

No.38/SKRIPSI/S.Tr-TPJJ/2026

SKRIPSI

**PENAMBAHAN ADITIF KLING BETA LL TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL DAN DEFORMASI PERMANEN CAED CSS-1**



**Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV
Politeknik Negeri Jakarta**

Disusun Oleh :

Muhamad Fadly Suhariyanto

NIM. 2201411022

Pembimbing :

Anni Susilowati, S.T., M.Eng

NIP. 196506131990032002

**PROGRAM STUDI D-IV
TEKNIK PERANCANGAN JALAN DAN JEMBATAN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul :

**PENAMBAHAN ADITIF KLING BETA LL TERHADAP
KARAKTERISTIK MARSHALL DAN DEFORMASI PERMANEN CAED
CSS-1 yang disusun oleh Muhamad Fadly Suhariyanto (NIM 2201411022)**
telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam

Pembimbing 1

Anni Susilowati, S.T., M.Eng

NIP. 196506131990032002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Skripsi berjudul :

PENAMBAHAN ADITIF KLING BETA LL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN DEFORMASI PERMANEN CAED CSS-1 yang disusun oleh Muhammad Fadly Suhariyanto (2201411022) telah dipertahankan dalam Sidang Skripsi di depan Tim Penguji pada hari Senin tanggal 29 Juni 2026

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Eka Sasmita Mulya, S.T., M. Si NIP 196610021990031001	
Anggota	Nunung Martina, S.T., M. Si NIP 196703081990032001	
Anggota	Eva Azhra Latifa, S.T., M. T NIP 196205071986032003	

Mengetahui

**Ketua Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Jakarta**



**Idratun, S.T., M.T.
NIP. 196605181990102001**



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Muhamad Fadly Suhariyanto
NIM : 2201411022
Program Studi : D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan
Alamat email : muhamad.fadly.suhariyanto.ts22@mhs.w.pnj.ac.id
Judul Naskah : Penambahan Aditif Kling Beta LL Terhadap Karakteristik
Marshall Dan Deformasi Permanen CAED CSS-1

Dengan ini saya menyatakan bahwa tulisan yang saya sertakan dalam Skripsi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2025/2026 adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan karya orang lain dan belum pernah diikutkan dalam segala bentuk kegiatan akademis/perlombaan.

Apabila di kemudian hari ternyata tulisan/naskah saya tidak sesuai dengan pernyataan ini, maka secara otomatis tulisan/naskah saya dianggap gugur dan bersedia menerima sanksi yang ada. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok

Yang menyatakan,

Muhamad Fadly Suhariyanto

NIM 2201411022

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Penambahan Aditif Kling Beta LL Terhadap Karakteristik Marshall Dan Deformasi Permanen CAED CSS-1”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Allah SWT, atas segala perlindungan, petunjuk, dan kemudahan yang selalu menyertai setiap langkah penulis. Tanpa ridho, rahmat, dan karunia-Nya, penyelesaian skripsi dan masa studi ini tidak akan mungkin terwujud dengan baik;
2. Keluarga tercinta, Ibu, Febby yang senantiasa memberikan doa yang tiada henti, dukungan moral dan material, serta kasih sayang yang tak terhingga selama penulis menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini;
3. Kepada Farah Dhea Nur Majid, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan panjang ini sejak masa SMA. Terima kasih atas setiap cerita dan pelajaran hidup yang mendewasakan, dan menjadikan setiap peristiwa sebagai kekuatan untuk terus melangkah maju menyelesaikan tugas akhir ini;
4. Ibu Istiatun, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, yang telah memberikan kemudahan dan dukungan dalam proses administrasi selama masa perkuliahan;
5. Bapak Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, terima kasih atas arahan dan kebijaksanaannya selama masa perkuliahan;
6. Ibu Anni Susilowati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kesabaran, waktu, bimbingan, dan arahan yang sangat berharga dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Rikki Sofyan Rizal, S.Tr., M.T. Terima kasih banyak atas segala masukan, koreksi, dan diskusi yang sangat membantu dalam menyempurnakan skripsi ini.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Teristimewa untuk *Hay Skripsi* : Rahma, Titis, Nawang yang telah menjadi teman seperjuangan penulis sejak hari pertama perkuliahan skripsi hingga saat ini. Terima kasih untuk kerja sama, setiap canda tawa, keluh kesah, dan dukungan yang tak ternilai. Kebersamaan kita adalah salah satu bagian terbaik dari perjalanan ini.
9. Teristimewa untuk *enemy kost bu dwi*: Okrabilah, Ferdico, Galih, Minang, Jallu, Ijwar, Asadel, Gaston yang telah menjadi teman seperjuangan penulis sejak hari pertama perkuliahan hingga saat ini. Terima kasih untuk setiap canda tawa, keluh kesah, dan dukungan yang tak ternilai. Kebersamaan kita adalah salah satu bagian terbaik dari perjalanan ini.
10. Teman-teman seperjuangan prodi TPJJ khususnya kelas 4 TPJJ 2, terima kasih atas segala bantuan dan kenangan indah selama menempuh masa kuliah bersama.
11. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2022. Terima kasih atas kebersamaan, kekompakan, dan semangat yang luar biasa.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis, serta memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bagi pengembangan teknologi perkerasan jalan.

