM adalah rongga udara yang ada dalam campuran perkerasan beraspal yang terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal (Hermanus et al., 2015). Nilai VIM yang kecil dapat mengakibatkan udara tidak masuk ke dalam campuran yang mengakibatkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh. Syarat nilai VIM (*Void in Mixture*/rongga dalam campuran) sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 umumnya berkisar antara (3,0% - 5,0%) untuk campuran aspal panas. Nilai VIM dihitung menggunakan persamaan (3) berikut:

$$VIM (\%) = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

G_{mm} = Berat Jenis Maksimum Teoritis Campuran Aspal

G_{mb} = Berat Jenis Bulk Campuran Aspal (kepadatan)

2.6. Penelitian Terdahulu

Penggunaan serbuk karet ban bekas sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan tipe *binder course* telah menjadi fokus penelitian untuk meningkatkan performa, keberlanjutan, dan efisiensi biaya pada konstruksi jalan. *Crumb rubber* semakin banyak digunakan sebagai bahan pengikat (*modifier*) dalam campuran perkerasan jalan karena manfaat mekanis dan lingkungan yang signifikan. Penambahan *crumb rubber* meningkatkan titik lunak (*softening point*), menurunkan nilai penetrasi, serta meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) dan retak akibat kelelahan (*fatigue cracking*). Selain itu, *crumb rubber* juga meningkatkan ketahanan terhadap penuaan dan retak suhu rendah, serta memperpanjang umur layan perkerasan. Karakteristik ini menjadikan *crumb rubber* berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengikat alternatif dalam campuran perkerasan jalan, khususnya pada campuran perkerasan tipe *binder-course*. Namun, penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan pengikat utama tanpa campuran aspal masih jarang dilakukan di Indonesia. Penelitian yang sudah ada umumnya berfokus pada modifikasi aspal konvensional dengan penambahan *crumb rubber* untuk meningkatkan stabilitas, ketahanan terhadap suhu, dan daya dukung campuran. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar bagi penelitian ini.

1. (Afriyannoor et al., 2024)

Dalam penelitian ini penulis meneliti terkait pengaruh penggunaan limbah karet ban sebagai bahan tambah pada campuran (AC-BC) ditinjau dari nilai *marshall*. Variasi limbah karet ban yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15% terhadap berat aspal optimum (5,75%). Hasil penelitian menunjukkan semua nilai stabilitas, *flow*, VFB, *density*, MQ memenuhi spesifikasi pada seluruh variasi karet, bahkan meningkat seiring penambahan karet, terutama untuk stabilitas dan MQ. Penambahan limbah karet ban meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran aspal AC-BC secara signifikan serta menurunkan nilai *flow* (campuran

menjadi lebih kaku). Namun, penambahan limbah karet ban juga menyebabkan penurunan nilai VIM dan VMA, sehingga pada kadar tinggi (10-15%) beberapa parameter tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan Bina Marga.

2. (L. R. Putri et al., 2022)

Melakukan penelitian terkait pengaruh penambahan *crumb rubber* dengan Material Senoni dan *Filler* Batu Senoni Terhadap Nilai Karakteristik *Marshall* pada lapisan (AC-BC). Pada penelitian ini dilakukan penambahan *crumb rubber* sebanyak 0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% dari total berat benda uji pada KAO. Dari penelitian ini disimpulkan hasil penambahan *crumb rubber* sampai 1,5% meningkatkan stabilitas, *flow*, VFA, *density*, dan *Marshall Quotient*, sementara VIM dan VMA sedikit menurun. Kemudian untuk penambahan *crumb rubber* lebih dari 1,5% menghasilkan campuran dengan nilai VIM yang mulai tidak memenuhi syarat.

3. (Suryono et al., 2019)

Melakukan Penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *Crumb Rubber* sebagai bahan tambah dan *filler* batu laterit sebagai pengganti *filler* pada campuran *Aspal Concrete – Binder Course* (AC-BC). Fokus utama adalah karakteristik campuran berdasarkan pengujian *Marshall*, khususnya nilai stabilitas, *flow*, dan sifat fleksibilitas campuran. Pada penelitian ini variasi kadar *Crumb Rubber* yang diuji adalah 0%, 4%, 5%, 6%, dan 7% berdasarkan berat total campuran. Kadar *crumb rubber* optimal untuk menjaga keseimbangan antara stabilitas dan fleksibilitas diperkirakan berada di kisaran 4% hingga 5%. Penambahan *crumb rubber* di atas 5% berpotensi menurunkan kualitas stabilitas campuran secara signifikan.

