

**DISERTASI**

**ANALISIS PERFORMA LAPIS PERMUKAAN PERKERASAN  
LENTUR DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH  
KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik.  
Bidang Ilmu Teknik Sipil



**IKA SULIANTI  
NIM. 03013682025012**

**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK  
PROGRAM DOKTOR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS PERFORMA LAPIS PERMUKAAN PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU

#### LAPORAN DISERTASI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik,  
Bidang Ilmu Teknik Sipil

Diusulkan oleh

**Ika Sulianti**

**NIM : 03013682025012**

Telah disetujui

Pada tanggal Desember 2024

Promotor :



**Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.**  
NIP. 196706151995121002

Ko – Promotor :



**Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.**  
NIP. 197311032008121003

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Ir. Bhakal Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.**  
NIP. 197502112003121002

Koordinator Program Studi



**Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.**  
NIP. 195903211987031001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi Ika Sulianti yang berjudul "ANALISIS PERFORMA LAPIS PERMUKAAN PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU" telah dipertahankan di hadapan sidang ujian tertutup Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Desember 2024.

Palembang, Desember 2024

Ditandatangani oleh Tim Penguji,

Ketua Tim Penguji :

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T. ., M.T., IPM

NIP. 197502112003121002

(  )

Anggota Tim Penguji :

1. Prof. Ir. Wimpy Santosa, Ph.D, IPU

(  )

2. Dr. Ir. Rosidawani, S.T. ., M.T.

NIP. 197605092000122001

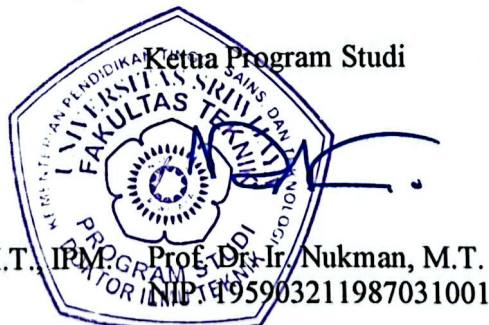
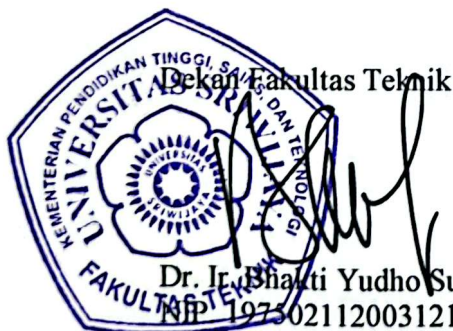
(  )

3. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.

NIP. 195903211987031001

(  )

Mengetahui,



## Pernyataan Orisinalitas/Pernyataan Plagiarisme

Nama : Ika Sulianti  
NIM : 03013682025012  
Judul : Analisis Performa Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Dengan  
Pemanfaatan Limbah Konstruksi Perkerasan Kaku

Dengan ini saya menyatakan keaslian disertasi ini. Disertasi ini dibimbing oleh seorang promotor dan satu Ko-Promotor dan tidak melibatkan plagiarisme. Jika ditemukan adanya plagiarisme dalam disertasi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik apapun sesuai dengan regulasi yang telah ditetapkan Universitas Sriwijaya atas konsekuensinya.

Palembang, Desember 2024



Ika Sulianti  
NIM. 03013682025012



**ANALISIS PERFORMA LAPIS PERMUKAAN  
PERKERASAN LENTUR DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH  
KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU**

Ika Sulianti<sup>1</sup>, Joni Arliansyah<sup>2</sup>, Edi Kadarsa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

\*email : ikasulianti74@gmail.com

**Abstrak**

Limbah adalah benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah beton adalah material beton dari hasil penghancuran beton struktur yang sudah tidak terpakai lagi yang diambil dari pembangunan konstruksi atau renovasi gedung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis Perkerasan Lentur pada campuran dengan menggunakan material limbah beton perkerasan kaku sebagai pengganti agregat dibandingkan dengan campuran standar. Metode penelitian yang dilakukan berupa pengujian di laboratorium yaitu terdiri atas pengujian secara empiris seperti pengujian marshall, pengujian marshall immersion, pengujian cantabro, modulus resilien campuran dan pengujian *fatigue* campuran beraspal. Material yang digunakan sebagai bahan modifikasi aspal yaitu limbah perkerasan kaku berupa bongkahan yang didapatkan dari jalan Tol di Sumatera Selatan. Bongkahan tersebut dipecahkan menjadi ukuran agregat yang lebih kecil. Limbah perkerasan kaku digunakan untuk lapisan AC-BC dan AC-WC. Untuk jenis campuran beraspal panas menggunakan gradasi AC-BC dan AC-WC yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Berdasarkan hasil pengujian Marshall menunjukkan peningkatan stabilitas campuran pada variasi campuran AC-BC dan AC-WC dengan penggunaan agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat. Pengujian *Marshall Immersion* menghasilkan nilai ketahanan terhadap air yang cukup baik, dengan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang memenuhi standar minimum sebesar 90% untuk berbagai komposisi, meskipun ada sedikit penurunan dibandingkan agregat alami. Pengujian Cantabro menunjukkan bahwa penggunaan agregat limbah perkerasan kaku memenuhi spesifikasi dengan nilai kehilangan partikel (Cantabro Loss) di bawah 20%, mengindikasikan ketahanan campuran terhadap abrasi dan beban lalu lintas yang baik. Nilai modulus resilien dari variasi campuran agregat limbah perkerasan kaku meningkat pada suhu pengujian 25°C hingga 45°C, menunjukkan performa yang lebih baik dalam menahan deformasi berulang dibandingkan dengan campuran standar. Pengujian *fatigue* menunjukkan bahwa variasi campuran AC-BC dan AC-WC dengan RCA memiliki tingkat ketahanan yang mendekati atau bahkan lebih baik dalam beberapa komposisi dibandingkan campuran kontrol. Berdasarkan hasil pengujian dapat dibentuk persamaan modulus resilien dengan metode Nottingham yaitu  $Smix\ Nottingham\ 1984 = 0,9955 \times Smix\ UTM30$  dan dengan metode Shell dapat dibentuk persamaan yaitu  $Smix\ Shell\ 2003 = 1,0152 \times Smix\ UTM30$ . Untuk persamaan ketahanan (*fatigue*) dapat dibentuk dengan metode Shell yaitu  $Nf\ model\ Shell = 0,8535\ Nf\ Hasil\ Uji$  dan dengan metode Asphalt Institute yaitu  $Nf\ Model\ Asphalt\ Institute = 0,8992\ Nf\ Hasil\ Uji$ .

**Kata Kunci :** Limbah Beton, Limbah Perkerasan kaku, AC-BC, AC-WC, Marshall, Marshall Immersion, Cantabro, Modulus Resilien, Fatigue

Palembang, Desember 2024  
Mengetahui,

Promotor,



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

Koordinator Program Studi  
Ilmu Teknik Program Studi



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Disertasi ini sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan. Dalam penyusunan Laporan Disertasi ini penulis mengambil judul **Analisis Performa Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Dengan Pemanfaatan Limbah Konstruksi Perkerasan Kaku**.

Judul penelitian disertasi ini diambil karena bertujuan untuk mendukung program keberlanjutan dalam pengelolaan limbah konstruksi, khususnya pemanfaatan material sisa dari perkerasan kaku (perkerasan kaku) dalam pembuatan lapisan perkerasan lentur jalan. Material hasil pembongkaran ini, setelah melalui proses daur ulang, dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beraspal panas. Penggunaan limbah konstruksi dari perkerasan kaku tidak hanya berkontribusi dalam mengurangi limbah konstruksi, tetapi juga meningkatkan stabilitas dan daya tahan lapisan perkerasan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pemanfaatan material daur ulang ini terbukti mampu meningkatkan performa seperti modulus resilien dan ketahanan *fatigue*. Dengan demikian, penggunaan limbah perkerasan kaku dapat menjadi alternatif yang baik dalam konstruksi jalan untuk mendukung keberlanjutan lingkungan.

Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih dan Syukur kepada :

1. Rektor Universitas Sriwijaya Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si yang telah memberikan dukungan selama masa studi.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T selaku Promotor yang banyak memberikan arahan, ide, gagasan, bimbingan, semangat, dukungan dan doa selama Penulis menempuh studi doktoral ini.
3. Bapak Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T. selaku Ko-Promotor yang telah memberikan arahan, ide, gagasan, bimbingan, semangat, dukungan dan doa

selama Penulis menempuh studi doktoral ini.

4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T.,M.T.,IPM yang telah memberikan dukungan selama masa studi.
5. Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya yaitu Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. atas arahan dan support selama Penulis menempuh studi ini.
6. Wakil Dekan III Bapak Dr. David Bahrin, S,T., M.T atas support yang diberikan kepada penulis.
7. Bapak Ibu Dosen Penguji Sidang Disertasi dan Seminar Proposal atas kesediaan, waktu, ilmu dan saran yang bermanfaat untuk Laporan Disertasi ini.
8. Staf Administrasi Program Studi S3 Ilmu Teknik Unuversitas Sriwijaya, Mbak Yuni dan Mas Aang yang banyak membantu dalam proses adminstrasi di Prodi.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu selama penyelesaian Laporan Disertasi ini. Teriring rasa Terimakasih yang Tak Terhingga, semoga semua kebaikan yang diberikan dibalas Allah SWT dengan pahala yang berlipat ganda dan menjadi amal jariah Bapak/Ibu/Sdr/i. Aamiin Yaa Robbal Aalamiin.

Penulis menyadari bahwa dalam Laporan Disertasi ini masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Besar harapan penulis semoga Laporan Disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Akhir kata saya mengucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum wr. wb

Palembang, Desember 2024

Penulis

## **RINGKASAN**

**ANALISIS PERFORMA LAPIS PERMUKAAN PERKERASAAN LENTUR  
DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH KONSTRUKSI PERKERASAN KAKU**

**DISERTASI**

Ika Sulianti, dibimbing oleh Promotor: Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah,  
M.T dan Ko-Promotor: Dr. Edi Kadarsa, S.T, M.T.