Depok, April 2026

Muhamad Fadly Suhariyanto



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>State of the art</i>	8
2.2 Penelitian Terdahulu	9
2.3 Perkerasan Lentur	13
2.4 Aspal Emulsi	13
2.4.1 Komponen Aspal Emulsi	14
2.4.2 Kecocokan (<i>Affinity</i>) Aspal Emulsi dengan Agregat	15
2.4.3 Mekanisme Penggabungan Butiran Aspal Emulsi dan Pelekatan ke Permukaan Agregat	15
2.4.4 Syarat Aspal Emulsi	16
2.5 Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	17

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.5.1	Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)	18
2.5.2	Kinerja Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	18
2.5.3	Kekuatan Maksimal Campuran	19
2.6	Material Penyusun Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)	19
2.6.1	Agregat	19
2.6.2	Aspal	20
2.6.3	Air	20
2.7	Bahan Aditif Anti Pengelupasan	21
2.8	Kling Beta LL	21
2.9	Parameter Pengujian Campuran Aspal	23
2.9.1	Karakteristik Volumetrik Beton Aspal	23
2.9.2	Stabilitas Statis	25
2.9.3	Deformasi Permanen	26
2.10	Analisis Deskriptif Kuantitatif	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	29
3.2	Rancangan Penelitian	29
3.3	Teknik Pengumpulan Data	31
3.4	Metode Analisis Data	31
3.5	Variasi Benda Uji	31
3.6	Tahapan Penelitian	32
3.6.1	Persiapan Alat	32
3.6.2	Persiapan Bahan	34
3.6.3	Pengujian Bahan Penelitian	36
3.6.4	Perencanaan Campuran di Laboratorium	46
3.6.5	Pembuatan Benda Uji	47
3.6.6	Pengujian Marshall	49



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.6.7	Pengujian HWTT	51
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Pengujian Material Penyusun Beton Aspal.....	53
4.1.1	Pengujian Agregat Kasar.....	53
4.1.2	Pengujian Agregat Halus.....	59
4.1.3	Pengujian Bahan Pengisi (Filler).....	65
4.1.4	Pengujian Aspal Emulsi (CSS-1).....	66
4.2.1	Perhitungan Komposisi Agregat Campuran.....	67
4.2.2	Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KARO) Perkiraan Campuran	69
4.2.3	Perhitungan Kebutuhan Material Penyusun Benda Uji Marshall I.....	70
4.2.4	Perhitungan Kebutuhan Material Penyusun Benda Uji Marshall II.....	71
4.2.5	Perhitungan Kebutuhan Material Penyusun Benda Uji HWTT	72
4.2	Hasil dan Pembahasan Pengujian Beton Aspal.....	75
4.3.1	Pengujian Marshall I	75
4.3.2	Pengujian Marshall II.....	75
4.3.3	Pengujian HWTT	88
4.3	Hasil Rekapitulasi	93
4.4.1	Pengujian Marshall I	93
4.4.2	Pengujian Marshall II.....	94
4.4.3	Pengujian HWT.....	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN.....		101



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persyaratan Aspal Emulsi Kationik	17
Tabel 2. 2 Ketentuan sifat–sifat campuran Laston.....	19
Tabel 2. 3 Rencana Gradasi Agregat Campuran.....	20
Tabel 2. 4 Spesifikasi Kling Beta LL.....	22
Tabel 2. 5 Sifat Fisik Kling Beta LL.....	22
Tabel 2. 6 Viskositas dan Densitas Kling Beta LL	22
Tabel 3. 1 Benda uji variasi 1.....	31
Tabel 3. 2 Benda uji variasi 2.....	32
Tabel 3. 3 Benda uji variasi 3.....	32
Tabel 3. 4 Tabel Alat yang digunakan	32
Tabel 4. 1 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	53
Tabel 4. 2 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar..	54
Tabel 4. 3 Data Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	55
Tabel 4. 4 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Agregat Kasar.....	55
Tabel 4. 5 Data Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	55
Tabel 4. 6 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Agregat Kasar.....	56
Tabel 4. 7 Data Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	56
Tabel 4. 8 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar	56
Tabel 4. 9 Data Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	57
Tabel 4. 10 Data Hasil Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Kasar	57
Tabel 4. 11 Data Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar.....	58
Tabel 4. 12 Data Pengujian Keausan Agregat Kasar Menggunakan Mesin Abrasi Los Angeles.....	58
Tabel 4. 13 Data Hasil Perhitungan Keausan Agregat Kasar Menggunakan Mesin Abrasi Los Angeles	59
Tabel 4. 14 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	59
Tabel 4. 15 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat	60
Tabel 4. 16 Data Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus.....	60
Tabel 4. 17 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Agregat Halus.....	61
Tabel 4. 18 Data Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	61
Tabel 4. 19 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Agregat Halus.....	62