4. (Mulyadi & Hidayat, 2019)

Melakukan penelitian terkait pengaruh penambahan *crumb rubber*, pada penelitian ini didapatkan hasil penambahan *crumb rubber* 2% menghasilkan campuran dengan nilai stabilitas yang masih memenuhi standar dan nilai *flow* yang meningkat hampir dua kali lipat dibanding tanpa *crumb rubber*. Penurunan MQ sebesar 69% menunjukkan campuran menjadi lebih elastis dan mampu menahan kelelahan plastis lebih baik, mengurangi risiko retak pada perkerasan saat menerima beban berulang. Kadar *crumb rubber* di atas 2% menyebabkan penurunan stabilitas yang signifikan sehingga tidak memenuhi standar. Penambahan *crumb rubber* 2% pada campuran AC-BC dengan *filler* batu laterit 5% mampu memenuhi semua persyaratan karakteristik *Marshall*.

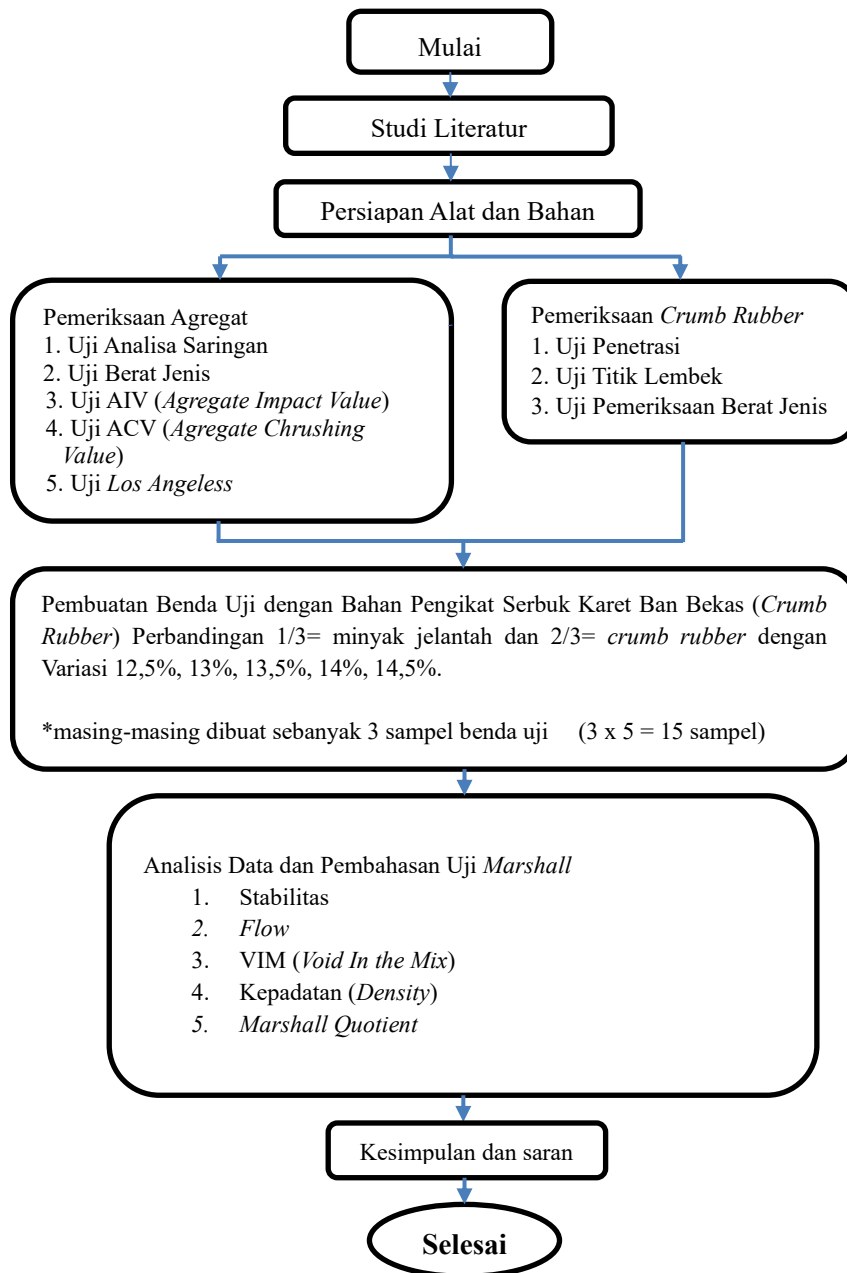
5. (Gunawan & Partiwi, 2023)