xxiii + 197 halaman, 62 Tabel, dan 57 Gambar

Pertumbuhan sumber daya manusia yang semakin meningkat memengaruhi kemajuan dalam pembangunan yang menuntut adanya penambahan infrastruktur. Penambahan infrastruktur tersebut tidak hanya memberikan dampak positif tetapi juga memberikan dampak negatif. Salah satu proyek konstruksi yang semakin meningkat adalah fasilitas jalan raya dengan perkerasan yang banyak digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Pekerjaan perkerasan jalan selalu mengalami peningkatan kualitas dan kuantitas. Kondisi jalan yang kurang baik salah satunya diakibatkan arus lalu lintas yang semakin padat dan adanya lubang – lubang di sekitar permukaan. Kerusakan jalan pada perkerasan kaku menghasilkan material sisa konstruksi yang berupa kayu, pipa, batu bata, ataupun beton yang berasal dari suatu pembangunan maupun proses renovasi suatu infrastruktur. Suatu material termasuk dalam golongan material sisa konstruksi apabila material konstruksi tersebut sudah tidak dapat digunakan lagi sesuai dengan fungsinya semula. Material sisa konstruksi yang berpotensi menjadi bahan alternatif sebagai agregat pengganti dalam perkerasan jalan adalah limbah beton yang berdampak buruk bagi lingkungan, seperti mengurangi kesuburan tanah, merusak keseimbangan ekosistem, dan mengurangi keindahan kota. Limbah adalah benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah beton sisa konstruksi adalah material dengan proporsi paling besar dari total material sisa konstruksi. Guna untuk mengurangi limbah beton, bahan yang akan digunakan untuk mengganti agregat baru pada penelitian ini yaitu limbah beton konstruksi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi material sisa konstruksi adalah dengan memanfaatkannya menjadi bahan alternatif dalam pekerjaan perkerasan jalan raya tanpa mengurangi kekuatan dari perkerasan jalan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkerasan lentur pada campuran dengan menggunakan material limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat dibandingkan dengan campuran standar. Metode penelitian yang dilakukan berupa pengujian di laboratorium yaitu terdiri atas pengujian secara empiris



seperti pengujian marshall, pengujian marshall immersion, pengujian cantabro, modulus resilien campuran dan pengujian *fatigue* campuran beraspal. Material yang digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar yaitu agregat limbah perkerasan kaku berupa bongkahan yang didapatkan dari jalan Tol di Sumatera Selatan. Bongkahan tersebut dipecahkan menjadi ukuran agregat yang lebih kecil. Limbah perkerasan kaku digunakan untuk lapisan AC-BC dan AC-WC. Komposisi yang digunakan adalah AC-BC Normal, AC-BC 45AL:55AA, AC-BC 50AL:50AA, AC-BC 55AL:45AA, AC-WC Normal, AC-WC 45AL:55AA, AC-WC 50AL:50AA, AC-WC 55AL:45AA. Untuk jenis campuran beraspal panas menggunakan gradasi AC-BC dan AC-WC yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah perkerasan kaku sebagai bahan pengganti agregat mampu meningkatkan nilai stabilitas pada campuran beraspal. Hasil pengujian Marshall menunjukkan peningkatan stabilitas campuran pada variasi campuran AC-BC dan AC-WC dengan penggunaan limbah beton daur ulang sebagai pengganti agregat. Pengujian *Marshall Immersion* menghasilkan nilai ketahanan terhadap air yang cukup baik, dengan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang memenuhi standar minimum sebesar 90% untuk berbagai komposisi, meskipun ada sedikit penurunan dibandingkan agregat alami. Pengujian Cantabro menunjukkan bahwa penggunaan limbah perkerasan kaku memenuhi spesifikasi dengan nilai kehilangan partikel (*Cantabro Loss*) di bawah 20%, mengindikasikan ketahanan campuran terhadap abrasi dan beban lalu lintas yang baik. Nilai modulus resilien dari variasi campuran limbah perkerasan kaku meningkat pada suhu pengujian 25°C hingga 45°C, menunjukkan performa yang lebih baik dalam menahan deformasi berulang dibandingkan dengan campuran standar. Pengujian ketahanan *fatigue* menunjukkan bahwa variasi campuran AC-BC dan AC-WC dengan limbah perkerasan kaku memiliki tingkat ketahanan yang mendekati atau bahkan lebih baik dalam beberapa komposisi dibandingkan campuran kontrol. Berdasarkan hasil pengujian dapat dibentuk persamaan modulus resilien dengan metode Nottingham yaitu  $S_{mix\ Nottingham\ 1984} = 0,9955 \times S_{mix\ UTM30}$  dan dengan metode Shell dapat dibentuk persamaan yaitu  $S_{mix\ Shell\ 2003} = 1,0152 \times S_{mix\ UTM30}$ . Untuk persamaan ketahanan (*fatigue*) dapat dibentuk dengan metode Shell yaitu  $N_f\ model\ Shell = 0,8535 \times N_f\ Hasil\ Uji$  dan dengan metode Asphalt Institute yaitu  $N_f\ Model\ Asphalt\ Institute = 0,8992 \times N_f\ Hasil\ Uji$ .

**Keywords:** Limbah Beton, Agregat Limbah Perkerasan Kaku, AC-BC, AC-WC, Marshall, Marshall Immersion, Cantabro, Modulus Resilien, *Fatigue*

Referensi: 72

## DAFTAR ISI

DISERTASI .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DISERTASI .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERSETUJUAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Pernyataan Orisinalitas/Pernyataan Plagiarisme .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrak.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	iii
RINGKASAN .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR RUMUS .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Manfaat Penelitian .....	9
1.5 Batasan Penelitian .....	9
1.6 Hipotesis Penelitian.....	12
1.7 Keaslian dan Kebaruan Penelitian.....	23
1.8 Sistematika Penulisan.....	29

BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Perkerasan Jalan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.1 Jenis Konstruksi Perkerasan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.2 Stuktur Perkerasan Lentur.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.3 Agregat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.4 Jenis Agregat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.5 Sifat Agregat Sebagai Material Perkerasan Jalan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Aspal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1 Jenis aspal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3 Pemeriksaan Aspal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 Bahan Pengisi ( <i>filler</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Lapisan Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 Lapisan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8 <i>Construction and Demolition (C&amp;D)</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.9 Material C & D : RCA, CB, RAP, WR dan FRG.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.10 Limbah Beton.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.11 Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> ).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.13 Pengujian Pavement Advanced.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Umum .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.2 Tahap Persiapan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Material yang digunakan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Lokasi Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Persiapan Material.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6 Pengujian Material .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7 Pembuatan <i>Job Mix Formula</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Standard.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8.1 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Marshall	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8.2 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Cantabro	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.8.3 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Marshall Immersion .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.9 Analisis Data dan Pembahasan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.10 Pembuatan Sampel dan Pengujian Lanjutan	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.11 Analisis Data Lanjutan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.12 Menarik Kesimpulan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.13. Pola Pikir Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.14 Diagram Alir Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.15 Diagram Alir Penelitian Tahap I.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.16 Diagram Alir Penelitian Tahap II.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.17 Diagram Alir Penelitian Tahap III .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

- 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Agregat Alam dengan Limbah Material Konstruksi Perkerasan kaku....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.3 Gradasi Agregat Gabungan.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.5 Hasil Pengujian Marshall Campuran Usulan dengan Gradasi AC-BC  
**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Usulan dengan Gradasi AC-BC.....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.5.2 Hasil Pengujian Marshall dengan KAO Campuran Usulan dengan Gradasi AC-BC .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.5.3 Hasil Pengujian Marshall Immersion pada Sampel KAO Campuran Usulan dengan Gradasi AC-BC .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.6 Hasil Pengujian Marshall Campuran Usulan dengan Gradasi AC-WC  
**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.6.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Usulan dengan Gradasi AC-WC .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.6.2 Hasil Pengujian Marshall dengan KAO Campuran Usulan dengan Gradasi AC-WC .....**Error! Bookmark not defined.**
  - 4.6.3 Hasil Pengujian Marshall Immersion pada Sampel KAO Campuran Usulan dengan Gradasi AC-WC .....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.7 Hasil Pengujian Cantabro Loss.....**Error! Bookmark not defined.**
- 4.8 Analisis Pengujian Marshall, Marshall Immersion, Cantabro Loss. **Error! Bookmark not defined.**
- 4.9 Kesimpulan .....**Error! Bookmark not defined.**



BAB V MODULUS RESILIEN MODULUS RESILIEN CAMPURAN BERASPAL DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH RIGID PAVEMENT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1 Umum .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Hasil Pengujian Modulus Resilien Sampel AC-BC yang Menggunakan Variasi Material Perkerasan kaku.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.3 Hasil Pengujian Modulus Resilien AC-WC yang Menggunakan Variasi Material Perkerasan kaku .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.4 Pembahasan Hasil Pengujian Modulus Resilien yang Menggunakan Variasi Material Perkerasan kaku.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.5 Analisis Prediksi Nilai Modulus Resilien Dengan Perhitungan Teoritis .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.6 Pengembangan Pengembangan Model Modulus Resilien Campuran Metode Nottingham (1984) terhadap Hasil Penelitian	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.7 Pengembangan Model Modulus Resilien Campuran Metode Shell (2003) terhadap Hasil Penelitian.....	167
5.8 Kesimpulan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VI KETAHANAN <i>FATIGUE</i> CAMPURAN BERASPAL MENGGUNAKAN LIMBAH PERKERASAN KAKU	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.1 Hasil Pengujian <i>Fatigue</i> Sampel Campuran AC-BC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.2 Hasil Pengujian <i>Fatigue</i> Sampel Campuran AC-WC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

6.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian <i>Fatigue</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.4 Pengembangan Model Toeritis Ketahanan <i>Fatigue</i> Shell.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.5 Pengembangan Model Toeritis Ketahanan <i>Fatigue Asphalt Institute</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.6 Kesimpulan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.1 Kesimpulan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.2 Saran	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR PUSTAKA .....	30

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil Penelusuran (track) Penelitian Limbah Beton.....	15
Tabel 1. 2 Posisi Penelitian .....	22
Tabel 1. 3 Persamaan dan perbedaan usulan penelitian dengan peneliti sebelumnya .....	25

Tabel 2. 1 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Tabel 2. 2 Karakteristik Agregat Beton Daur Ulang	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 1 Ketentuan Agregat Kasar	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 2 Ketentuan Agregat Halus .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 3 Ketentuan Untuk Aspal Keras.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 4 Komposisi campuran agregat untuk lapis AC-BC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Tabel 3. 5 Tingkat Kekentalan Aspal Untuk Aspal Padat dan Aspal Cair.....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Tabel 3. 6 Benda Uji Marshall pada Setiap Kadar Aspal Untuk Lapisan AC-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 7 Benda Uji Marshall pada Setiap Kadar Aspal Untuk Lapisan AC-WC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 8 Jumlah Benda Uji Marshall untuk Sampel Kadar Aspal Optimum (KAO) Untuk Lapisan AC-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 9 Jumlah Benda Uji Marshall untuk Sampel Kadar Aspal Optimum (KAO) Untuk Lapisan AC-WC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 10 Jumlah Benda Uji pada Pengujian Cantabro untuk Lapisan AC-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.11 Jumlah Benda Uji pada Pengujian Cantabro untuk Lapisan AC-WC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 12 Benda Uji pada Pengujian Marshall Immersion untuk Lapisan AC BC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 13 Benda Uji pada Pengujian Marshall Immersion untuk Lapisan AC WC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.14 Benda Uji pada Pengujian Lanjutan Modulus Resilien Lapisan AC BC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.15 Uji pada Pengujian Lanjutan Modulus Resilien Lapisan AC WC. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Tabel 3.16 Benda Uji pada Pengujian Lanjutan *Fatigue* Lapisan AC BC..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.17 Benda Uji pada Pengujian Lanjutan *Fatigue* Lapisan AC WC.... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat..**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Agregat Alam Dengan Agregat Limbah Perkerasan kaku.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Nilai Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 untuk Lapis *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC)...**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Nilai Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 untuk Lapis *Asphalt Concrete - Wearing Concrete* (AC-WC)**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana Sampel Kontrol .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana Sampel .. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana Sampel .. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana Sampel .. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Marshall Sampel KAO Dengan Gradasi AC-BC .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Marshall Immersion Untuk Sampel Gradasi AC-BC .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Marshall Dengan Kadar Aspal Rencana Sampel Kontrol Gradasi AC-WC.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana ..... **Error! Bookmark not defined.**

- Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana Sampel **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Rencana ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 16 Pengujian Marshall Untuk Sampel KAO Dengan Gradasi AC-WC .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Marshall Immersion Untuk Sampel Gradasi AC-WC .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Cantabro Loss Untuk Campuran Usulan Yang Menggunakan Gradasi AC-BC.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Cantabro Loss Untuk Campuran Usulan Yang Menggunakan Gradasi AC-WC.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 1 . Hasil pengujian modulus resilien sampel AC-BC**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 2 Hasil pengujian modulus resilien sampel AC-WC**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 3 Perbandingan nilai gradien garis antara modulus resilien dengan suhu .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 4 Nilai Rasio Modulus Resilien Hasil pengujian Alat UMATTA dengan Perhitungan Teoritis Metode Nottingham**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 5 Nilai Rasio Modulus Resilien Hasil pengujian Alat UMATTA dengan Perhitungan Teoritis Metode Shell.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 6 Perbandingan rasio model teoritis Nottingham (1984) dengan hasil laboratorium .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 7 Nilai uji T-Test Nottingham.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 8 Perbandingan rasio model teoritis Shell (2003)**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. 9 Nilai uji T-Test Shell.....**Error! Bookmark not defined.**



- Tabel 6. 1 Hasil pengujian *fatigue* sampel kontrol campuran AC-BC ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 2 Hasil pengujian *fatigue* sampel campuran AC BC 45AL-55AA .. **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 3 Hasil pengujian *fatigue* sampel campuran AC BC 50AL-50AA .. **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 4 Hasil pengujian *fatigue* sampel campuran AC BC 55AL-45AA .. **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 5 Hasil pengujian *fatigue* sampel normal campuran AC WC ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 6 Hasil Pengujian *fatigue* sampel campuran AC-WC 45AL-55AA **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 7 Hasil pengujian *fatigue* sampel campuran AC-WC 50AL-50AA. **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 8 Hasil pengujian *fatigue* sampel campuran AC WC 55AL-45AA. **Error!**  
**Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 9 Perbandingan Umur *Fatigue* Hasil Pengujian Laboratorium dengan  
Hasil Perhitungan Teoritis Shell.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 10 Nilai uji T-Test Shell Terkalibrasi *Fatigue***Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 11 Perbandingan Umur *Fatigue* Hasil Pengujian Laboratorium dengan  
Hasil Perhitungan Teoritis Asphalt Institute**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 6. 12 Nilai uji T-Test Shell Terkalibrasi *Fatigue***Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Susunan Perkerasan Jalan.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 2 Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran (Sumber : Perkerasan lentur Jalan Raya, 2003) .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 3 Jenis Gradasi Agregat.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 4 Alat Uji Marshall.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 5 Mesin Los Angeles.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 6 Regangan Setelah Diberikan Beban Berulang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 7 Nomogram untuk memprediksi Smix (Shell, 2003) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 8 Alat Uji *Fatigue* Four Point Loading Test ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 1 Pembagian Zona Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 2 Lokasi Pengambilan Sampel Jalan Tol Pematang Panggang–Kayu Agung.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 3 Lokasi tempat pengambilan sampel ..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 4 Sampel Bongkahan Rigid Pavement yang akan digunakan ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 5 Proses memasukkan material ke dalam bucket pemecah ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 6 Proses pemecahan bongkahan rigid pavement **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 7 Proses material menuju bucket.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 8 Agregat ukuran 1/2 yang sudah dipecahkan.... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 9 Agregat ukuran 1/1 yang sudah dipecahkan.... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 10 Agregat kasar hasil pemecahan bongkahan rigid pavement ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 11 Pola Pikir Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 12 Diagram Alir Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 13 Diagram Alir Penelitian Tahap I.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 14 Diagram Alir Penelitian Tahap II....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 15 Diagram Alir Penelitian Tahap III...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 1 Pengujian Karakteristik Agregat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Lapis <i>Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 3 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Lapis <i>Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 4 Pengujian Karakteristik Aspal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 5 Proses Pembuatan Sampel.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 6 Sampel Pengujian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 7 Pengujian Marshall.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 8 Penentuan kadar aspal optimum (KAO) sampel Kontrol.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 9 Penentuan kadar aspal optimum (KAO) sampel M-45AL-55AA-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 10 Penentuan kadar aspal optimum (KAO) sampel M-50AL-50AA-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 11 Penentuan kadar aspal optimum (KAO) sampel M-55AL-45AA-BC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 12 Hasil sampel KAO campuran usulan dengan gradasi AC-BC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 13 Penentuan KAO sampel kontrol gradasi AC-WC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 14 Penentuan KAO sampel M-45AL-55AA-WC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 15 Penentuan KAO sampel M-50AL-50AA-WC	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Gambar 4. 16 Penentuan KAO sampel M-55AL-45AA-WC **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 17 Pengujian Cantabro ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 1 Alat pengujian modulus resilien..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 2 Sampel Modulus Resilient ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 3 Pengujian Modulus Resilient..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 4 Grafik perbandingan hasil pengujian modulus resilien untuk variasi material perkerasan kaku pada sampel AC-BC **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 5 Pengaruh penggunaan material perkerasan kaku pada sampel AC-BC terhadap perubahan suhu..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 6 Grafik perbandingan hasil pengujian modulus resilien untuk variasi material perkerasan kaku pada sampel AC-WC **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 7 Pengaruh penggunaan material perkerasan kaku pada sampel AC-WC terhadap perubahan suhu..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 8 Perbandingan hasil modulus resilien untuk seluruh sampel..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 9 Pengaruh penggunaan material perkerasan kaku terhadap perubahan suhu untuk semua sampel usulan..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 10 Posisi dan hubungan linierity nilai Smix hasil UTM dengan model Nottingham pada campuran beraspal AC-BC **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 11 Posisi dan hubungan linierity nilai Smix hasil UTM dengan model Nottingham pada campuran beraspal AC-WC. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 12 Posisi dan hubungan linierity nilai Smix hasil UTM dengan model Shell pada campuran beraspal AC-BC. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 13 Posisi dan hubungan linierity nilai Smix hasil UTM dengan model Shell pada campuran beraspal AC-WC.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 14 Penyesuaian hasil laboratorium dengan model Nottingham (1984) .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5. 15 Penyesuaian hasil laboratorium dengan model Shell (2003) .. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6. 1 Dynamic Testing Systems .....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6. 2 Pengujian *Fatigue* .....**Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Persen Lolos Saringan .....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.2 VFWA.....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.3 VMA .....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.4 VIM.....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.5 Berat Jenis Maksimum Teoritis .....**Error! Bookmark not defined.**



Rumus 2.6	<i>Marshall Quotient</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.7	<i>Indeks Of Retained Strenght</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.8	<i>Cantabro Abrasion Loss</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.9	Penetration index .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.10	Kemiringan kurva log penetration .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.11	Modulus kekakuan bitumen (Sbit).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.12	Waktu Pembebanan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.13	Waktu Pembebanan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.14	Recovered penetration index.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.15	Modulus kekakuan campuran (Smix) Nottingham .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>Bookmark not defined.</b>	
Rumus 2.16	Nilai n .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.17	Konsentrasi volume agregat.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.18	Modulus kekakuan campuran (Smix) Shell.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>defined.</b>	
Rumus 2.19	Nilai n .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.20	Modifikasi nilai Cv .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.21	Hubungan nilai Cb dan Cv.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.22	Nilai Cb.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.23	Modulus kekakuan campuran (Smix) Bonnaure untuk $5 \times 10^6 \text{ Pa} < S_{bit} < 10^9 \text{ Pa}$ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.24	Modulus kekakuan campuran (Smix) Bonnaure untuk $10^9 \text{ Pa} < S_{bit} < 3 \times 10^9 \text{ Pa}$ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.25	Nilai Sw .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.26	Nilai Sz .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.27	Nilai Sw .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.28	Nilai Sz .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Rumus 2.29	Hubungan linear antara umur <i>fatigue</i> dan tegangan	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>not defined.</b>	

Rumus 2.30 Hubungan linear antara umur *fatigue* dan regangan..... **Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.31 Nilai *fatigue* Shell tes stress konstan .**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.32 Nilai *fatigue* Shell tes regangan konstan..... **Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.33 Nilai *fatigue* Asphalt Institute.....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 2.34 Nilai M.....**Error! Bookmark not defined.**

Rumus 3.1 Cantabro Loss .....**Error! Bookmark not defined.**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan sumber daya manusia yang semakin meningkat memengaruhi kemajuan dalam pembangunan yang menuntut adanya penambahan infrastruktur. Peningkatan infrastruktur tersebut memberikan efek positif maupun negatif. Menurut Yahya, K. & Boussabaine, AH (2004) menjelaskan bahwa produksi limbah selama masa konstruksi menyebabkan dampak besar bagi wilayah sekitar, dan industri konstruksi merupakan satu di antara penyebab polusi di lingkungan. Menurut perkiraan Bossink dan Brouwer (1996), 15 hingga 30% pembuangan limbah ke tempat pembuangan akhir (*landfill*) berasal dari limbah konstruksi, baik rekonstruksi baru maupun bangunan lama. Kibert (2000) mengungkapkan bahwa hasil limbah yang diproduksi pada saat konstruksi berlangsung dan pembongkarannya mencakup sekitar sepertiga dari volume bahan di tempat pembuangan sampah (*landfill*). Menurut Kamyar Kabirifar, dkk (2019), limbah pembongkaran bangunan yang merupakan konsekuensi dari urbanisasi yang cepat di dunia semakin meningkat. Menurut Maria Menegaki, dkk (2018), China menghasilkan 1130 juta ton limbah pembongkaran bangunan pada tahun 2014 dan berada di peringkat pertama di seluruh dunia, United states dengan jumlah limbah pembongkaran sebesar 534 juta ton, Germany dengan jumlah 86 juta ton limbah, France sebesar 65 juta ton, United Kingdom sebesar 58 juta ton, Italy sebesar 39 juta ton limbah, Netherlands sebesar 22 juta ton limbah, Australia sebesar 20,4 juta ton limbah dan terakhir ada Hongkong dengan jumlah limbah pembongkaran sebesar 20 juta ton limbah.

Limbah pembongkaran bangunan telah dikategorikan sebagai salah satu isu besar di bidang industri konstruksi dan berdampak langsung terhadap lingkungan serta efisiensi industri konstruksi. Keseluruhan limbah ini diperkirakan sekitar 35% di pembuangan akhir. Salah satu proyek konstruksi yang semakin meningkat adalah fasilitas transportasi darat dengan perkerasan yang umumnya digunakan di

Indonesia adalah perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Jalan raya berperan penting dalam mendukung keberlangsungan transportasi darat dan perkembangan suatu daerah. Oleh sebab itu, diperlukan perkerasan jalan yang layak agar lalu lintas dapat beroperasi dengan baik. Penambahan prasarana jalan, perencanaan yang tepat, serta pemeliharaan rutin sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitas jalan demi kenyamanan pengguna.

Lapisan konstruksi yang didesain dengan karakteristik tertentu, seperti ketebalan, kekuatan, untuk memastikan beban lalu lintas dapat disalurkan ke tanah dasar dengan aman. Lapisan ini berfungsi untuk mendukung transportasi, serta diharapkan tetap beroperasi tanpa kerusakan signifikan selama masa penggunaannya. Sukirman (1992) mengklasifikasikan perkerasan jalan menjadi beberapa tipe berdasarkan material pengikatnya, yaitu perkerasan lentur perkerasan kaku dan perkerasan komposit.