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 20 Data Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	62
Tabel 4. 21 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Halus	62
Tabel 4. 22 Data Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	63
Tabel 4. 23 Data Hasil Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Halus	63
Tabel 4. 24 Data Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus	63
Tabel 4. 25 Data Pengujian Sand Equivalent Agregat Halus.....	64
Tabel 4. 26 Data Hasil Perhitungan Nilai Sand Equivalent Agregat Halus.....	64
Tabel 4. 27 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Semen Portland.....	65
Tabel 4. 28 Data Pengujian Berat Jenis Aspal	66
Tabel 4. 29 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis Aspal	66
Tabel 4. 30 Data Sekunder Aspal Emulsi CSS-1	67
Tabel 4. 31 Rancangan Campuran 3 Fraksi Agregat	67
Tabel 4. 32 Gradasi Agregat Gabungan.....	69
Tabel 4. 33 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall I.....	70
Tabel 4. 34 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall II.....	72
Tabel 4. 35 Perhitungan Kebutuhan Zat Aditif Benda Uji Marshall II.....	72
Tabel 4. 36 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Hamburg Wheel Tracking	73
Tabel 4. 37 Perhitungan Kebutuhan Zat Aditif Benda Uji Hamburg Wheel Tracking	73
Tabel 4. 38 Hasil Pengujian Marshall I.....	75
Tabel 4. 39 Rekapitulasi hasil pengujian Marshall I.....	84
Tabel 4. 40 Karakteristik Marshall dengan Nilai Kadar Aspal Residu Optimum	85
Tabel 4. 41 Perbandingan Hasil Marshall 1 HMA Dengan CAED	86
Tabel 4. 42 Hasil Pengujian Marshall II	75
Tabel 4. 43 Rekapitulasi hasil pengujian Marshall II	85
Tabel 4. 44 Karakteristik Marshall dengan Nilai Kadar Aditif Optimum	86
Tabel 4. 45 Karakteristik Marshall dengan Nilai Kadar Aditif Optimum Spesifikasi Aspal Dingin	86
Tabel 4. 46 Perbandingan Hasil Marshall II HMA Dengan CAED.....	87
Tabel 4. 47 Hasil Pengujian Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT)	88
Tabel 4. 48 Perbandingan Hasil Pengujian HWTT.....	92
Tabel 4. 49 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall I.....	93



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 50 Karakteristik Marshall dengan Kadar Aditif Kling Beta LL Optimum 0,41%	93
Tabel 4. 51 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall II	94
Tabel 4. 52 Karakteristik Marshall dengan Kadar Aditif Kling Beta LL Optimum ..	94
Tabel 4. 53 Hasil Pengujian Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT)	94





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skematis berbagai jenis rongga beton aspal padat	24
Gambar 2. 2 Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang terabsorbsi.....	25
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian	30
Gambar 4. 1 Grafik Rancangan 3 Fraksi Agregat dari Tabel 4.31	68
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Voids In Mineral Aggregate	77
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Voids In Mix (VIM).....	78
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Voids Filled With Asphalt (VFA).....	79
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Stabilitas.....	80
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Kelelehan (Flow).....	82
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Marshall Quotient (MQ)	83
Gambar 4. 8 Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO).....	84
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Antara % Kling Beta LL dengan Rongga terhadap Agregat.....	77
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan antara % Kling Beta LL dengan Rongga terhadap Campuran	78
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan antara % Kling Beta LL dengan Rongga Berisi Aspal	79
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan antara % Kling Beta LL dengan Stabilitas.....	80
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan antara % Kling Beta LL dengan Kelelehan (Flow).....	82
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan antar % Kling Beta LL dengan Hasil Bagi Marshall	83
Gambar 4. 15 Penentuan Kadar Kling Beta LL Optimum.....	85
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Jumlah Lintasan terhadap Rut Depth Campuran Tanpa Aditif.....	89
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Jumlah Lintasan terhadap Rut Depth Campuran dengan Aditif Kling Beta LL 0,41%.....	89
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Nilai Rut Depth Akhir.....	90
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Jumlah Lintasan Akhir.....	91

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Pernyataan Calon Dosen Pembimbing SI-1	102
Lampiran 2 Lembar Pengesahan SI-2	103
Lampiran 3 Lembar Asistensi Dosen Pembimbing SI-3	104
Lampiran 4 Lembar Asistensi Dosen Kepala Penguji SI-3	105
Lampiran 5 Lembar Asistensi Dosen Penguji 2 SI-3	106
Lampiran 6 Lembar Asistensi Dosen Penguji 3 SI-3	107
Lampiran 7 Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing SI-4	108
Lampiran 8 Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing SI-4	109
Lampiran 9 Lembar Persetujuan Dosen Kepala Penguji SI-5	110
Lampiran 10 Lembar Persetujuan Dosen Penguji 2 SI-5	111
Lampiran 11 Lembar Persetujuan Dosen Penguji 3 SI-5	112
Lampiran 12 Lembar Bebas Pinjaman dan Urusan Administrasi	113
Lampiran 13 Dokumentasi	114
Lampiran 14 Data sekunder Aspal Emulsi CSS-1	115
Lampiran 15 Kling Beta LL	116