Dalam penelitiannya Pengaruh Tambahan Limbah Karet Ban Sebagai Campuran AC-BC digunakan variasi bahan tambah limbah karet ban 0%, 5%, 10%, dan 15%, didapatkan bahwa penambahan limbah karet ban dalam bekas kendaraan sangat mempengaruhi nilai karakteristik *Marshall*. Penambahan 5% karet ban menghasilkan nilai *flow* dan VIM yang tidak sesuai standar serta penambahan 10% dan 15% juga menunjukkan nilai MQ di bawah standar dan kelelahan yang melebihi batas. Sedangkan penambahan karet ban 3,5% adalah presentase paling efektif dan memenuhi persyaratan teknis Bina Marga. Implementasi pada kadar optimal (3,5%) dapat membantu memperpanjang umur perkerasan jalan dan meningkatkan kualitas infrastruktur jalan.

Berdasarkan penelitian - penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa limbah ban bekas (*crumb rubber*) berpotensi besar digunakan sebagai bahan pengikat pengganti aspal dalam campuran BC. Selain dapat meningkatkan nilai stabilitas dan kekuatan campuran, pemanfaatan limbah ban bekas juga berkontribusi terhadap pengurangan volume limbah karet ban yang sulit terurai, serta mendukung penerapan teknologi perkerasan ramah lingkungan dan berkelanjutan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

3.3. Studi Literatur

Studi literatur adalah proses pengumpulan, penelaahan, dan analisis berbagai sumber referensi yang relevan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai suatu topik penelitian. Dalam penelitian ini, studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori, konsep, dan penelitian sebelumnya yang dapat digunakan untuk mendukung atau memperkuat argumen penelitian yang sedang digunakan.

3.4. Bahan – Bahan Penelitian

Bahan - bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan agregat yang telah melewati proses pengayakan tertahan saringan No. 8 (2,36 mm), yang terdapat di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari proses pengayakan batu pecah dan agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm), yang terdapat di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3. *Filler*

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

4. *Crumb Rubber*

Limbah ban bekas pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengikat pengganti aspal yang diperoleh dari Toko CV Krakatau Media yang berlokasi di Malang.

5. Minyak Jelantah

Minyak jelantah pada penelitian ini digunakan untuk bahan campuran *crumb rubber* sebagai bahan pengikat atau pelunak.

3.5. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan Uji Agregat

Alat yang digunakan dalam pengujian agregat sebagai berikut:

- a. Satu set alat saringan/ayakan yang digunakan untuk memisahkan masing-masing agregat berdasarkan diameter ukurannya
- b. Alat untuk menguji berat jenis agregat
- c. Alat pengujian AIV dan ACV untuk mengukur kekuatan agregat
- d. Mesin *Los Angeles* digunakan untuk pengujian abrasi yang bertujuan mengetahui Tingkat keausan agregat
- e. Serta alat penunjang lainnya seperti timbangan, oven, kontainer.

2. Peralatan Uji Bahan Pengikat

Alat yang digunakan dalam pengujian bahan pengikat sebagai berikut:

- a. Alat untuk menguji titik lembek guna mengetahui titik lembek bahan pengikat pada suhu tertentu
- b. Alat uji penetrasi digunakan untuk mengetahui tingkat kekerasan bahan pengikat
- c. Serta alat penunjang lainnya seperti *thermometer*, cawan dan *stopwatch*.

3. Satu Set Alat Uji Karakteristik *Marshall*

Alat uji yang digunakan dalam pengujian *Marshall* sebagai berikut:

- a. Alat cetak benda uji (*mold*) berbentuk silinder dengan diameter 4 inchi (10,16 cm) serta tinggi 3 inchi (7,62 cm)
- b. Alat *Marshall Automatic Compactor* berfungsi untuk memadatkan campuran dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali untuk sisi atas dan bawah.

- c. Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu
- d. *Ejector* digunakan untuk mengeluarkan benda uji setelah dilakukan pemadatan
- e. Mesin uji tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan, cincin penguji dengan kapasitas 22,2 kN beserta *Flowmeter*.
- f. Cincin penguji dengan kapasitas 2500 Kg atau 5000 Kg beserta arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- g. Peralatan pendukung terdiri dari kompor pemanas, penggorengan, keranjang kawat, *thermometer*, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, timbangan, jangka sorong, pan, dan tipe-x yang digunakan sebagai penanda benda uji.

