

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN *FLYASH*
SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN
ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS**



TUGAS AKHIR :

Disusun Untuk Melengkapi Persyaratan Ujian Sarjana

Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil

Universitas Muhammadiyah Palembang

OLEH :

AHMAD ZAKI NUGRAHA

112021110

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

2026

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN
FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA
CAMPURAN ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS**



TUGAS AKHIR

**Disusun Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang**

OLEH :

AHMAD ZAKI NUGRAHA

11 2021 110

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

2026

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN
FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA
CAMPURAN ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS**



TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Palembang

Oleh :

AHMAD ZAKI NUGRAHA

11 2021 110

Telah Disahkan Oleh:

**Dekan Fakultas Teknik
Univ. Muhammadiyah Palembang**

**Ketua Program Studi
Teknik Sipil UM Palembang**



**Ir. A. Junaidi, M.T.
NIDN: 0202026502**



**Mira Setiawati, S.T., M.T.
NIDN. 0006078101**

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN
FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA
CAMPURAN ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS**



TUGAS AKHIR

Disusun Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Palembang

Oleh :

AHMAD ZAKI NUGRAHA

11 2021 110

Telah Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Nurnilam Oemiati, M.T
NIDN. 0220106301

Muhammad Arfan, S.T., M.T.
NIDN. 0225037302

TUGAS AKHIR

ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS

Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

AHMAD ZAKI NUGRAHA

NIM : 112021110

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Sidang Komprehensif
Pada Tanggal, 23 April 2026

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

1. Ir. A. Junaidi, M.T.
NIDN. 0202026502

(.....)

2. Ir. Erny Agusri, M.T.
NIDN. 0029086301

(.....)

3. M.Hijrah Agung Sarwandv, S.T., M.T.
NIDN. 0219038701

(.....)

Tugas Akhir Telah Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S.T)

Palembang, 23 April 2026

Program Studi Teknik Sipil

Ketua Prodi Teknik Sipil



Mira Setiawati, S.T., M.T.
NIDN. 0006078101

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Zaki Nugraha
NRP : 112021110
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Palembang

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil jiplakan. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Palembang,

2026



Ahmad Zaki Nugraha

NRP 112021110

HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis mempersembahkan skripsi ini sebagai bentuk rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta pengorbanan yang tiada henti.
2. Keluarga besar yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, dan dukungan dalam setiap proses yang penulis jalani.
3. Dosen pembimbing dan seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
4. *Partner* yang telah membantu dan menemani penulis dalam proses penyusunan skripsi ini dengan penuh dukungan, kerja sama, dan semangat.
5. Rekan-rekan mahasiswa dan sahabat yang selalu memberikan semangat, bantuan, serta kebersamaan selama proses penyusunan skripsi.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Diri sendiri, atas segala perjuangan, kesabaran, dan usaha dalam menyelesaikan skripsi ini hingga akhir.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan dari Allah SWT dan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak.

MOTTO

وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَىٰ

“Dan manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.”

“Bukan hanya tentang gelar, tapi tentang mewujudkan harapan ibu.”

“Orang tidak menilai apa yang kita mulai, tetapi menilai apa yang kita selesaikan.”

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pemanfaatan Limbah Kaca dan *Fly Ash* sebagai Bahan Tambahan pada Campuran Aspal AC-WC di Suhu Panas.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah kaca dan *Fly Ash* sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal AC-WC pada suhu panas serta mengetahui pengaruhnya terhadap campuran aspal berdasarkan parameter pengujian *Marshall*. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik sipil, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

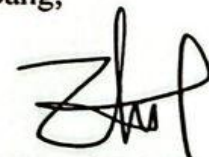
Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Mira Setiawati, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Ibu Ir. Nurnilam Oemiati, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Muhammad Arfan S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. *Partner* dan rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan semangat serta dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan.