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman dan pertumbuhan ekonomi yang pesat di Indonesia menuntut ketersediaan infrastruktur jalan yang andal untuk mendukung mobilitas barang dan jasa. Dalam dunia konstruksi jalan, jenis perkerasan yang paling dominan digunakan adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan ini terdiri dari campuran agregat dan bahan pengikat aspal yang berfungsi mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. Menurut spesifikasi teknis yang berlaku, kualitas perkerasan lentur sangat ditentukan oleh kemampuannya dalam memberikan kenyamanan, keamanan, dan daya dukung yang memadai terhadap beban kendaraan (Muthia, 2021)

Namun, tantangan utama infrastruktur jalan saat ini adalah tingginya volume lalu lintas dan beban kendaraan berat (*overloading*). Beban lalu lintas yang repetitif (berulang) dan terus meningkat ini memberikan tekanan mekanis yang sangat besar pada lapisan perkerasan. Hal ini kerap memicu kerusakan struktural dan fungsional dini pada perkerasan lentur, khususnya berupa kerusakan alur (*rutting*) sebagai bagian dari deformasi permanen pada jejak roda, yang secara drastis menurunkan tingkat kenyamanan dan umur layan jalan (Nazri et al., 2025).

Secara konvensional, aspal yang digunakan untuk mengatasi beban berat adalah campuran beraspal panas (*Hot Mix Asphalt*). Metode ini mengharuskan material dipanaskan pada suhu tinggi (140°C–170°C). Meskipun menghasilkan stabilitas yang tinggi, proses pemanasan tersebut membutuhkan energi yang sangat besar dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berdampak negatif terhadap lingkungan, yang kini menjadi perhatian dalam konsep pembangunan berkelanjutan. Secara kuantitatif, produksi *Hot Mix Asphalt* (HMA) merupakan proses yang sangat padat energi karena membutuhkan pemanasan agregat pada suhu tinggi, yang secara langsung berkontribusi menghasilkan sekitar 53,6 kg emisi karbon dioksida (CO_2) untuk setiap ton campuran aspal yang diproduksi. Sebaliknya, inovasi *Cold Mix Asphalt* (CMA) yang diproduksi pada suhu lingkungan berpotensi memangkas konsumsi energi manufaktur secara masif sebesar 35% hingga 50%, serta mampu mereduksi emisi GRK (Gas Rumah Kaca) hingga 60% dibandingkan aspal panas.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Potensi dekarbonisasi inilah yang menjadikan penelitian terhadap campuran dingin sangat krusial untuk dikembangkan di era modern (Malik et al., 2025).

Sebagai alternatif teknologi perkerasan yang ramah lingkungan, Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) mulai banyak dikembangkan. Aspal emulsi adalah aspal cair yang dihasilkan dengan mendispersikan aspal keras ke dalam air menggunakan bahan pengemulsi (*emulsifier*). Salah satu jenis aspal emulsi yang direkomendasikan untuk campuran bergradasi rapat (*dense graded*), seperti campuran gradasi *AC-WC*, adalah aspal kationik tipe lambat mengeras atau *Cationic Slow Setting* (CSS-1). Tipe ini memiliki waktu pengikatan yang lambat, sehingga memberikan jeda yang cukup untuk proses pencampuran dengan agregat halus secara merata sebelum emulsi pecah (Prayogo et al., 2020; Santoso et al., 2020). Berbeda dengan *Hot Mix*, CAED diproduksi dan dihamper pada suhu ruang tanpa pemanasan, sehingga mampu mereduksi konsumsi energi secara signifikan dan memudahkan pelaksanaan konstruksi di lokasi terpencil (Karyawan et al., 2025).

Meskipun memiliki keunggulan ekologis, penerapan aspal dingin untuk lapisan permukaan struktural masih menghadapi kendala teknis. Masalah utamanya adalah tingginya rongga udara (porositas/VIM) pada tahap awal dan lambatnya pembentukan kekuatan (*curing process*). Hal ini menyebabkan aspal dingin memiliki nilai stabilitas awal yang relatif lebih rendah dibandingkan aspal panas, sehingga sangat rentan mengalami deformasi permanen jika langsung menerima repetisi beban lalu lintas pada masa awal pelayanannya (Mardawa et al., 2020).

Di lapangan, kelemahan ini sangat terlihat pada pekerjaan pemeliharaan jalan. Campuran aspal dingin umumnya sering diaplikasikan sebagai material penambalan darurat (*emergency patching*) untuk jalan berlubang, terutama pada musim penghujan. Namun, akibat rendahnya stabilitas awal dan tingginya porositas pada masa awal pelayanannya, hasil *patching* menggunakan aspal dingin memiliki tingkat kegagalan dini yang tinggi dan umur layan yang sangat singkat, seringkali hanya bertahan kurang dari 6 bulan (Dong et al., 2014).