3.6. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan benda uji sebanyak 15 buah benda uji dengan variasi kadar 12,5%, 13%, 13,5%, 14%, 14,5% dimana untuk masing-masing variasi dilakukan pembuatan sebanyak 3 buah benda uji. Berikut adalah prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

3.6.1. Persiapan Bahan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan persiapan bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji. Persiapan bahan meliputi persiapan agregat kasar, agregat halus, *filler*, *crumb rubber*, serta minyak jelantah. Bahan-bahan tersebut diperoleh melalui tahapan berikut:

1. Agregat Kasar, Agregat Halus, dan *Filler*
 - a) Menyusun saringan dengan ukuran terbesar berada di bagian atas dan ukuran terkecil di bagian bawah secara berurutan.
 - b) Memasukkan agregat secara perlahan ke dalam saringan kemudian mengayak agregat tersebut.

- c) Setelah diayak kemudian pisahkan setiap jenis agregat yang tertahan di masing-masing saringan, sesuai dengan urutan saringan.
- d) Ulangi langkah a, b, dan c sampai jumlah agregat yang diperlukan terpenuhi.

2. *Crumb Rubber*

Crumb rubber diambil dari serbuk atau butiran karet hasil daur ulang ban bekas didapatkan dari Toko CV Krakatau Media di Malang, kemudian bahan itu diolah di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk tujuan penelitian.

3. Minyak Jelantah

Perolehan minyak jelantah pada penelitian ini berasal dari pedagang kaki lima sebagai bahan campuran pada *crumb rubber*.

3.6.2. Perancangan Gradasi Agregat

Berikut adalah rencana gradasi agregat dalam penelitian ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi 2:

Tabel 3.1 Rencana gradasi agregat.

Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi % Berat Lolos (Bina Marga, 2018)	% Berat yang Lolos	Berat yang Tertahan
25	100	100	0
19	90 - 100	95	5
12	75 - 90	82,5	12,5
9,5	66 - 82	74	8,5
4,75	46 - 64	55	19
2,36	30 - 49	39,5	15,5
1,18	18 - 38	28	11,5
0,6	12 - 28	20	8
0,3	7 - 20	13,5	6,5
0,15	5 - 13	9	4,5
0,074	4 - 8	6	3
Pan	0	0	6
Total			100

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

3.6.3. Pengujian Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap bahan penelitian yang akan digunakan untuk mengetahui serta memastikan kesesuaiannya dengan standar spesifikasi yang berlaku.

1. Pengujian Bahan Pengikat

Pengujian bahan pengikat pada penelitian ini meliputi pengujian penetrasi, berat jenis dan titik lembek. Pengujian penetrasi sendiri dilakukan untuk mengukur seberapa dalam jarum standar menembus permukaan bahan pengikat pada kondisi suhu, beban, dan waktu tertentu, sedangkan uji titik lembek untuk menentukan suhu di mana bahan pengikat mulai melunak dan kehilangan kekakuannya akibat kenaikan suhu. Selain itu uji berat jenis digunakan untuk menghitung parameter penting seperti kadar rongga udara dalam campuran, rongga di antara mineral agregat, serta rongga yang terisi oleh bahan pengikat.

2. Pengujian Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji analisa saringan, AIV dan ACV, berat jenis dan penyerapan serta uji *Los angeles*. Prosedur pengujian ini mengikuti spesifikasi umum 2018 divisi 6 dari aturan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Tabel 3.2 Standar spesifikasi pemeriksaan agregat.

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136:2012
2	<i>Aggregate Impact Value Test (AIV)</i>	BS 812: Part 3: 1975
3	<i>Aggregate Crushing Value Test (ACV)</i>	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)

3.6.4. Pembuatan Benda Uji

Berikut langkah-langkah pembuatan benda uji pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Siapkan seluruh bahan untuk benda uji seperti agregat kasar, agregat halus, *filler*, *crumb rubber*, dan minyak jelantah.
2. Siapkan semua alat yang diperlukan untuk pembuatan benda uji di laboratorium.
3. Timbang agregat dan *filler* sesuai dengan persentase campuran yang telah ditentukan untuk setiap benda uji.
4. Masukkan agregat dan *filler* yang telah ditimbang ke dalam oven pada suhu antara 105°C hingga 110°C selama minimal 4 jam untuk menghilangkan kandungan air dan mencapai berat kering, kemudian keluarkan dari oven dan biarkan hingga beratnya stabil.
5. Campurkan *crumb rubber* dan minyak jelantah sesuai dengan persentase yang telah dihitung.
6. Panaskan atau masak agregat didalam wajan hingga mencapai suhu sekitar $\pm 150^{\circ}\text{C}$.
7. Tambahkan *crumb rubber* yang telah dicampur dengan minyak jelantah ke dalam agregat yang telah dipanaskan sambil terus

diaduk agar agregat menyatu dengan bahan pengikat secara merata pada suhu sekitar $\pm 250^{\circ}\text{C}$.