Pekerjaan perkerasan jalan selalu mengalami peningkatan kualitas dan kuantitas. Kondisi jalan yang kurang baik salah satunya diakibatkan arus lalu lintas yang semakin padat dan adanya lubang – lubang di sekitar permukaan. Peningkatan jumlah kendaraan yang pesat sangat berpengaruh terhadap kepadatan lalu lintas, baik di jalan dalam kota maupun jalan luar kota. Kepadatan arus lalu lintas dapat diatasi dengan cara menanggulangi kualitas tanah *subgrade* yang idealnya dilakukan di konstruksi perkerasan kaku (Hadijah dkk, 2017). Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBMM) hingga akhir 2021 menyebutkan bahwa jumlah fasilitas jalan raya nasional yang mengalami kerusakan sekitar 3.848,2 km dan akan terus bertambah pada tahun 2022, saat dilakukan perbaikan jalan terdapat limbah yang akan dihasilkan salah satunya limbah beton untuk perkerasan kaku. Perkerasan jalan mengandung 90-95% agregat, namun penggunaan agregat dalam jumlah besar secara terus-menerus dapat menimbulkan dampak lingkungan di sekitar daerah penambangan, selain itu bahan ini juga harus tersedia dalam jumlah yang besar. Peningkatan terhadap bahan dapat dilakukan dengan pemanfaatan limbah bangunan yaitu pemanfaatan sisa material yang tidak terpakai.

Perkerasan berperan melindungi tanah dasar (*subgrade*) dan lapisan-lapisan pembentuknya dari tegangan dan regangan berlebih dampak beban kendaraan. Perkerasan juga harus menyediakan lapisan dengan tingkat kekesatan tertentu, memiliki jangka ketahanan yang lama, dan membutuhkan perawatan seminimal mungkin. Konstruksi jalan terdiri dari beberapa lapisan material yang disusun pada bagian substruktur. Lapisan-lapisan ini menggunakan berbagai jenis bahan granuler yang menjadi komponen penting dalam mendukung kapasitas struktural, terutama pada jenis perkerasan lentur.

Pada perkerasan lentur, konstruksi perkerasan terdiri dari campuran antara aspal dan agregat. Aspal berperan selaku adhesi dan pengisi, sementara agregat berfungsi sebagai tulangan atau struktur perkerasan. Campuran tersebut ada yang bervariasi, tergantung pada gradasi agregat dan jenis campurannya. Jenis campuran aspal dan agregat yang sering digunakan disebut lapis beton aspal (*Laston*) dan lapis tipis beton aspal (*Lataston*). Lapisan perkerasan ruas jalan yang dirancang untuk menahan muatan kendaraan berat adalah lapis beton aspal (*Laston*) atau (*Asphalt Concrete*). *Laston* terdiri dari campuran agregat dan adhesi (aspal) yang dihasilkan dengan pemanasan, kemudian dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Sedangkan *Lataston* merupakan campuran aspal padat dengan gradasi terputus, yang berperan dalam lapisan permukaan pada jalan dengan beban lalu lintas ringan. Lapisan ini ditempatkan di atas permukaan perkerasan yang telah direkonstruksi atau dipersiapkan sebelumnya. Campuran *lataston* memuat agregat dengan gradasi timpang, filler, dan aspal keras dengan komposisi pas, yang dihamparkan dan dikompresi dalam kondisi panas. Bahan penyusun yang baik diletakkan di bagian atas, sementara mutu bahan semakin berkurang menuju bagian bawah. Penyebabnya adalah tegangan yang diterima roda lalu lintas yang disebarkan ke bawah dan semakin mengecil. Perkerasan akan memiliki hasil optimal jika perancangan dan pemilihan bahan dilakukan dengan tepat.

Perkerasan lainnya yang lazim digunakan adalah perkerasan kaku, umumnya dibangun untuk jalan dengan lalu lintas berat dan volume tinggi. Perkerasan ini menawarkan kekuatan yang baik dan memerlukan pemeliharaan yang lebih sedikit

dibandingkan dengan perkerasan lentur. Perkerasan kaku menggunakan campuran semen dan agregat yang dirancang dengan proporsi yang tepat, kemudian diletakkan dan dipadatkan di atas lapisan pondasi (*base course*). Perkerasan kaku dapat mengalami kerusakan jalan sebelum umur rencana yang terjadi dikarenakan *overload* dan peralihan iklim. Kerusakan jalan tersebut dapat menghasilkan limbah beton. Kerusakan jalan sebelum umur rencana yang terjadi dikarenakan adanya hal diatas dapat menghasilkan limbah beton dikarenakan kerusakan jalan tersebut. Kerusakan dini yang terjadi pada ruas ruas jalan di berbagai daerah dapat disebabkan oleh mutu komponen perkerasan yang kurang baik dalam pelaksanaan pekerjaan, iklim, kondisi tanah dasar, dan penyaluran muatan yang dilewati ruas jalan (Saodang H, 2009). Iklim tropis di Indonesia disebabkan oleh suhu udara dan curah hujan yang tinggi juga menjadi penyebab kerusakan jalan (Sukirman, 1991). Kerusakan konstruksi perkerasan jalan yang sering terjadi sebelum umur layanan selesai antara lain disebabkan karna kondisi transportasi berupa peningkatan beban kendaraan, air yang berasal dari air hujan dan sistem drainase yang kurang baik, sistem pengelolaan material yang tidak optimal, iklim tropis di Indonesia dengan suhu udara dan curah hujan yang umumnya tinggi, kondisi tanah yang tidak stabil, serta proses pemadatan lapisan tanah dasar yang tidak memadai dan proses pemadatan jalan (Mulyono, 2010). Akibat yang ditimbulkan dari pembangunan ini adalah meningkatnya jumlah material sisa.

Pada proyek konstruksi munculnya sisa material konstruksi tentunya tidak dapat dihindari. Sisa material ini diartikan sebagai kelebihan hasil dari pekerjaan atau material konstruksi yang terbuang atau rusak, dan tidak dapat lagi digunakan sesuai dengan fungsinya (Ilingworth, 1998). Sisa material konstruksi terjadi dipicu oleh beberapa faktor antara lain desain, pengadaan material, penanganan material, pelaksanaan dan lainnya (Gavila, 1994; Bernold, 1994). Sisa material ini berpengaruh terhadap bertambahnya kuantitas dari sampah dan pembuangan akhir yang sangat terbatas.

Pengamatan terhadap jalan perkerasan kaku di Indonesia menunjukkan adanya banyak kerusakan, seperti retakan dan penurunan pada pelat beton, yang sangat

membahayakan keselamatan lalu lintas. Masalah ini tidak hanya menyebabkan lonjakan signifikan dalam biaya pemeliharaan, tetapi juga menghambat kelancaran arus lalu lintas.

Kerusakan pada jalan dengan perkerasan kaku menghasilkan material sisa konstruksi atau material sisa, yang mencakup bahan-bahan seperti kayu, pipa, batu bata, atau beton. Material sisa ini berasal dari proses pembangunan maupun renovasi infrastruktur. Limbah material konstruksi berupa *construction* dan *demolition* dihasilkan dalam setiap proyek pembangunan maupun pembongkaran. *Demolition waste* merupakan sisa-sisa yang timbul dari pembongkaran atau penghancuran bangunan-bangunan lama. Komponen ini antara lain kayu, beton, logam, batubata, atap, dinding, bahan kemasan, plastik, kardus dan lainnya (Tang,1998; Larsen,2004; H.H. Lau,2007). Suatu material dikategorikan sebagai *demolition material construction* jika material konstruksi tersebut sudah tidak dapat digunakan lagi sesuai dengan fungsi aslinya. Salah satu jenis *demolition material construction* yang berpotensi menjadi bahan alternatif sebagai agregat pengganti dalam perkerasan jalan adalah limbah beton. Limbah beton dapat memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti penurunan kesuburan tanah, kerusakan keseimbangan ekosistem, dan memengaruhi keindahan kota.

Limbah beton sisa konstruksi adalah material dengan proporsi paling besar dari total material sisa konstruksi. Untuk mengurangi limbah beton, bahan yang akan digunakan sebagai pengganti agregat baru dalam penelitian ini adalah limbah beton konstruksi. Salah satu cara untuk mengurangi material sisa konstruksi adalah dengan memanfaatkan limbah beton sebagai bahan alternatif dalam pekerjaan perkerasan jalan raya, tanpa mengurangi kekuatan perkerasan tersebut. Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat akan berdampak pada berkurangnya permintaan terhadap agregat baru, sehingga dapat mengurangi volume penambangan batu dan pasir yang dilakukan (Dewi, 2018).

Penggunaan limbah dan bahan daur ulang dari sisa beton pada perkerasan jalan tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan, namun juga mendaur ulang dan mengolah limbah padat industri dan limbah kota. Selain itu, hal ini juga

berkontribusi pada pengurangan penggunaan material alam yang jumlahnya semakin terbatas. Penggunaan paling umum agregat daur ulang pada perkerasan kaku yang paling sederhana dan ekonomis didapat dengan mensubsitusikan maksimum besaran agregat daur ulang terhadap campuran beton semen dengan agregat alami, karakteristik kinerja beton yang mengeras tidak terpengaruh secara signifikan (Muscalu dkk, 2011). Digunakannya limbah beton konstruksi dapat untuk didaur ulang. Limbah beton yang dapat digunakan menjadi *Recycled Aggregate Concrete (RAC)*. *Recycled Aggregate Concrete (RAC)* dapat digunakan sebagai pengganti untuk agregat alam pada perkerasan lentur, tetapi untuk kinerja yang optimal, tingkat penggantian 40% direkomendasikan.

Karakteristik fisik dari agregat beton daur ulang dengan mengembangkan teknologi daur ulang agregat beton menggunakan sample laboratorium mutu  $fc' 50$  dengan kadar aspal 7% memiliki kualitas terbaik diantara variasi mutu beton  $fc' 42$ ,  $fc' 47$ , dan  $fc' 50$  yang diuji memiliki nilai parameter Marshall yang mendekati pengujian Marshall dengan agregat batu alam. (Sulianti, 2020). Pengujian stabilitas Marshall dengan memanfaatkan limbah konstruksi, pembongkaran dan agregat daur ulang juga digunakan pada lapisan *Dense Bituminous Macadam (DBM)* perkerasan lentur yang dapat mengendalikan pencemaran lingkungan (Biswal et al, 2021). Kebutuhan untuk mengembangkan teknologi daur ulang yang memanfaatkan limbah sisa lainnya sebagai bahan pengganti agregat alami sangat penting, terutama terkait dengan upaya perlindungan lingkungan dan pemanfaatan material limbah, Salah satu contohnya adalah pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal panas dengan proporsi mencapai 75%. Penggunaan limbah kaca dalam campuran menghasilkan nilai *Void in the Mix (VIM)* dan *Void in the Mineral Aggregate (VMA)* yang lebih rendah, sementara nilai *Void Filled Bitumen (VFB)* meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki ikatan yang lebih kuat dan sifat saling mengunci yang lebih baik. Akibatnya, rongga yang terbentuk menjadi lebih kecil dan lapisan aspal yang terbentuk menjadi lebih tebal. (Ratna Yuniarti et al, 2019). Campuran laston yang menggunakan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar, dengan kadar



limbah batu marmer antara 5% hingga 35%, berpengaruh terhadap kualitas campuran dan karakteristik Marshall, dengan kandungan limbah batu marmer yang optimal sebesar 17,5%, campuran ini menghasilkan kualitas yang sangat baik, dengan nilai stabilitas mencapai 1050 kg, koefisien Marshall sebesar 2,5 kN/mm, volume rongga udara sebesar 4,5%, dan ketebalan lapisan sebesar 8,8 mm. Campuran ini dapat digunakan untuk berbagai jenis campuran aspal, seperti Latasir, Lataston, ATB, serta campuran lainnya. (Amal et al, 2015).