Menurut pedoman pemeliharaan jalan, penambalan menggunakan aspal dingin bersifat sementara. Akibatnya, ketika memasuki musim kemarau atau cuaca yang lebih mendukung, lapisan *patching* aspal dingin yang telah mengalami deformasi atau kerusakan tersebut harus dibongkar (*scrapping*) dan ditambah ulang menggunakan campuran aspal panas (*Hot Mix Asphalt*) sebagai penanganan permanen (Kementerian PUPR, 2011). Praktik perbaikan berulang (*re-patching*) ini tentu sangat tidak efisien



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dari segi waktu, tenaga, maupun biaya pemeliharaan jalan, sehingga menuntut adanya inovasi peningkatan mutu pada campuran aspal dingin.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut dan mencapai kinerja yang diisyaratkan, evaluasi dan modifikasi campuran perlu dilakukan. Secara laboratorium, kelayakan suatu campuran jalan pertama kali dievaluasi melalui Karakteristik Marshall. Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur sifat volumetrik (seperti *Void in Mix* dan *Void in Mineral Aggregate*), serta menentukan ketahanan campuran terhadap beban statis maksimum (*Stability*) dan tingkat kelelehannya (*Flow*) (Karyawan et al., 2025; Mardawa et al., 2020).

Akan tetapi, pencapaian stabilitas statis yang baik belum tentu menjamin ketahanan aspal di lapangan. Pembebanan lalu lintas yang berulang kerap memicu kerusakan bentuk yang tidak dapat kembali ke posisi semula, atau yang dikenal sebagai deformasi permanen. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan menggunakan instrumen *Hamburg Wheel Tracking Test* (HWTT). Pengujian HWTT sangat krusial karena mampu menyimulasikan lintasan roda mekanis secara aktual untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap deformasi permanen. Dalam penelitian ini, simulasi HWTT dilakukan secara kering (*dry condition*) untuk mengevaluasi secara murni ketahanan struktural campuran terhadap beban repetitif tanpa interferensi perendaman air (Al-Khateeb et al., 2009; Walubita et al., 2019).

Guna meningkatkan parameter Marshall sekaligus mencegah deformasi permanen pada CAED, modifikasi menggunakan zat aditif kimia sangat diperlukan. Saat ini, terdapat varian aditif peningkat adhesi (*adhesion promoter*) generasi terbaru yaitu Kling Beta LL. Berdasarkan data spesifikasinya, bahan berbasis amina ini diformulasikan khusus untuk memperbaiki penyelimutan agregat dalam kondisi dingin dan basah (*anti-stripping*), serta memperpanjang waktu *workability* aspal (Nouryon, 2018).

Meskipun berbagai studi telah membuktikan keunggulan aspal emulsi dingin secara ekologis, penerapan praktisnya masih terkendala oleh stabilitas awal yang lambat. Penelitian-penelitian sebelumnya (*State of the Art*) sebagian besar berfokus pada upaya percepatan *curing* aspal dingin menggunakan bahan *filler* padat, atau menggunakan bahan tambah (*adhesion promoter*) pada aspal campuran panas konvensional. Hingga saat ini, kajian komprehensif mengenai aplikasi zat aditif anti-pengelupasan berwujud cair generasi terbaru, yakni Kling Beta LL (Nouryon, 2018), secara spesifik pada aspal emulsi kationik lambat mengeras (CSS-1) gradasi AC-WC



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

di iklim tropis masih sangat terbatas. Terdapat celah empiris mengenai efektivitas persentase optimal aditif kimia cair ini dalam menutup rongga udara awal dan menahan deformasi alur (*rutting*).

Penelitian mengenai efektivitas Kling Beta LL pada Campuran Aspal Dingin Gradasi AC-WC menggunakan aspal emulsi CSS-1 masih sangat terbatas. Belum terdapat rumusan baku mengenai kinerja aditif ini dalam mereduksi rongga dan meningkatkan ketahanan alur pada aspal dingin. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul **“Penambahan Aditif Kling Beta LL Terhadap Karakteristik Marshall Dan Deformasi Permanen CAED CSS-1”**. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis perbaikan sifat volumetrik, stabilitas statis, hingga ketahanan deformasi permanen (HWTT) pada campuran aspal emulsi dingin, guna menghasilkan solusi infrastruktur perkerasan yang tangguh dan ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC yang menggunakan aditif Kling Beta LL
2. Berapa persentase kadar optimum dari Kling Beta LL pada campuran aspal emulsi dingin AC-WC dengan bahan tambah Kling Beta LL variasi 0,0%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7%.
3. Bagaimana pengaruh aditif Kling Beta LL dan tanpa aditif terhadap ketahanan deformasi permanen pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC menggunakan alat uji *Hamburg Wheel Tracking Test* (HWTT).