8. Siapkan cetakan benda uji (*mold*) di atas alas cetakan, lalu tahan dengan pegangan cetakan. Selanjutnya, tambahkan kertas penyaring atau kertas penyerap di dasar cetakan atau di atas alas cetakan.
9. Masukkan seluruh bahan yang sudah dicampur ke dalam cetakan benda uji, serta meratakannya dengan cara ditusuk-tusuk menggunakan spatula sebanyak 15 kali di sekeliling tepi dan 10 kali ditengahnya.
10. Kemudian lakukan pemadatan menggunakan alat penumbuk dengan 2 x 75 kali tumbukan di setiap sisi (atas dan bawah) benda uji.
11. Setelah pemadatan, keluarkan benda uji dari cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji (*ejector*) dan beri tanda pada setiap sampel. Biarkan selama sekitar 24 jam pada suhu ruangan.
12. Mengukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong yang presisinya 0,1 mm di tiga sisi benda uji.
13. Timbang benda uji dengan timbangan ketelitian hingga 0,1 gram untuk mengetahui berat keringnya.
14. Rendam benda uji dalam wadah berisi air selama 30 menit untuk mengukur kadar penyerapan air. Kemudian, timbang benda uji saat berada di dalam air untuk mendapatkan berat jenuh.
15. Keringkan permukaan luar benda uji dengan kain lap, selanjutnya timbang benda uji untuk mendapatkan berat kering pada permukaan yang jenuh atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

3.6.5. Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan ketahanan (Stabilitas) terhadap deformasi (*Flow*) pada campuran perkerasan, sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Pengujian ini akan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Rendam benda uji dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C dalam waktu sekitar ± 30 menit.
2. Bersihkan bagian dalam permukaan kepala penekan alat *Marshall* dan tambahkan pelumas agar benda uji dapat dilepas dengan mudah setelah pengujian.
3. Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman, meletakkan benda uji dalam cincin, pasang *flow* meter, dan tempatkan kembali ke mesin tekan *Marshall*.
4. Menaikkan mesin penekan hingga menyentuh alas cincin penguji. kemudian atur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.
5. Memberikan pembebanan dengan kecepatan konstan sebesar 2 inch (51 mm) per menit. Membaca nilai stabilitas saat jarum stabilitas berhenti dan mulai berputar menurun, yang merupakan nilai stabilitas *Marshall*. Secara bersamaan, catat juga nilai kelelahan (*flow*) pada arloji.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap karakteristik campuran perkerasan tipe *Binder Course* (BC) dengan menggunakan *crumb rubber* yang dicampurkan dengan minyak jelantah sebagai bahan pengikat, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji *Marshall*, penggunaan serbuk karet ban bekas sebagai bahan pengikat sangat berpengaruh terhadap nilai stabilitas, dimana nilai stabilitas cenderung menurun seiring bertambahnya kadar *crumb rubber* dalam campuran.
2. Berdasarkan hasil penelitian seluruh parameter *Marshall* yang meliputi nilai stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh kadar *crumb rubber* optimum sebesar 12,5%. Pada kadar tersebut, seluruh persyaratan spesifikasi Bina Marga untuk campuran *Binder Course* dapat terpenuhi, yaitu dengan nilai stabilitas sebesar 1055 kg, untuk nilai *flow* sebesar 3,2 mm dan nilai *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 334 kg/mm.
3. Penggunaan serbuk karet ban bekas sebagai bahan pengikat memengaruhi volume rongga dalam campuran secara signifikan. Dari hasil penelitian, nilai VIM yang diperoleh belum memenuhi standar spesifikasi Bina Marga, yang mengindikasikan bahwa campuran cenderung terlalu berongga, nilai VIM pada campuran ini terlalu tinggi.