Palembang,

2026



Ahmad Zaki Nugraha

NRP 112021110

**ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN *FLY ASH*
SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN PADA CAMPURAN
ASPAL AC-WC DI SUHU PANAS**

Ahmad Zaki Nugraha¹, Nurnilam Oemiati², Muhammad Arfan³

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah kaca dan *Fly Ash* sebagai bahan tambahan (*filler*) terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC pada suhu panas serta menentukan kadar optimum yang memenuhi spesifikasi teknis. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan pengujian langsung di laboratorium terhadap benda uji campuran aspal. Variasi kadar *Fly Ash* yang digunakan yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6%, dengan serbuk limbah kaca sebagai *filler*. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Marshall* untuk memperoleh parameter seperti stabilitas, Flow, VIM, VFB, dan *Marshall Quotient*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca dan *Fly Ash* berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan mekanik campuran aspal. Secara umum, seluruh variasi masih memenuhi spesifikasi, namun pada kadar 6% terjadi peningkatan rongga yang tidak sesuai standar. Kadar optimum diperoleh pada penambahan 4%, karena memberikan keseimbangan antara stabilitas, kelenturan, dan rongga udara dalam campuran. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai bahan tambahan pada campuran aspal AC-WC mampu meningkatkan kualitas campuran, khususnya pada nilai stabilitas *Marshall*, serta berpotensi sebagai alternatif *filler* yang ramah lingkungan.

Kata kunci: limbah kaca, *Fly Ash*, aspal AC-WC, uji *Marshall*, *filler*

**ANALYSIS OF THE UTILIZATION OF GLASS WASTE AND
FLY ASH AS ADDITIVES IN AC-WC ASPHALT MIXTURES
AT HIGH TEMPERATURES**

Ahmad Zaki Nugraha¹, Nurnilam Oemiati ², Muhammad Arfan³

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of adding glass waste and Fly Ash as filler materials on the characteristics of AC-WC asphalt mixtures at high temperatures and to determine the optimum content that meets technical specifications. The method used in this research is an experimental method by conducting direct laboratory tests on asphalt mixture specimens. The variation of Fly Ash content used was 0%, 2%, 4%, and 6%, with glass waste powder used as filler. The testing was carried out using the Marshall method to obtain parameters such as stability, flow, VIM, VFB, and Marshall Quotient. The results showed that the addition of glass waste and Fly Ash affects the physical and mechanical characteristics of the asphalt mixture. In general, all variations still met the specifications; however, at 6% content, there was an increase in voids that did not meet the standard. The optimum content was found at 4%, as it provided a balance between stability, flexibility, and air void characteristics in the mixture. Based on the results, it can be concluded that the use of glass waste as a filler material in AC-WC asphalt mixtures can improve the quality of the mixture, especially in terms of Marshall stability, and has the potential to be an environmentally friendly alternative filler.

Keywords: *glass waste, Fly Ash, AC-WC asphalt, Marshall test, filler*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vii
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aspal.....	4
2.1.1 Jenis-Jenis Aspal.....	4
2.1.2 Sifat-Sifat Aspal.....	5
2.1.3 Pengujian Aspal	6
2.2 Campuran Aspal Panas (Hot Mix Asphalt)	8
2.2.1 Pengertian Hot Mix Asphalt (HMA).....	8
2.2.2 Jenis-jenis Campuran HMA.....	8
2.2.3 Struktur dan Komposisi Campuran AC-WC.....	8
2.2.4 Proses Pencampuran dan Penghamparan Aspal di Suhu Panas	9
2.3 Agregat	9
2.3.1 Agregat Kasar	9
2.3.2 Agregat Halus	10
2.3.3 Filler.....	11
2.4 Laston AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course).....	12
2.4.1 Pengertian dan Fungsi AC-WC.....	12
2.4.2 Spesifikasi Teknis AC-WC	12
2.4.3 Sifat Mekanik dan Fisik AC-WC	13