Uji campuran dilaksanakan untuk mengukur ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dengan melakukan pengujian Modulus Resilien (MR). Uji campuran ini adalah pengujian lanjutan yang dilakukan pada perkerasan lentur, di mana beban roda bergerak maju dan mundur melintasi objek yang sedang diuji. Hubungan antara deformasi dengan waktu akibat beban yang diberikan secara berulang pada benda uji dalam suhu tertentu dari gradasi campuran limbah beton tersebut. Modulus Resilien (MR) digunakan untuk menganalisis deformasi permanen pada perkerasan akibat beban kendaraan, sebagai simulasi kondisi lapangan. Pengujian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan model beban roda yang bergerak maju-mundur melintasi sampel uji. Deformasi permanen pada campuran aspal adalah kerusakan yang terjadi akibat temperatur tinggi pada perkerasan setelah diberikan beban. Pembebanan yang berulang (*cyclic*) akan mengakibatkan kerusakan/kegagalan material yaitu *fatigue*. *Fatigue* adalah kerusakan yang terjadi pada suatu material akibat tegangan yang bersifat siklik atau berulang, di mana intensitas tegangan tersebut lebih rendah daripada tegangan tarik atau tegangan luluh yang dialami material saat diberikan pembebanan secara konstan. Proses perpatahan akibat *fatigue* biasanya dimulai dari area permukaan material yang lemah, kemudian merambat ke bagian dalam hingga akhirnya menyebabkan material tersebut patah.

Pemanfaatan material limbah konstruksi perkerasan kaku pada lapisan permukaan perkerasan lentur ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi permasalahan lingkungan dan menjadi alternatif dalam perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan. Penelitian material sisa konstruksi perkerasan

kaku diharapkan agar dapat meminimalkan penggunaan agregat alam yang keberadaannya semakin berkurang dan dapat mengendalikan pencemaran lingkungan. Pengujian lanjutan yang dilakukan pada lapisan permukaan perkerasan lentur adalah hal yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian dengan judul “**Analisis Performa Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Dengan Pemanfaatan Limbah Konstruksi Perkerasan Kaku**”

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengolahan limbah perkerasan kaku agar dapat digunakan pada perkerasan lentur?
2. Apakah karakteristik agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 ?
3. Bagaimana kinerja parameter *Marshall*, *Marshall Immersion* dan *Cantabro* pada campuran dengan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat?
4. Bagaimana kadar aspal optimum yang didapat dari campuran beraspal menggunakan agregat limbah perkerasan kaku ?
5. Bagaimana performa perkerasan lentur pada campuran terhadap Modulus Resilien dan *fatigue* dengan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat dibandingkan dengan campuran standard?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengolahan limbah perkerasan kaku agar dapat digunakan pada perkerasan lentur.
2. Untuk menganalisis karakteristik agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat apakah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
3. Untuk menganalisis kinerja parameter *Marshall* pada campuran dengan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat.

4. Untuk menganalisis kadar aspal optimum yang didapat dari campuran beraspal menggunakan agregat limbah perkerasan kaku.
5. Untuk menganalisis perkerasan lentur pada campuran terhadap Modulus Resilien (MR) dan *fatigue* dengan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku sebagai pengganti agregat dibandingkan dengan campuran standar.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi meminimalkan penggunaan agregat alam yang dapat mengendalikan pencemaran lingkungan.
2. Memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan Teknik Sipil khususnya tentang pemanfaatan agregat limbah perkerasan kaku yang dapat digunakan pada perkerasan lentur.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, batasan batasan penelitian ini difokuskan pada :

1. Komposisi campuran beraspal digunakan untuk lapisan *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC)
2. Material yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, aspal dan material limbah beton perkerasan kaku.
3. Gradasi yang digunakan adalah gradasi menerus.
4. Aspal yang digunakan dengan Aspal Penetrasi 60/70
5. Campuran beraspal untuk lalu lintas berat.
6. Spesifikasi yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
7. Bongkahan limbah perkerasan kaku yang digunakan berasal dari Km 277 Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung.
8. Bongkahan limbah perkerasan kaku yang digunakan dengan mutu awal saat penghampanan rigid adalah  $f_s$  4,5 MPa.

9. Bongkahan limbah perkerasan kaku dipecahkan di *stone crusher* dan dilakukan pengolahan sehingga menjadi agregat limbah.
10. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian standar yang terdiri dari *Marshall Test*, *Marshall Immersion*, *Cantabro* dan pengujian lanjutan yang terdiri dari Modulus Resilien (MR) dan *Fatigue*.



Gambar 1.1 Permasalahan Penelitian

## 1.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang dijadikan dasar dalam penyusunan penelitian ini adalah :

1. Agregat limbah perkerasan kaku dapat digunakan pada lapisan perkerasan lentur pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC).
2. Campuran aspal dengan agregat limbah perkerasan kaku diharapkan dapat meningkatkan nilai karakteristik Marshall, Marshall Immersion dan Cantabro.
3. Penggunaan campuran aspal dengan agregat limbah perkerasan kaku diharapkan dapat digunakan dan meningkatkan nilai Modulus Resilien (MR) dan *Fatigue* pada lapisan perkerasan lentur *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC).

## 1.7 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai campuran perkerasan lentur yang diusulkan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku belum dilakukan oleh peneliti terdahulu. Berdasarkan hasil studi literatur, penggunaan limbah beton telah dilakukan, namun belum ada penelitian yang menggunakan agregat limbah perkerasan kaku secara spesifik yang berasal dari jalan tol dengan mutu beton fs 4,5. Posisi penelitian merupakan hasil literatur review yang bersumber pada jurnal internasional terindeks scopus maupun jurnal nasional terindeks sinta.

Berikut secara ringkas penelitian limbah beton yang dilakukan peneliti terdahulu :

1. Rakesh Kumar, et al (2017) menggunakan agregat beton daur ulang yang berasal dari pabrik daur ulang komersil, digunakan pada perkerasan kaku, perbandingan faktor air semen yaitu 0,44 dan 0,38. Hasil penelitian bahwa limbah beton yang digunakan mengurangi ketahanan abrasi.
2. Jianmin Ma, et al (2019) *Recycled Concrete Aggregate (RCA)* diolah dengan sisa minyak goreng bekas (WCOR), komposisi yang digunakan

- 40% RCA, 40% RCW, 20% pasir. Penggunaan RCA dan WCOR dapat mengurangi konsumsi aspal.
3. Naufal Imannurrohman, et al (2020) menggunakan limbah beton dari *batching plant* untuk lapisan AC-WC, variasi yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar 0%,10%,15%, dan 20%. Nilai karakteristik marshal optimum terdapat pada kadar limbah 15%.
  4. Heri Wahyudiono, et al (2020) menggunakan limbah beton berasal dari laboratorium yang digunakan pada lapisan AC-WC. Nilai stabilitas terbaik terdapat pada aspal 7%.
  5. Ika Sulianti (2020) menggunakan limbah beton sampel laboratorium dengan mutu  $fc' 42$ ,  $fc' 47$  dan  $fc' 50$ . Limbah beton  $fc' 50$  dengan kadar 7% memiliki stabilitas sebesar 1969,4 kg.
  6. Ahmad Maulana, et al (2020) menggunakan limbah beton hasil pengujian praktik, pada lapisan AC-WC, kadar limbah beton yaitu 0%, 50% dan 100% dengan kadar limbah terbaik 50%.
  7. Chidozie, et al (2020) menggunakan kombinasi granit dan RCA yang berasal dari balok beton laboratorium 60 Mpa. Hasilnya kinerja campuran aspal lebih optimal untuk mengganti RCA sebesar 40%.
  8. Peter Mikhailenko, et al (2020) menggunakan RCA dengan fraksi 2/4 mm, 0.125/2 mm dalam campuran Semi-Dense Asphalt. Pada penelitian ini di rekomendasikan penggantian filler hasil RCA.
  9. Subhhrata Biswal, et al (2021) menggunakan limbah konstruksi, pembongkaran konstruksi tanggul, subbase, dan pondasi untuk jalan. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 5,5%
  10. Ram Vilas Meena, et al (2021), menggunakan limbah Recycled Concrete Aggregate (RCA), Recycled Asphalt Pavement (RAP) dan Waste Foundry Sand (WFS) untuk perkerasan kaku dengan hasil bahwa jalan perkerasan kaku membutuhkan kuat tekan kurang dari 30 kN/mm<sup>2</sup>
  11. Mirka Pataras, et al (2023) menggunakan *Demolition Material Construction* yang berasal dari potongan tiang pancang. Nilai VMA

dihasilkan pada lapisan AC-BC dan AC-Base lebih besar dari campuran beton aspal agregat standar yaitu 18,627% dan 17,



Tabel 1. 1 Hasil Penelusuran (track) Penelitian Limbah Beton

NO	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Penerbit	Ringkasan Penelitian
1	<i>Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW) on abrasion resistance of pavement concrete</i>	2017	Rakesh Kumar	<i>Construction and Building Materials</i> (Scopus Q-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan pada perkerasan kaku.</li> <li>• Agregat yang digunakan adalah agregat beton daur ulang (RCA) yang berasal dari pabrik daur ulang komersil.</li> <li>• Menggunakan dua tipe campuran beton dengan dua perbandingan faktor air semen yang berbeda yaitu 0,44 dan 0,38.</li> <li>• Pengujian yang dilakukan adalah Abrasi, kuat tekan an kuat lentur beton.</li> <li>• Hasil penelitian ini adalah bahwa RCA mengurangi ketahanan abrasi secara signifikan namun dapat digunakan secara efektif dalam perkerasan beton.</li> </ul>
2	<i>Potential of Recycled Concrete Aggregate Pretreated With Waste Cooking Oil Residue for Hot Mix Asphalt.</i>	2019	Jianmin Ma, Daquan Sun, Qi Pang, Guoqiang Sun, Mingjun Hu dan Tong Lu	<i>Journal of Cleaner Production</i> (Scopus Q-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RCA diolah dengan sisa minyak goreng bekas. (WCOR)</li> <li>• Hot Mix Asphalt yang digunakan adalah penggabungan 40% RCA kasar, 40% RCW kasar (RCA pretreated with WCOR), 20% fine RCA dan 20% fine RCW dilakukan dalam hal kandungan aspal optimal.</li> <li>• Pengujian yang dilakukan kadar optimum aspal, ketahanan terhadap deformasi permanen, ketahanan terhadap retak,</li> </ul>