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian ini lebih spesifik dan tidak meluas maka perlu adanya pembatasan diantaranya:

1. Campuran yang digunakan adalah campuran aspal emulsi dingin (CAED) dengan jenis gradasi AC-WC.
2. Spesifikasi yang digunakan mengacu pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- a. Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (sebagai target kinerja karakteristik marshall setara *Hot Mix Laston AC-WC*, dan sebagai acuan prosedur Desain Gradasi Campuran Aspal Emulsi Dingin)
3. Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:
 - a. Aspal emulsi CSS-1 diperoleh dari PT. BARIA BULK TERMINAL
 - b. Agregat kasar (batu pecah hasil *screening*)
 - c. Agregat halus (abu batu)
 - d. *Filler Portland Cement* produksi *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT Perkasa Adiguna Sembada.
4. Bahan tambah yang digunakan adalah zat aditif Kling Beta LL dengan kadar 0,0%; 0,3%; 0,5% dan 0,7%
5. Pengujian yang dilakukan pada bahan uji diantaranya:
 - a. Pengujian Agregat kasar (batu pecah hasil *screening*)
 - b. Pengujian Agregat halus (abu batu)
 - c. Pengujian *Filler*
6. Pengujian Aspal emulsi CSS-1 hanya dilakukan pengujian berat jenis dan selebihnya digunakan data sekunder dari PT. BARIA BULK TERMINAL
7. Kadar aspal yang digunakan untuk menentukan KARO mengacu pada hasil uji Marshall I
8. Reaksi kimia tidak ditinjau
9. Pengujian yang dilakukan pada benda uji diantaranya:
 - a. Pengujian dengan alat Marshall
 - b. Pengujian dengan alat Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT)
10. Pelaksanaan simulasi beban roda menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Test* (HWTT) sengaja dilakukan dalam kondisi kering (*dry condition*) dan bukan kondisi basah (*wet*).

Pembatasan ini diterapkan untuk mengisolasi parameter pengamatan dan memfokuskan hasil pengujian murni pada kerentanan deformasi permanen dan ketahanan bentuk (*rutting*) yang terjadi dari repetisi beban, tanpa terdistorsi oleh faktor kerusakan tambahan akibat peluruhan oleh kelembapan air (*moisture damage*).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC menggunakan bahan tambah Kling Beta LL dengan variasi 0,0%, 0,3%, 0,5%, 0,7%
2. Memperoleh persentase optimum aditif Kling Beta LL pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC dengan variasi 0,0%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% berdasarkan hasil uji Marshall
3. Menganalisis pengaruh aditif optimum Kling Beta LL dan tanpa aditif terhadap ketahanan deformasi permanen pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC menggunakan alat uji *Hamburg Wheel Tracking Test* (HWTT)

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun untuk memberikan alur yang jelas dan terstruktur, sehingga memudahkan pembaca dalam memahami isi penelitian. Secara keseluruhan, pembahasan dan penyajian dalam penelitian ini akan diatur sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan fondasi awal penelitian, yang mencakup pokok-pokok latar belakang, identifikasi dan rumusan masalah, batasan ruang lingkup, tujuan yang ingin dicapai, hingga struktur penulisan laporan terkait eksperimen penambahan aditif Kling Beta LL pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) bergradasi AC-WC.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Segmen ini mengkaji landasan teoretis yang dirujuk dari berbagai literatur terpercaya, seperti Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, Standar Nasional Indonesia (SNI), literatur buku, publikasi jurnal ke-tekniksipil-an, dan sumber digital otoritatif. Turut disertakan pula matriks penelitian-penelitian terdahulu yang berfungsi sebagai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

komparasi dan pijakan analitis dalam mengevaluasi efektivitas Kling Beta LL pada aspal dingin AC-WC.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan kerangka operasional eksperimen, mulai dari penetapan lokasi, inventarisasi material dan instrumen pengujian untuk modifikasi CAED AC-WC, hingga desain riset dan prosedur pemrosesan data. Penjelasan tersebut turut divisualisasikan melalui diagram alir (*flowchart*), urutan tahapan uji laboratorium, dan linimasa pelaksanaan proyek.