2.4.4	Parameter Kinerja Campuran AC-WC.....	13
2.5	Limbah Kaca	14
2.5.1	Sumber dan Jenis Limbah Kaca	14
2.5.2	Karakteristik Fisik dan Kimia Limbah Kaca	14
2.5.3	Potensi Limbah Kaca sebagai Material Tambahan Konstruksi	15
2.5.4	Pengolahan Limbah Kaca untuk Bahan Campuran Aspal.....	15
2.6	Fly Ash	16
2.6.1	Struktur Mikro & Sifat Kimia	16
2.6.2	Pengolahan Teknis Fly Ash	17
2.6.3	Implikasi Desain dan Optimasi.....	17
2.7	Parameter Uji Campuran Aspal dengan Limbah Kaca.....	18
2.7.1	Uji Marshall.....	18
2.7.2	Stabilitas dan Flow	18
2.7.3	Void dan Density	19
2.7.4	Ketahanan terhadap Suhu Tinggi.....	20
2.8	Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III	27
METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1	Umum.....	27
3.2	Lokasi Penelitian	27
3.3	Tahap Persiapan.....	27
3.4	Pengujian Agregat.	31
3.4.1	Analisa Saringan	31
3.4.2	Berat Jenis.....	33
3.4.3	Sand Equivalent (Kadar Lumpur).....	36
3.4.4	Abrasi (Los Angeles)	37
3.5	Pengujian Aspal.....	38
3.5.1	Pengujian Penetrasi.....	38
3.5.2	Pengujian Titik Lembek (Softening Point).....	40
3.5.3	Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar	42
3.5.4	Pengujian Daktilitas.....	44
3.5.5	Pengujian Berat Jenis Aspal	46
3.6	Pembuatan Benda Uji.....	47
3.7	Pengujian Marshall.....	48
3.8	Pelaksanaan Penguji Marshall.....	49

3.9 Tahap Pengujian Benda Uji.....	50
3.10 Fishbone Diagram	51
3.11 Bagan Alir Penelitian.....	52
BAB IV	53
HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengujian Bahan	53
4.2 Hasil Pemeriksaan Bahan	53
4.3 Hasil Pengujian Benda Uji.....	54
4.3.1 Hasil Pengujian Sebelum KAO	54
4.3.2 Hasil Pengujian Setelah KAO	59
4.4 Pengujian SEM Aspal Normal	64
4.5 Pengujian SEM Aspal Campuran Optimum	65
4.6 Pembahasan.....	66
BAB V	69
KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal	7
Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 3. 1 Rencana Variasi Campuran untuk Mentukan KAO	29
Tabel 3. 2 Rencana Variasi Campuran KAO + Bahan Tambahan.....	29
Tabel 3. 3 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	31
Tabel 3. 4 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	32
Tabel 3. 5 Pemeriksaan Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.....	35
Tabel 3. 6 Pemeriksaan Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar.....	36
Tabel 3. 7 Pemeriksaan Pengujian Kadar Lumpur.....	37
Tabel 3. 8 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	38
Tabel 3. 9 Pemeriksaan Pengujian Penetrasi.....	40
Tabel 3. 10 Pemeriksaan Pengujian Titik Lembek.....	42
Tabel 3. 11 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar	44
Tabel 3. 12 Pemeriksaan Pengujian Daktilitas.....	46
Tabel 3. 13 Hasil Uji <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO.....	50
Tabel 3. 14 Hasil Uji <i>Marshall</i> KAO dengan Variasi Bahan Tambahan.....	52
Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Aspal.....	53
Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	54
Tabel 4. 3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	54
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Sebelum KAO	55
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> KAO ditambah Serbuk Kaca dan Fly Ash	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Aspal Penetrasi 60/70.....	28
Gambar 3. 2 Agregat Kasar.....	28
Gambar 3. 3 Agregat Halus.....	28
Gambar 3. 4 Serbuk Kaca	28
Gambar 3. 5 Semen.....	28
Gambar 3. 6 Fly Ash	28
Gambar 3. 7 Alat Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	31
Gambar 3. 8 Alat Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	32
Gambar 3. 9 Alat Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	34
Gambar 3. 10 Alat Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	36
Gambar 3. 11 Alat Pengujian Kadar Lumpur	37
Gambar 3. 12 Alat Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	38
Gambar 3. 13 Alat Pengujian Penetrasi	39
Gambar 3. 14 Alat Pengujian Titik Lembek	42
Gambar 3. 15 Alat Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar	43
Gambar 3. 16 Alat Pengujian Daktilitas	45
Gambar 3. 17 Alat Pembuatan Benda Uji.....	48
Gambar 3. 18 Alat Perendaman Benda Uji	51
Gambar 3. 19 Alat Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO.....	51
Gambar 4. 1 Hasil Stabilitas Sebelum KAO.....	55
Gambar 4. 2 Hasil <i>Flow</i> Sebelum KAO	56
Gambar 4. 3 Hasil VIM Sebelum KAO.....	56
Gambar 4. 4 Hasil VMA Sebelum KAO	57
Gambar 4. 5 Hasil VFB Sebelum KAO.....	58
Gambar 4. 6 Hasil <i>MARSHALL QUOTIENT</i> Sebelum KAO	58
Gambar 4. 7 Hasil Stabilitas Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash	60
Gambar 4. 8 Hasil <i>Flow</i> Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash.....	60
Gambar 4. 9 Hasil VIM Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash.....	61
Gambar 4. 10 Hasil VMA Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash	62
Gambar 4. 11 Hasil VFB Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash.....	62
Gambar 4. 12 Hasil MQ Variasi Serbuk Kaca dan Fly Ash.....	63
Gambar 4. 13 Hasil Pengujian SEM Aspal Normal.....	64
Gambar 4. 14 Hasil Pengujian SEM Aspal Campuran Optimum.....	65