					<p><i>fatigue</i>, sensitivitas kelembaban dan modulus dinamis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretreatment RCA dengan WCOR terbukti merupakan pendekatan yang efektif untuk mengurangi konsumsi aspal campuran RCA, sementara itu berpotensi memanfaatkan kedua jenis limbah industri tersebut dengan baik.</li> </ul>
3	Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston <i>Asphalt Concrate – Wearing Coarse (AC-WC)</i>	2020	Naufal Imannurrohman, Sudarno, Muhammad Amin	Reviews in Civil Engineering (RiCE) v.04, n.1, p 6-15, Maret 2020 SINTA-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah beton yang digunakan dari batching plant PT. Armada Hada Graha</li> <li>• Digunakan pada lapisan AC WC</li> <li>• Variasi limbah beton digunakan sebagai pengganti agregat kasar 0%, 10%, 15%, dan 20%</li> <li>• Variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%.</li> <li>• Pengujian yang dilakukan adalah Marshall Test</li> <li>• Nilai karakteristik Marshall optimum pada campuran AC WC pada kadar limbah beton 15%, aspal pen 60/70, kadar aspal 6% dengan nilai stabilitas 1869,3 kg.</li> </ul>
4	Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Limbah Bongkaran Beton	2020	Heri Wahyudiono, Budi Winarno, Ki Catur Budi, dan Sudjati	Jurnal Teknik Vol. 12, No.1, Tahun 2020 SINTA-5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menggunakan limbah beton yang berasal dari laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri.</li> <li>• Digunakan pada lapisan AC WC</li> <li>• Pengujian yang dilakukan adalah Marshall untuk menghitung nilai stabilitas dan flow.</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil pengujiannya karakteristik nilai VMA maksimum pada aspal 6%, VIM maksimum pada aspal 6%, Nilai VFB maksimum pada aspal 6,5%, dengan nilai stabilitas pada aspal 7%, nilai flow maksimum dengan aspal pada 7,5%.</li> </ul>
5	Studi Pemanfaatan Limbah Beton Mutu Tinggi Pada Campuran <i>Asphalt Concrete Binder Course</i> (AC-BC)	2020	Ika Sulianti	Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil (Cantilever) SINTA-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah beton yang digunakan adalah sampel laboratorium mutu fc' 42, fc' 47 dan fc' 50</li> <li>• Digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran AC-BC dengan kadar aspal 5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5% dan 7%.</li> <li>• Pengujian yang dilakukan adalah Marshall test.</li> <li>• Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AC-BC terbaik pada kadar aspal 6%, dan juga untuk limbah beton mutu fc' 50 dengan kadar aspal 7% dengan stabilitas sebesar 1969,4 kg</li> </ul>
6	Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran AC-WC	2020	Ahmad Maulana, Megah Amaliah, Retno Utami	Potensi ; Jurnal Sipil Politeknik Vol. 22, No. 1, Maret 2020 SINTA-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material yang digunakan adalah agregat kasar ukuran 12,5 mm dan 9,5 mm.</li> <li>• Kadar limbah beton yang digunakan dalam campuran yaitu 0%, 50%, dan 100%.</li> <li>• Limbah beton yang digunakan adalah limbah beton hasil pengujian praktik di Politeknik Bandung.</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal AC-WC</li> <li>• Kadar limbah beton optimum yaitu pada kadar limbah</li> </ul>
7	<i>Laboratory Studi on Recycled Concrete Aggregate Based Asphalt Mixtures for Suistanable flexible pavement Surfacing</i>	2020	Chidozie Maduabuchukwu Nwakaire, Soon Poh Yap, Choon Wah Yuen, Chiu Chuen Onn, Suhana Koting dan Ali Mohammed Balbalghaith	<i>Journal of Cleaner Production</i> (Scopus Q-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian menggunakan campuran aspal 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari granit kasar serta 100% dari granit kasar dan halus diganti dengan RCA yang berasal dari balok beton laboratorium 60 Mpa.</li> <li>• Dilakukan pengujian Marshall Test, stabilitas, flow, properti volumetrik, modulus resilient, kekuatan tarik, kerentanan kelembaban, ketahanan lelah, ketahanan rutting, kekuatan tekan, ketahanan selip, dan ketahanan abrasi.</li> <li>• Campuran dengan menggunakan proporsi RCA yang berbeda memiliki kinerja lebih baik daripada campuran dengan menggunakan 100% granit.</li> <li>• Untuk mendapatkan kinerja campuran aspal yang lebih optimal maka disarankan untuk mengganti RCA sebesar 40%.</li> </ul>
8	<i>Combined Effect of Compaction Level and Matric Suction</i>	2020	Mohamed G. Arab, Majed Alzara, Waleed	<i>Construction and Building Materials</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menggunakan limbah dari kosntruksi pembongkaran bangunan.</li> </ul>

	<i>Conditions on flexible pavement Performance Using Construction and Demolition Waste</i>		Zeiada, Maher Umar dan Abdelhalim Azam	(Scopus Q-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menggunakan perangkat lunak AASHTOWare Pavement ME Design.</li> <li>• Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemadatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap rutting pada base course dan subbase course serta fatik pada surface course dibandingkan dengan nilai matrik awal</li> <li>• Penelitian ini dibatasi hanya pada satu jenis bahan limbah C&amp;D.</li> </ul>
9	<i>Incorporation of recycled concrete aggregate (RCA) fractions in semidense asphalt (SDA) pavements : Volumetrics, durability and mechanical properties</i>	2020	Peter Mikhailenko, Muhammad Rafiq Kakar, Zhengyin Piao, Moises Bueno, dan Lily Poulikakos	<i>Construction and Building Materials</i> (Scopus Q-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menggunakan oleh RCA dalam fraksi terpilih 2/4 mm (kasar) dan 0,125/2 mm (pasir) dalam campuran Semi-Dense Asphalt (SDA).</li> <li>• Pengujian yang dilakukan volumetrics, indirect tensile strength (ITS), water sensitivity, rutting (alur).</li> <li>• Pergantian filler hasil RCA direkomendasikan sebagai Tindakan pengurangan limbah yang dapat menghemat sumber daya alam.</li> </ul>
10	<i>Feasibility Study of Construction and Demolition Waste Use in DBM Layer of rigid pavement</i>	2021	Subhhrata Biswal, Jayshivthakkar, Tejas Pandya, DR. Jayesh Juremalani	<i>Ilkogretim Online – Elementary Education Online</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menggunakan limbah konstruksi, pembongkaran konstruksi tanggul, subbase dan pondasi untuk jalan.</li> <li>• Digunakan untuk lapisan Dense Bitumen Macadam.</li> </ul>

				Vol 20 (Issue 4): pp. 2175-2181	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penelitian ini menguji kekerasan agregat kasar, keausan agregat kasar, berat jenis dan penyerapan agregat, dan Marshall Test</li> <li>• Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas Marshall tertinggi pada kadar aspal 5,5%.</li> <li>• Agregat limbah konstruksi dan pembongkaran dapat</li> </ul>
11	<i>Construction and Demolition Waste as an Alternative of Perkerasan kaku Material : A Review</i>	2021	Ram Vilas Meena, Harshwardhan Singh Chouhan, Jitendra Kumar Jain dan Raj Kumar Satankar	IOP Conference Series : Earth and Environmental Science Sci. 795 012019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studi ini meninjau penelitian terdahulu yang menggunakan limbah dari kegiatan konstruksi dan pembongkaran yaitu Recycled Concrete Aggregate (RCA), Recycled Asphalt Pavement (RAP) dan Waste Foundry Sand (WFS).</li> <li>• Di India limbah pembongkaran dari beton menempati urutan pertama yaitu 40%.</li> <li>• Pengujian RCA yang dilakukan yaitu penyerapan air, kekerasan agregat dasar, keausan agregat kasar.</li> <li>• Agregat beton daur ulang dapat digunakan untuk perkerasan kaku yang menerima beban yang lebih rendah Untuk jalan perkerasan kaku yang membutuhkan kuat tekan kurang dari 30kN/mm<sup>2</sup>, secara efektif dapat menggunakan RCA.</li> <li>• Hasil pengujiannya beton berbasis RAP, WFS &amp; RCA dapat mengurangi biaya</li> </ul>

					untuk transportasi dan biaya pengangkutan jika tersedia secara lokal, RCA dan RAP menyerap sejumlah besar karbon dioksida dari lingkungan terdekat
12	<i>Use of Recycled Aggregates in Rigid Pavement Construction</i>	2023	Mirka Pataras, Yulia Hastuti, Aztri Yulia Kurnia, Arief Budiarto, Jogia Sopipot Simarmata, dan Lydia Ratna Dewi	AIP Conference Proceedings	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demolition material construction yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton yang berasal dari potongan tiang pancang.</li> <li>• Pengujian yang dilakukan adalah pengujian Marshall</li> <li>• Kadar aspal optimum berdasarkan nilai parameter agregat, aspal dan marshall dapat diketahui bahwa kadar aspal optimum yang dihasilkan dari campuran lapisan beton aspal dari agregat beton sisa lebih besar dibandingkan dengan kadar optimum yang dihasilkan dari campuran standar.</li> <li>• Nilai VMA yang dihasilkan pada beton sisa agregat beton aspal campuran pada lapisan AC-BC dan AC-Base lebih besar dari campuran beton aspal agregat standar yaitu 18,627% dan 17,75% namun pada lapisan AC-WC nilai VMA lebih besar pada campuran standar dibandingkan dengan agregat beton sisa.</li> </ul>

Tabel 1. 2 Posisi Penelitian

Asal Limbah	Pendekatan Penelitian				
	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Immersion</i>	Uji Cantabro	Ketahanan Terhadap Alur Modulus Resilien (MR)	Ketahanan ( <i>Fatigue</i> )
Sampel Laboratorium	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Maulana A. dkk (2020)  Ansori A.B. (2017)  Nwakaire C.M. dkk (2020)  Wahyudiono H. dkk (2020)  Sulianti I (2020) </div>				
Recycled Coarse Aggregate (RCA)	↓				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Mikhailenko P. dkk (2020)  Ma Jianmin. dkk (2019) </div>
Bongkaran Bangunan	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Hernaini S.R. dkk (2016)  Suwastika P.M.W (2019) </div>	←			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Arab M.G. dkk (2020) </div>
Batching Plant	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Imannurrahman N. dkk (2020) </div>				
Tiang Pancang	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> Pantaras M. dkk (2022) </div>				
Perkerasan Kaku Jalan Tol	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <b>POSISI PENELITIAN:</b>  (Ika Sulianti)  Analisis Performa Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Dengan Pemanfaatan Limbah Konstruksi Perkerasan Kaku </div>				



## 1.7 Keaslian dan Kebaruan Penelitian

Perkembangan kota yang sangat meningkat saat ini menjadikan banyak infrastruktur salah satunya adalah pembangunan jalan raya. Perkerasan lentur dan perkerasan kaku merupakan jenis perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia. Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dapat membuat pengguna nyaman dalam perjalanannya dikarenakan dapat langsung berfungsi tanpa harus menunggu lama dengan pelaksanaan pembangunan yang tidak begitu sulit. Kurang tahannya terhadap beban berat menyebabkan umur perkerasan lentur yang relatif pendek. Penggunaan jalan *rigid* memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah kerusakan yang ditandai dengan retakan dan penurunan pelat beton, yang dapat membahayakan keselamatan lalu lintas ataupun kerusakan jalan sebelum umur rencana yang terjadi dikarenakan adanya beban yang berlebih (*overload*).

Pemanfaatan limbah dan bahan daur ulang dari sisa beton dalam perkerasan jalan tidak hanya berperan dalam mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga mendukung upaya daur ulang dan pengelolaan limbah padat, baik dari sektor industri maupun limbah perkotaan. Selain itu, hal ini berkontribusi pada pengurangan penggunaan material alam yang semakin terbatas. Penelitian penelitian terdahulu dilakukan dengan memanfaatkan limbah seperti sampel beton pengujian laboratorium dan limbah balok beton laboratorium dan digunakan pada satu lapisan tertentu saja. Belum dilakukan pemanfaatan terhadap material beton sisa konstruksi perkerasan kaku yang peruntukannya sudah digunakan di jalan tol dan dilalui langsung oleh beban kendaraan pada beberapa lapisan permukaan perkerasan lentur yaitu *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC). Dikarenakan belum adanya penelitian yang menggunakan material ini maka belum diketahui karakteristik pengujian standard dan pengujian lanjutan yang akan dibahas pada penelitian ini.