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, seluruh data primer hasil observasi laboratorium direkapitulasi secara rinci. Pemaparan mencakup hasil uji properti material penyusun (agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, dan aspal emulsi) beserta uji mekanis beton aspal dingin. Lebih lanjut, bab ini mengupas tuntas interpretasi analitik dari data pengujian terkait pengaruh dosis Kling Beta LL terhadap kinerja campuran.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian penutup ini merangkum intisari dan jawaban atas rumusan masalah mengenai performa CAED gradasi AC-WC akibat inkorporasi aditif Kling Beta LL. Selain itu, bab ini juga memberikan rekomendasi konstruktif bagi pengembangan riset di masa mendatang serta potensi aplikasinya secara praktis pada industri infrastruktur perkerasan jalan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh aditif Kling Beta LL terhadap deformasi permanen pada campuran aspal emulsi dingin (CAED) gradasi AC-WC, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik Marshall pada campuran aspal emulsi dingin gradasi AC-WC menunjukkan hasil yang fluktuatif akibat penambahan aditif Kling Beta LL. Secara keseluruhan, parameter volumetrik campuran (VMA, VIM, dan VFA) telah memenuhi standar spesifikasi. Namun, untuk parameter kelayakan mekanis dan dinamis, campuran tersebut gagal memenuhi spesifikasi secara serentak. Nilai stabilitas dan kelelahan (flow) hanya mampu memenuhi standar pada variasi kadar tertentu saja, sedangkan nilai kekakuan campuran (Marshall Quotient) secara total gagal memenuhi batas spesifikasi minimum pada seluruh variasi kadar aditif yang diuji.
2. Berdasarkan analisis komparatif grafik dan integrasi seluruh parameter Marshall untuk mempertemukan pemenuhan syarat volumetrik dan dinamis terbaik sebelum campuran mengalami penurunan kekuatan yang signifikan, persentase Kadar Aditif Optimum (KAdO) Kling Beta LL ditetapkan sebesar 0,41%.
3. Pengaruh penambahan aditif Kling Beta LL pada kadar optimum terhadap ketahanan deformasi permanen (HWTT) menunjukkan hasil yang gagal memenuhi spesifikasi kelayakan struktural. Baik campuran tanpa aditif maupun campuran dengan aditif optimum sama-sama mengalami kegagalan struktural total berupa kedalaman alur (rut depth) yang mencapai batas kritis kegagalan alat uji sebelum mampu menyelesaikan target lintasan standar yang disyaratkan. Meskipun demikian, penambahan aditif Kling Beta LL tetap memberikan pengaruh positif karena terbukti mampu menunda laju kerusakan alur (rutting), sehingga campuran tersebut memiliki daya tahan terhadap repetisi beban yang lebih lama dibandingkan dengan campuran tanpa aditif.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan keandalan hasil penelitian, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah benda uji yang lebih banyak pada setiap variasi kadar aditif, khususnya pada pengujian Hamburg Wheel Tracking Test (HWTT). Dengan jumlah benda uji yang lebih banyak, data yang diperoleh diharapkan dapat mewakili kondisi sebenarnya dengan lebih baik serta meningkatkan tingkat kepercayaan terhadap hasil penelitian.
2. Pada tahapan perencanaan campuran (*mix design*), penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi kembali metode penentuan Kadar Aspal Emulsi Perkiraan (P). Nilai perkiraan awal hasil perhitungan empiris agregat (yang berkisar di angka 6,5%) disarankan untuk dapat langsung dicoba sebagai acuan kadar aspal emulsi total, tanpa harus membaginya terlebih dahulu dengan persentase kadar aspal residu bawaan pabrik (misalnya 60,4%). Evaluasi ini bertujuan untuk menghindari melimpahnya volume aspal emulsi di dalam campuran (yang dapat mencapai 10,5%). Proporsi aspal emulsi yang terlalu tinggi terbukti secara empiris menyebabkan campuran menjadi terlalu basah, sehingga berimplikasi pada semakin lamanya waktu perawatan (*curing time*) yang dibutuhkan agar air menguap sempurna dan campuran aspal mencapai stabilitas strukturalnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya, sangat disarankan untuk melakukan evaluasi mendalam terhadap waktu pemeraman (*curing time*) pada saat proses pembuatan benda uji. Mengingat karakteristik aspal emulsi dingin (CAED) yang sangat bergantung pada proses penguapan air, perlu dilakukan variasi waktu pemeraman yang lebih panjang dan bertahap (misalnya 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, hingga 28 hari) sebelum campuran dipadatkan maupun diuji. Evaluasi waktu *curing* ini sangat krusial untuk memberikan jeda yang optimal bagi air untuk menguap secara sempurna, sehingga aspal emulsi dapat memecah (*breaking*) dan mengikat agregat dengan maksimal guna mendongkrak nilai stabilitas dan kekakuan campuran ke tingkat yang memenuhi syarat kelayakan spesifikasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- AkzoNobel. (2015). *Bitumen Emulsion Manual*. Akzo Nobel Surface Chemistry.
- Alirusi, R., Maryam H, S., & Massara, A. (2023). Studi Experimental Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Dengan Penambahan Zat Aditif Polyurethane Terhadap Ketahanan Deformasi Dan Modulus Elastis. *Innovative*, 3(Journal Of Social Science Research), 5001–5053.
- Arisandi, E. S., Desriantomy, & Supiyan. (2021). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (Hrs-Wc) Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis High Density Polyethylene (Hdpe). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 120–129. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2724>
- Asphalt Institute. (2001). *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements: Manual Series No. 22 (MS-22)* (2nd Editio). Asphalt Institute.
- Asphalt Institute, 1989. (1989). *ASPHALT COLD MIX MANUAL*.
- Chairi, M., Yossyafra, Y., & Putri, E. E. (2017). Perencanaan Integrasi Layanan Operasional Antar Moda Railbus dan Angkutan Umum di Kota Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.25077/jrs.13.1.1-12.2017>
- Dina, F., Walsen, S., Tuanakotta, A., Sipil, J. T., & Ambon, P. N. (2022). *Journal agregate vol 1, no. 1, september 2022*. 1(1), 84–88.
- Engineering, C., & Sciej, J. (2024). *Sultra*. 5(2), 384–397.
- Furwati, B. S. (2024). ANALISIS KARAKTERISTIK VOLUMETRIK, MEKANIK DAN KETAHANAN TARIK CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN BERDASARKAN VARIASI FILLER SEMEN DAN KAPUR UNTUK GRADASI TERBUKA Analysis. *STIE Perbanas Surabaya*, 02(022), 0–16.
- Jain, S., & Singh, B. (2021). Cold mix asphalt: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124378>
- Karyawan, I. D. M. A., Mahendra, M., Sideman, I. A. O. S., Yuniarti, R., & Fajrin, J.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(2025). Durabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin dengan Substitusi Serbuk Karet Ban Bekas sebagai Agregat Halus. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 7(02), 785–796. <https://doi.org/10.53863/kst.v7i02.1888>