DAFTAR NOTASI

AC-WC	: <i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>
HMA	: <i>Hot Mix Asphalt</i>
KAO	: Kadar Aspal Optimum
VIM	: <i>Void in Mix</i>
VMA	: <i>Void in Mineral Aggregate</i>
VFB	: <i>Void Filled with Bitumen</i>
MQ	: <i>Marshall Quotient</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
SiO ₂	: Silika
CaO	: Kalsium oksida
Na ₂ O	: Natrium oksida
Al ₂ O ₃	: Aluminium oksida
Fe ₂ O ₃	: Besi oksida
%	: Persentase
kg	: Kilogram
gr	: Gram
mm	: Milimeter
cm	: Sentimeter
°C	: Derajat Celcius

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan terhadap prasarana jalan yang andal di Indonesia berlangsung seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan intensitas pergerakan masyarakat. Dalam konstruksi perkerasan jalan, campuran aspal panas *Asphalt Concrete–Wearing Course* adalah jenis aspal yang banyak digunakan karena berfungsi sebagai lapisan permukaan yang secara langsung menerima tekanan lalu lintas serta terpapar kondisi iklim. Khususnya material pengisi (*filler*) yang berperan penting dalam menentukan kekuatan dan keawetan campuran.

Upaya mendukung pembangunan yang berorientasi pada keberlanjutan mendorong pemanfaatan material limbah sebagai alternatif bahan konstruksi, salah satunya limbah kaca. Kaca yang diproses menjadi serbuk halus hingga lolos saringan No. 200 memiliki potensi sebagai *filler* karena kandungan silika yang dominan serta kemampuannya berinteraksi dengan aspal. Penelitian yang dilakukan oleh Hartini (2020) menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca dapat memberikan pengaruh positif terhadap nilai karakteristik *Marshall*, namun kajian tersebut masih terbatas pada penggunaan *filler* serbuk kaca dan batu kapur tanpa mempertimbangkan variasi material lain.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dikembangkan dengan pendekatan yang berbeda, yaitu pada kondisi temperatur tinggi lebih mencerminkan situasi lapangan. Selain itu, penelitian ini juga memadukan penggunaan *Fly Ash* (abu terbang batubara) kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% untuk mengetahui kombinasi *filler* yang paling optimal dalam meningkatkan kinerja campuran aspal..