Berdasarkan hal hal diatas, kebaruan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

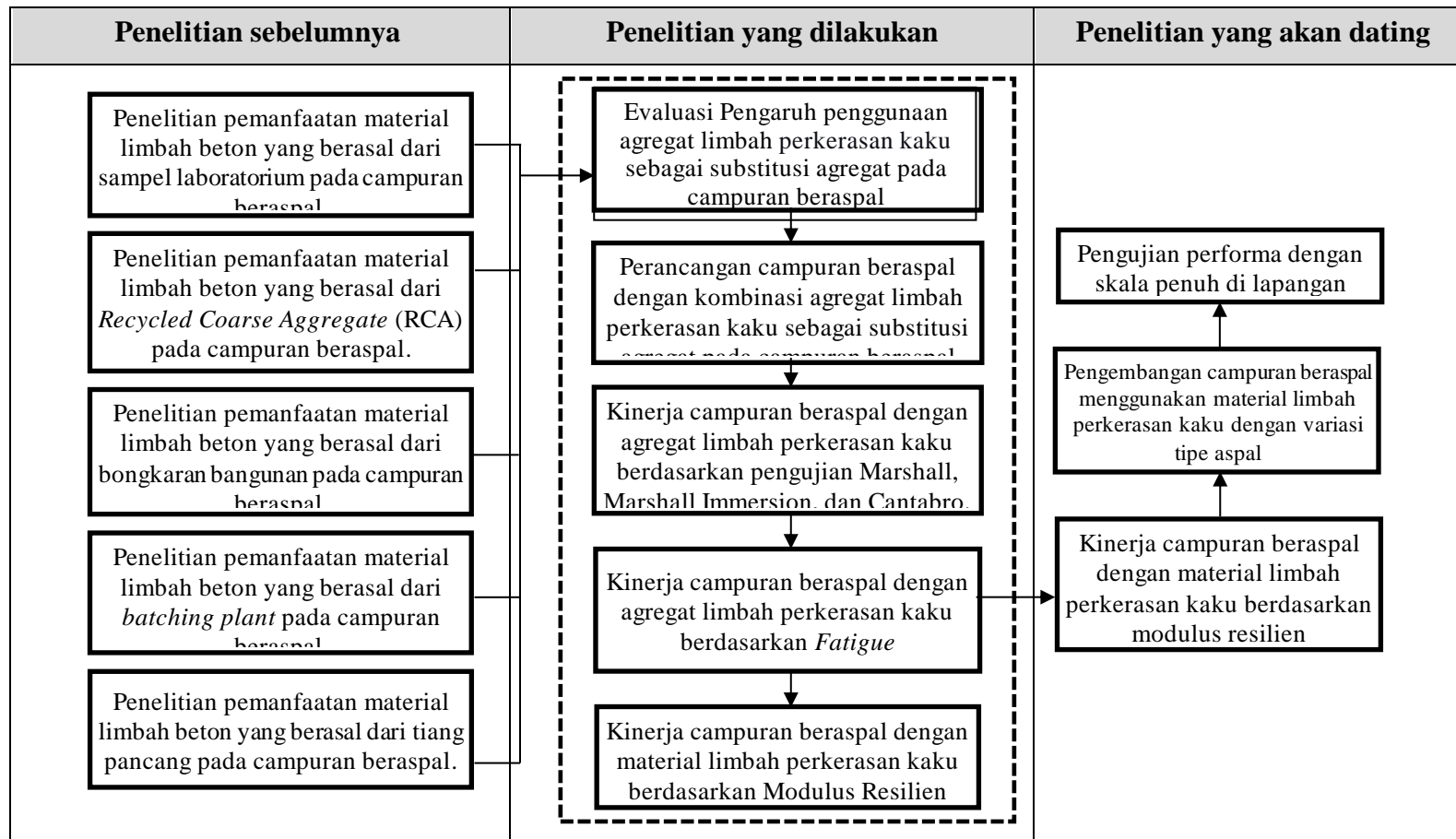
1. Objek material yang digunakan adalah pemanfaatan agregat limbah perkerasan kaku yang selama ini belum secara spesifik dijelaskan digunakan untuk diolah dan dianalisis karakteristiknya agar dapat digunakan pada lapisan perkerasan lentur.
2. Penelitian ini menggunakan agregat limbah perkerasan kaku yang berasal dari Km 277 Jalan Tol Pematang Panggang Kayu Agung dengan mutu fs 4,5 MPa.
3. Penggunaan material limbah beton pada penelitian terdahulu difokuskan pada satu lapisan perkerasan tertentu.
4. Pengaplikasian agregat limbah perkerasan kaku pada penelitian ini dilakukan pada dua lapisan perkerasan lentur yaitu *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC).
5. Dalam penelitian ini melakukan pengujian lanjutan pada lapisan permukaan perkerasan lentur yaitu *Asphalt Concrete Binder Course* (AC BC) dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC) yang sebelumnya untuk penelitian sejenis belum dilakukan, hal ini bertujuan untuk mengetahui Modulus Resilien (MR) dan *Fatigue* menggunakan pemanfaatan agregat limbah perkerasan kaku.

Tabel 1. 3 Persamaan dan perbedaan usulan penelitian dengan peneliti sebelumnya

Uraian	Penelitian yang dilakukan (Limbah beton Perkerasan kaku dari jalan tol)	Naufal Imannurrohman, et al (2020) (Limbah Beton dari Batching Plant)	Heri Wahyudiono, et al (2020) (Limbah Beton dari Sampel Laboratorium)	Ika Sulianti (2020) (Limbah Beton Sampel Laboratorium)	Ahmad Maulana, et al (2020) (Limbah Beton Hasil Pengujian Praktik)	Mirka Patara, et al (2020) (Limbah Beton dari Tiang Pancang K450)
<b>Judul</b>	Analisis Performa Lapis Permukaan Perkerasan Lentur Dengan Pemanfaatan Limbah Konstruksi Perkerasan Kaku	Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Limbah Bongkaran Beton	Studi Pemanfaatan Limbah Beton Mutu Tinggi Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC)	Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran AC-WC	<i>Use of Recycled Aggregates in Perkerasan kaku Construction</i>
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton dari jalan tol fs 4.5</li> <li>• Split/batu pecah sebagai agregat kasar</li> <li>• Pasir sebagai agregat halus</li> <li>• Abu batu dan semen sebagai filler</li> <li>• Aspal Pen 60/70</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton dari Batching plant</li> <li>• Split</li> <li>• Pasir</li> <li>• Aspal Pen 60/70</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton dari laboratorium</li> <li>• Split</li> <li>• Pasir</li> <li>• Aspal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton sampel laboratorium</li> <li>• Split</li> <li>• Pasir</li> <li>• Aspal Pen 60/70</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton hasil pengujian praktik</li> <li>• Split</li> <li>• Pasir</li> <li>• Aspal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton dari potongan tiang pancang</li> <li>• Split</li> <li>• Pasir</li> <li>• Abu batu</li> <li>• Aspal Pen 60/70</li> </ul>

Uraian	Penelitian yang dilakukan (Limbah beton Perkerasan kaku dari jalan tol)	Naufal Imannurrohman, et al (2020) (Limbah Beton dari Batching Plant)	Heri Wahyudiono, et al (2020) (Limbah Beton dari Sampel Laboratorium)	Ika Sulianti (2020) (Limbah Beton Sampel Laboratorium)	Ahmad Maulana, et al (2020) (Limbah Beton Hasil Pengujian Praktik)	Mirka Pataras, et al (2020) (Limbah Beton dari Tiang Pancang K450)
<b>Metode Pengujian</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall Test</li> <li>• Marshall Immersion</li> <li>• Cantabro loss</li> <li>• Modulus Resilient</li> <li>• <i>Fatigue</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall Test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marshall</li> </ul>
<b>Komposisi Bahan dan Campuran</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Persentase Agregat Limbah perkerasan kaku terhadap agregat alam sebesar 45%, 50%, dan 55%</li> <li>• Variasi kadar aspal 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variasi Limbah beton sebagai pengganti agregat kasar 0%, 10%, 15%, dan 20%</li> <li>• Variasi kadar aspal 5%, 5.5%, 6%, 6.5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah beton dari sampel laboratorium</li> <li>• Kadar aspal 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah beton dari sampel laboratorium mutu fc' 42, fc' 47, dan fc' 50 kadar aspal 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton Hasil Pengujian Praktik kadar limbah beton yang digunakan dalam campuran yaitu 0%, 50% dan 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limbah Beton dari Tiang Pancang K450</li> <li>• Persentase limbah beton yang digunakan 42% split, 5% screen, 44% abu batu. 7% pasir dan 2% filler</li> </ul>

Uraian	Penelitian yang dilakukan (Limbah beton Perkerasan kaku dari jalan tol)	Naufal Imannurrohman, et al (2020) (Limbah Beton dari Batching Plant)	Heri Wahyudiono, et al (2020) (Limbah Beton dari Sampel Laboratorium)	Ika Sulianti (2020) (Limbah Beton Sampel Laboratorium)	Ahmad Maulana, et al (2020) (Limbah Beton Hasil Pengujian Praktik)	Mirka Patara, et al (2020) (Limbah Beton dari Tiang Pancang K450)
<b>Penggunaan</b>	Lapisan Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC) dan Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC)	Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC), Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) dan AC- Base
<b>Hasil yang diharapkan</b>	Penggunaan limbah beton dari rigid pavement: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregat limbah perkerasan kaku dapat digunakan pada perkerasan lentur</li> <li>• Mampu meningkatkan nilai Marshall Test ,Marshall Immersion,Cantabro Loss</li> <li>• Mampu meningkatkan nilai Modulus Resilient               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampu meningkatkan <i>Fatigue</i></li> </ul> </li> </ul>	Nilai karakteristik marshall optimum pada campuran AC-WC pada kadar limbah beton 15%, aspal pen 60/70, kadar aspal 6% dengan nilai stabilitas 1869.3 kg	Hasil pengujian karakteristik marshall didapat nilai VMA maksimum pada aspal 6%, VIM maksimum pada aspal 6%, nilai VFB maksimum pada aspal 6.5% dengan nilai stabilitas pada aspal 7%, nilai flow maksimum dengan aspal pada 7.5%	Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AC-BC terbaik pada kadar aspal 6%, dan juga untuk limbah beton mutu fc' 50 dengan kadar aspal 7% dengan stabilitas sebesar 1969.4 kg	Hasil penelitian ini dengan kadar limbah 50% nilai stabilitas naik 18,34%, nilai flow turun 45,43%, nilai stabilitas sisa turun 20,75%, Kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan adalah 50%.	Nilai VMA yang dihasilkan pada beton sisa agregat beton aspal campuran pada lapisan AC-BC Dan AC-Base lebih besar dari campuran beton aspal agregat standar yaitu 18.627% dan 17.75% namun pada lapisan AC-WC nilai VMA lebih besar pada campuran standar dibandingkan dengan agregat beton sisa.



Gambar 1. 2 Road Map Penelitian

## 1.8 Sistematika Penulisan

Penelitian ini memiliki tahapan penulisan yang diuraikan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, hipotesisi penelitian, keaslian dan kebaruan penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan kajian teori yang diperoleh dari hasil telaah pustaka yang berhubungan dengan topik penelitian.

### **BAB III METODELOGI PENELITIAN**

Berisikan metode dan langkah penelitian untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan uraian hasil pengujian karakteristik fisik material, karakteristik fisik aspal dan Pengujian Marshall, Marshall Immersion dan Cantabro dengan menggunakan agregat limbah perkerasan kaku.