5.2. Saran

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

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan variasi kadar *crumb rubber* yang lebih spesifik di sekitar kadar optimum, untuk mendapatkan nilai kadar optimum yang lebih tepat dan akurat.
2. Mengingat proses pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan tanpa adanya variasi pada parameter suhu, waktu, dan metode pencampuran, maka disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk melakukan kajian mendalam mengenai variasi faktor-faktor tersebut. Hal ini untuk mengevaluasi pengaruh spesifik masing-masing variabel terhadap tingkat homogenitas campuran, meminimalkan deviasi hasil antar benda uji, serta menentukan kondisi pencampuran yang paling efektif dan optimal.
3. Disarankan untuk melakukan pengujian tambahan seperti uji kelelahan (*fatigue test*), uji ketahanan terhadap air (*immersion test*), dan uji durabilitas jangka panjang untuk mengetahui performa campuran dalam kondisi lapangan.
4. Disarankan untuk meninjau variasi ukuran serta gradasi partikel *crumb rubber*, karena ini berdampak pada distribusi dan interaksi dalam campuran.
5. Dalam penelitian ini, serbuk karet dikombinasikan dengan minyak jelantah sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji penggunaan bahan tambah lain sebagai bahan campuran serbuk karet, sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap karakteristik campuran serta diperoleh alternatif bahan yang berpotensi memberikan kinerja yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1997). AASHTO T 245: Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 5.
- Afriyannoor, A., Ridzeki, F., & Purnamasari, E. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Karet Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Lapisan Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Ditinjau Dari Nilai Marshall. *Jurnal Penelitian Teknik*, 1(1), 25–48.
- Aminsyah, M. (2010). Pengaruh Kepipihan Dan Kelonjongan Agregat Terhadap Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 6(1), 23–36. <https://doi.org/10.25077/jrs.6.1.23-36.2010>
- Aula, F., Miswar, M., & Ibrahim, I. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah Ban Bekas Terhadap Parameter Marshall Beton Aspal AC-BC. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 7(02).
- Dotulung, V., Lalamentik, L. G. J., & Palenewen, S. C. N. (2023). Analisis Variasi Gradasi Agregat Gabungan Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas Pada Lapis Aspal Beton (AC-WC). *TEKNO*, 21(85), 1153–1161.
- Gilang Maulana, R., & Arrofif, Z. (n.d.). Meningkatkan Karakteristik Marshall dengan Menambah Serbuk Ban Bekas ke Dalam Campuran Laston AC-WC (Vol. 04).
- Gunawan, R., & Partiw, A. P. (2023). Tambah Limbah Karet Ban Sebagai Bahan Campuran Perkerasan Jalan AC-BC (Asphalt Concret-Binder Course) Terhadap Nilai Marshall di PT. Pebana Adi Sarana. *Statika: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 39–43.
- Harsono, B. (n.d.). Bab 4 Perkerasan Jalan Raya. *Konstruksi jalan raya*, 43.
- Hermanus, G., Kaseke, O. H., & Jansen, F. (2015). Hot Asphalt Mixture Between Thin Coated Asphalt Concrete-Wear Coated (Hrs-Wc) Graded Lag and Those Graded Semi Slit. *Jurnal Sipil Statik*, 3(4), 228–234.

- Husaini, A., Fahrezi, D. D., Arbavella, M. A., & Sadewa, N. P. (2023). Analisis Ekspor Komoditi Karet di Indonesia Terhadap Perdagangan Internasional 2016-2020. *Jurnal Economina*, 2(2), 439–445.
- KEMENPUPR, D. J. B. M. (2018). Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2).
- Mulyadi, R., & Hidayat, M. (2019). Pengaruh Penggunaan Crumb Rubber Dengan Material Palu Dan Filler Batu Laterit Terhadap Nilai Karakteristik Marshall Pada Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). *Jurnal Inersia*, 11(1), 52–61.
- Nanang Hermawan, E. iskak I. (2023). Penelitian Pemanfaatan Limbah Perkerasan Aspal (Reclaimed Asphalt) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course). *X(X)*, 1–10.
- Putri, L. R., Widiastuti, M., & Alkas, M. J. (2022). Pengaruh Penggunaan Crumb Rubber Dengan Material Senoni dan Filler Batu Senoni Terhadap Nilai Karakteristik Marshall Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 6(1), 21–29.
- Putri, V. A., Diana, I. W., & Putra, S. (2016). Identifikasi Jenis Kerusakan Pada Perkerasan Lentur (Studi Kasus Jalan Soekarno-Hatta Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 197–204.
- Suryono, J., Karminto, K., & Arifan, A. (2019). Pengaruh Crumb Rubber Dengan Material Lokal Serta Filler Batu Laterit Terhadap Nilai Marshall Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). *Seminar Nasional Rekayasa Tropis 2024*, 2(1), 39–50.