Dengan menggabungkan dua jenis limbah dan mengkaji pengaruh suhu tinggi. Pemilihan topik penelitian ini berawal dari ketertarikan peneliti terhadap upaya pemanfaatan limbah menjadi material yang memiliki nilai guna. Ketertarikan tersebut muncul dari pengamatan bahwa limbah kaca dan abu terbang (*Fly Ash*) masih sering terbang tanpa pemanfaatan optimal, padahal keduanya memiliki potensi untuk digunakan kembali dalam bidang konstruksi.

Hal ini mendorong peneliti untuk menguji kemungkinan kedua bahan tersebut dimanfaatkan sebagai *filler*.

Penelitian dilakukan tidak hanya guna mengetahui kinerja campuran aspal AC-WC yang diberi tambahan limbah kaca dan *Fly Ash* pada suhu panas, tetapi juga untuk menemukan komposisi yang paling tepat dan efektif. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangan terhadap upaya pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi limbah, sekaligus menjawab kebutuhan akan infrastruktur yang berkualitas dan ramah lingkungan

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk limbah kaca dan *Fly Ash* (Abu terbang batubara) terhadap karakteristik *Marshall* (*stabilitas, Flow, VIM, VMA, dan VFB*) pada campuran aspal AC-WC di suhu panas?
2. Berapa kadar optimum limbah kaca dan *Fly Ash* (Abu terbang batubara) yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam campuran aspal AC-WC agar tetap memenuhi standar teknis?
3. Apakah penggunaan limbah kaca sebagai bahan tambahan mampu memberikan kontribusi positif terhadap kualitas campuran aspal AC-WC, khususnya dalam kondisi suhu pencampuran yang tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan limbah kaca dan *Fly Ash* (Abu terbang batubara) terhadap karakteristik fisik dan mekanik campuran aspal AC-WC yang diuji menggunakan parameter *Marshall*.
2. Menentukan kadar optimal limbah kaca dan *Fly Ash* (Abu terbang batubara) yang dapat digunakan sebagai *filler* dalam campuran AC-WC.
3. Menilai sejauh mana pemanfaatan limbah kaca dapat meningkatkan kinerja campuran aspal, terutama dari segi stabilitas dan daya tahan terhadap suhu tinggi.

1.4 Batasan Masalah

1. Jenis limbah yang digunakan adalah limbah kaca hasil penghalusan hingga lolos saringan No. 200, tanpa perlakuan kimia tambahan.
2. Campuran yang diteliti adalah jenis *Aspal Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan aspal pen 60/70.

3. Variasi kadar limbah kaca sebagai bahan tambahan yang digunakan yaitu 50%, dengan penambahan bahan kedua berupa *Fly Ash* sebanyak 0%, 2%, 4%, dan 6%.
4. Pengujian dilakukan berdasarkan metode *Marshall*, yang mencakup pengujian *stabilitas*, *Flow*, *VIM*, *VMA*, dan *VFB*, tanpa mencakup analisis mikrostruktur atau durabilitas jangka panjang.
5. Penelitian ini berfokus pada analisis pemanfaatan limbah kaca dan *Fly Ash* sebagai bahan tambahan, sehingga pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian tanpa menggunakan limbah kaca atau menggunakan material pembanding lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Almira, D. R., Puspasari, N., & Saputra, N. A. (2022). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran HRS-WC. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 10(2), 78–84. <https://doi.org/10.33084/mits.v10i2.2996>
- Cahyadi, A. (2022). Penggunaan Serbuk Kaca Dari Limbah Botol Kaca Sebagai *Filler* Agregat Halus Dalam Laston Lapis Antara (Ac-Bc) Asphalt. *STATIKA: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 13–20. <http://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTS/article/view/172%0Ahttps://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTS/article/download/172/213>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Diretorate General of Highways. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. *Ministry of Public Works and Housing, Oktober*, 1036.
- Haikal, M. F., Jasman, & Widarto, H. (2024). Analisa Pengaruh Variasi Penggabungan Asbuton dan Aspal Minyak Terhadap Campuran AC-BC. *Jurnal Karajata Engineering*, 4(2), 161–170. <https://doi.org/10.31850/karajata.v4i2.3441>
- Hartini, H. (2020). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas (Ac - Wc). *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 9(1), 10–17. <https://doi.org/10.55340/jmi.v9i1.648>
- Karakteristik, T., & Marshall, U. J. I. (2018). *Pengaruh Subtitusi Filler Menggunakan Serbuk Kaca Pada Campuran Ac-Wc*. 1–3.
- Liu, Z., et al. (2023). Feasibility analysis of resource application of dry flue gas desulfurization ash as asphalt mastic *filler*. *Coatings*, 14(5), 591. <https://doi.org/10.3390/coatings14050591>
- Nasrul, N., Fadil, L. ode M., & Sriyani, R. (2023). Pengaruh Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Bahan Tambah *Filler* Pada Lapis Permukaan Ac-Bc Terhadap Karakteristik *Marshall*. *STABILITA || Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 10(2), 54. <https://doi.org/10.55679/jts.v10i2.29970>
- Pratowo, B., Kunarto, & Affandy, M. I. (2023). Analisa Kekuatan Material Komposit Berbahan *Fly Ash* dan Serbuk Kaca Bermatrik Resin Epoksi. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(4), 1529–1539. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3193>
- Purnomo, F. E., Sholichin, I., & Estikhamah, F. (2024). The effect of adding *Fly Ash* as a *filler* on laston mixtures (HRS-WC). *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, 1(3), 1–18.