### **BAB V MODULUS RESILIEN CAMPURAN BERASPAL DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH PERKERASAN KAKU**

Berisikan mengenai hasil pengujian modulus resilien yang menggunakan agregat limbah perkerasan kaku.

### **BAB VI KETAHANAN *FATIGUE* CAMPURAN BERASPAL MENGGUNAKAN LIMBAH PERKERASAN KAKU**

Berisikan mengenai hasil pengujian *fatigue* yang menggunakan agregat limbah perkerasan kaku.

### **BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan uraian Kesimpulan dan saran dari hasil penelitian

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadijah, I., & Harizalsyah, M. (2017). *Perencanaan Jalan Dengan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode ANALISIS Komponen Bina Marga (Studi Kasus: Kabupaten Lampung Tengah Provinsi Lampung)*. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 6(2).
- [2] Huang, Yang. H. (2004). *Pavement Analysis and Design Second Edition*. Prentice-Hall. Inc. New Jersey.
- [3] Saodang, Hamirhan. 2009. *Konstruksi Jalan Raya*. Cetakan 1. Bandung: Nova.
- [4] Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- [5] Mulyono, Agus Taufik. 2010. *Faktor Dominan yang Mempengaruhi Kekuatan Struktural Perkerasan Jalan di Indonesia*. Jurnal Transportasi, FSTPT, Vol. 8 No. 1, hal. 1-14.
- [6] Illingworth, J.R. 1998. *Waste in the construction process*.
- [7] Ismoyo, Alif Setyo. (2014). *Evaluasi Kinerja Modulus Resilien Dan Fatigue Dari Campuran Stone Mastic Asphalt (SMA) Sebagai Wearing Course Dengan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy*. Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya. Institut Teknologi Bandung.
- [8] Gavilan, R.M., L.E Bernold. 1994. *Source Evaluation of Solid Waste In Building Construction*. Journal of Construction Engineering and Management. pp 536-552.
- [9] Tang, H. H. and Larsen, I. B. (2004), *Managing Construction Waste – A Sarawak Experience, DANIDA / Sarawak Government UEMS Project, Natural Resources and Environmental Board (NREB), Sarawak & Danish International Development Agency (DANIDA)*.
- [10] Lau, H. H., Whyte, A., & Law, P. (2008). *Composition and Characteristics of Construction Waste Generated by Residential Housing Project*.
- [11] Dewi, I. L. (2018). *Tinjauan Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton Normal dengan Substitusi Agregat Halus Berupa Bottom Ash (Doctoral dissertation, UAJY)*.
- [12] Shell Bitumen. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen. U.K.
- [13] Sulianti, Ika. *Studi Pemanfaatan Limbah Beton Mutu Tinggi Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, 9(1): 7-14.



- [14] Biswal, Subhrata *et al.* 2021. *Feasibility Study of Construction and Demolition Waste Use in DBM Layer of PERKERASAN LENTUR*. 2175-2181.
- [15] Yoder, E.J. And Witczak, M.W. (1975). *Principles of Pavement Design*, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [16] Yuniarti, Ratna *et al.* 2019. *Penggunaan Limbah Kaca Seabagai Filler pada Campuran Perkerasan Aspal Panas*. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Teknik Rekayasa Sipil*, 3(26): 265-272.
- [17] Arisha, Ali *et al.* 2016. *Using Blends of Construction & Demolition Waste Materials and Recycled Clay Masonry Brick in Pavement*. *Procedia Engineering*, 143, 1317-1324.
- [18] Ma, Jianmin *et al.* 2019. *Potential of Recycled Concrete Aggregate Pretreated With Waste Cooking Oil Residue For Hot Mix Asphalt*. 221, 469-479.
- [19] Nwakaire, Chidozie Maduabuchukwu *et al.* 2020. *Laboratory Study on Recycled Concrete Aggregate Based Asphalt Mixtures for Sustainable PERKERASAN LENTUR Surfacing*, *Journal of Cleaner Production*. 262, 121462.
- [20] Arab, Mohamed G *et al.* 2020. *Combined Effect of Compaction Level and Matric Suction Conditions on PERKERASAN LENTUR Performance Using Construction and Demolition Waste*. *Construction and Building Materials*, 261, 119792.
- [21] Meena, Ram Vilas *et al.* 2021. *Constructions and Demolition Waste as an Alternative of Perkerasan kaku Material: A Review*, *Earth and Environmental*. 795, 1315-1755.
- [22] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). T27-82. *Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. USA.
- [23] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). 1982. T104-77. *Standard Method of Test for Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. USA.
- [24] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). 2007. T49-80. *Standard Method of Test for Penetration of Bituminous Materials*. USA.
- [25] Pataras M, dkk. 2022. *The Characteristics Of Asphalt Concrete Layer PERKERASAN LENTUR Using Agregate From Waste Material Concrete Of Pile Construction*. AIP Conference Proceedings.
- [26] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). T53-81. *Titik Lembek Aspal*. USA.
- [27] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). T48-81. *Titik Nyala dan Bakar Aspal*. USA.

- [28] American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). T47-82. *Pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal*. USA.
- [29] Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M. M., & Bo, M. W. (2013). *Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials In Pavement Subbase Applications*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1077-1088.
- [30] Andhikatama, Arys. 2013. *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Gradasi Kasar*. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.
- [31] Lau, H. H., & Whyte, A. 2007. *A Construction Waste Study for Residential Projects in Miri, Sarawak*. *Proceeding of the Conference on Sustainable Building South East Asia*, 5-7 November 2007, Malaysia.
- [32] Sudarno. 2017. *Analysis Influence Of Cement Of The Asphalt Pavement Demolition Material On Roads SemarangDemak-Indonesia*. *Journal of Urban and Environmental Engineering*.
- [33] Soelarlo, dkk. 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas*. *Jurnal Fondasi*, Vol. 5 No. 2, hal 22-29. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [34] Govern, Mc. 2002. *Recycled Aggregate for reinforced concrete*. *Concrete Technology today*. PCA (Portland Cement Association), 23(2).
- [35] Arifi, E. 2015. *Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang*. *Rekayasa Sipil*, 9(3), 229–235.
- [36] Ullah, A., & Alvi, A. R. 2018. *Estimate the Compres Compressive and Flexural Strength Test of Natural and Recycle Concrete Aggregate*. *Internasional Journal of Trend in Scientific and Development (IJTSRD)*, 2(3), 1329–1332.
- [37] Suharmanto. 2008. *Studi Eksperimental Agregat Daur Ulang*. Institut Teknologi Bandung.
- [38] Suharto, I. (2011). *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Jakarta: Andi Publisher.
- [39] Soehartono. (2017). *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [40] Firmawan, F. (2022). *Karakteristik dan Komposisi Limbah (Construction Waste) pada Pembangunan Proyek Konstruksi*. *Majalah Ilmiah Sultan Agung*, 50(127), 35-44.

- [41] Bossik, B. H. Browsers (2013). *Construction Waste: Quantification and Source Evaluation*. Journal of Construction Engineering and Management, vols1-2, 55-60.
- [42] Craven, D. J., Okraglik, H. M., & Eilenberg, I. M. (1994, November). *Construction Waste and A New Design Methodology*. In Proceedings of the First Conference of CIB TG (Vol. 16, pp. 89-98).
- [43] Ferguson, J., Kermode, N., Nash, C.L., Sketch, W.A.J., Huxford, R.P. (1995). *Managing and Minimizing Construction Waste: A Practical Guide*. Institute of Civil Engineers. London.
- [44] Loosemore, M., Lingard, H., & Teo, M. (2007). *Waste Management In The Construction Industry*. In Design and Construction: Building in Value (pp. 256-275). Routledge.
- [45] Rogoff, M. J., & Williams, J. F. (2012). *Approaches to Implementing Solid Waste Recycling Facilities*. William Andrew.
- [46] Dhir, R. K., Henderson, N. A., & Limbachiya, M. C. (Eds.). (1998). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate (p. 525)*. London: Thomas Telford.
- [47] Hansen, C. L., & West, G. T. (1992). *Anaerobic Digestion of Rendering Waste In An Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digester*. Bioresource technology, 41(2), 181-185.
- [48] Neville, B. (1996). *Reversed-phase Chromatography of Proteins*. In Protein Purification Protocols (pp. 277-292). Humana Press.
- [49] Townsend and Kibert (1998). *The Management and Environmental Impacts of Construction and Demolition Waste in Florida*. University Florida.
- [50] Standar Nasional Indonesia. 1991. No 06-2489. *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [51] Suparma, L.B., (2001). *The Use of Recycled Waste Plastics in Bitumenous Composites, PhD Thesis, School of Civil Engineering, The University of Leeds*.
- [52] Japan Road Association. 1989. *Manual for Asphalt Pavement*. Tokyo: JRA.
- [53] Umum, D. P. (2010). *Spesifikasi Umum Binamarga 2010 Revisi 3*. Dinas Pekerjaan Umum Bidang Binamarga, Jakarta.
- [54] Yoder, G. R., Cooley, L. A., & Crooker, T. W. (1977). *Observations On Microstructurally Sensitive Fatigue Crack Growth In A Widmanstätten Ti-6Al-4V alloy*. Metallurgical Transactions A, 8(11), 1737-1743.
- [55] Bonnaure, F., Gravois, A., & Udron, J. (1980). *A New Method for Predicting The Fatigue Life of Bituminous Mixes*. In Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings (Vol. 49).
- [56] Akhtar, Ali., & Sarmah, Ajit K. (2018). *Construction And Demolition Waste Generation And Properties Of Recycled Aggregate Concrete: A Global Perspective*. Department of Civil and Environmental

- Engineering, Faculty of Engineering, The University of Auckland, New Zealand.
- [57] Kabirifar, Kamyar., Mojtahedi, Mohammad., Wang, Changxin., & Tam, Vivian W.Y. (2020). *Construction and Demolition Waste Management Contributing Factors Coupled with Reduce, Reuse, and Recycle Strategies for Effective Waste Management: A Review*. Faculty of Built Environment, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [58] Menegaki, Maria., & Damigos, Dimitris (2018). *A Review on Current Situation and Challenges of Construction and Demolition Waste Management*. School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens.
- [59] Standar Nasional Indonesia. 2008. No 3407. *Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat Dengan Cara Perendaman Menggunakan Larutan Natrium Sulfat dan Magnesium Sulfat*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [60] Standar Nasional Indonesia. 2008. No 03-2417. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [61] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 2439. *Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat-Aspal*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [62] Standar Nasional Indonesia. 2012. No 7619. *Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [63] Standar Nasional Indonesia. 2016. No 8287. *Metode Uji Kuantitas Butiran Pipih, Lonjong, Atau Pipih dan Lonjong Dalam Agregat Kasar*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [64] Standar Nasional Indonesia. 2012. ASTM C117. *Metode Uji Bahan yang Lebih Halus dari Saringan 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) dalam Agregat Mineral dengan Pencucian*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [65] Standar Nasional Indonesia. 1997. No 03-4428-1997. *Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [66] Standar Nasional Indonesia. 2002. No 03-6877. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [67] Standar Nasional Indonesia, 1996. No 03-4142. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)*, Bandung: Pustran-Balitbang PU.
- [68] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 06-2456. *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [69] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 06-2434. *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU
- [70] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 03-2433. *Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleve Land Open Cup*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.

- [71] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 06-2441. *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.
- [72] Standar Nasional Indonesia. 2011. No 06-2432. *Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Bandung: Pusjatan-Balitbang PU.