Malik, M. D., Chen, Y., Mu, J., & Dong, R. (2025). Sustainable Cold Mix Asphalt: A Comprehensive Review of Mechanical Innovations, Circular Economy Integration, Field Performance, and Decarbonization Pathways. *Materials*, 18(23), 1–44. <https://doi.org/10.3390/ma18235452>

Mardawa, I. G., Ahyudanari, E., & Murtiadi, S. (2020). Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Dingin dengan Asbuton Akibat Dari Penggunaan Aditif Wetfix-BE. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), 50–60. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i1.149>

Muthia, M. (2021). *PERBANDINGAN KINERJA ANTARA CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN CSS-1h DENGAN DAN TANPA PENUNDAAN PEMADATAN TERHADAP CAMPURAN LASTON (PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN COLD EMULSION ASPHALT MIXES CSS-1h WITH AND WITHOUT COMPACTION DELAY OF ASPHALT CONCRETE MIXES)*. 1–89. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37405>

Nazri, N. S., Ismail, N. N., Shaffie, E., & Wan Azahar, W. N. A. (2025). Cold Mix Asphalt as Permanent Road Resurfacing Solution: A Short Review Aligned with the Sustainable Development Goal (SDG) 7. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 14(1), 1142–1152. <https://doi.org/10.6007/ijarped/v14-i1/24488>

Nouryon. (2018). *Kling Beta LL*. <https://www.nouryon.com/product/kling-beta-ll/>

Pane, Y., Suhelmi, & Sari, D. S. P. (2021). Analisa Semen Portand Dan Abu Batu Sebagai Filler Dengan Marshall Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC – WC). *Jurnal Ekonomi, Bisnis Dan Teknologi*, 1(2), 86–95.

Pasetto, M., Baliello, A., Giacomello, G., & Pasquini, E. (2017). *Sustainable solutions for road pavements : A multi-scale characterization of warm mix asphalts containing steel slags*. 166(x).

Pradityo, A. T., Vidyaning Viarsami, V., Nur Aisyah, G., & Hutama Syahputrac, K.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(2025). Pengaruh Pelapisan Steelguard Terhadap Deformasi Permanen Campuran Aspal Ac-Wc. *Jurnal Jalan Jembatan*, 42(2).
<https://doi.org/10.58499/jatan.v42i2.1393>

Prayogo, N., Natakusuma, J. C., Wulandari, P. S., & Patmadjaja, H. (2020). Pengaruh Variasi Gradasi Agregat dari Batas Bawah Hingga Batas Tengah Pada Campuran Aspal Emulsi Dingin. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 9(1), 180–187. <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/10638/9470>

Ruhaidani, E., Hardiani, D. P., Anggarini, E., Sipil, T., Banjarmasin, U. M., & Syarkawi, J. G. (2023). *Karakteristik Marshall Pada Campuran HRS-WC Menggunakan Pyrite Limbah PLTU Asam-Asam Kabupaten Tanah Laut Sebagai Pengganti Agregat Kasar panas . Kandungan aspal yang relatif tinggi campuran bertujuan untuk sebagai bahan bakar . Prinsip kerjanya memanfaatkan*. 15, 159–167.

Safitri, A. A. (2025). KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED) MENGGUNAKAN FLY ASH SEBAGAI TAMBAHAN BAHAN PENGISI CHARACTERISTICS. *Denpasar, Bali: Udayana University Press*.

Salim, Muchtar, and H. G. (2021). *VARIASI PERSENTASE ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DALAM CAMPURAN HRS BASE*. 5, 1–23.

Santoso, G. G., Arfandy, R., Wulandari, P. S., & Patmadjaja, H. (2020). *Hingga Batas Tengah*. 86–93.

Simanjuntak, R. A. (2021). *Jurnal Rivet (Riset dan Inovasi Teknologi) PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN ADITIF ANTI STRIPPING TERHADAP KINERJA CAMPURAN ASPAL*. 01(02), 99–108.

Suroso, T. (1991). *-aspek-teknis-yang-perlu-diperhatikan-pad-e1c5ec0f.pdf*.

Thanaya, Wibawa, Ariawan, & P. (2019). *ANALISIS KARAKTERISTIK DAN KINERJA CAMPURAN EMULSI BERGRADASI RAPAT*.

Whiteoak, D. (1990). *SHELL BITUMEN HANDBOOK Fourth Edition. United*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kingdom, 7.

Wulandari, N. O., Supardi, Z. A. I., & Realita, A. (2025). *Identifikasi struktur batuan bawah permukaan kawasan gunung merapi dan gunung kelud dengan metode gravitasi 1)*. 14, 307–315.