- Pratama, A. Y. (2023). Serbuk kaca sebagai *filler* pada aspal HRS-WC. *Jurnal Media Ilmiah Teknik Sipil*, 8(1), 1–8. <https://journal.umpr.ac.id/index.php/mits/article/view/2996>
- Rohman, M. F., Hasanuddin, A., & Wicaksono, L. A. (2020). Penggunaan *Filler* Arang Kayu pada Aspal HRS–WC dan Aspal AC–WC. *Jurnal Simetrik*, 10(2), 368–371. <https://doi.org/10.31959/js.v10i2.368>
- Simone, A., Mazzotta, F., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2019). Experimental application of waste glass powder *filler* in recycled dense-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 20(3), 592–607. <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1407818>
- Syach, F., Maulana, A., & Muhlis, M. (2024). *Perkerasan Jalan Raya (Efficiency and Effectiveness of Asphalt Use in Highway Paving)*. 93–101.
- Syahputra, A., & Wulandari, T. E. (2025). Pengaruh *Fly Ash* terhadap Kekuatan Ikatan Campuran Aspal. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 3(4), 432–441. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v3i4.780>
- Wardi, S., & Dinul Rahmi, D. (2022). Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar dan Halus dari Quarry Siulak Deras dan Quarry Sungai Rumpun di Kabupaten Kerinci terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 155–162.
- Wikipedia contributors. (2025, August 1). *Coal combustion products*. In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_combustion_products
- Xu, L., Du, Y., Bruno, S., Loprencipe, G., & Moretti, L. (2024). Viscoelastic characteristics and mechanical performances of asphalt mastic and mixtures with *Fly Ash* from municipal solid waste incineration residues. *Buildings*, 14(3), 672. <https://doi.org/10.3390/buildings14030672>
- Yuniarti, R., Hasyim, H., Hariyadi, H., & Handayani, T. (2019). Penggunaan Limbah Kaca Sebagai *Filler* Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(3), 265–272. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.10>
- Yusuf, M. (2022). Penggunaan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus. *Jurnal Teknik Sipil UMPAS*, 5(2), 45–56. <https://ejurnal.umpas.ac.id/index.php/jft/article/view/4562>
- Zega, A. R. P. (2021). Limbah kaca sebagai pengganti *filler* pada lapis aspal beton [Skripsi, Universitas Medan Area]. Universitas Medan Area Repository. <http://repository.uma.ac.id/handle/123456789/14078>
- Zhang, Y., Li, K., Wu, Y., & Zhou, Z. (2025). Effect of desulfurization ash content on the low-temperature rheological properties of asphalt mastic. *Coatings*, 15(5), 604. <https://doi.org/10.3390/coatings15050604>