

No.22/SKRIPSI/S.Tr-TPJJ/2025

SKRIPSI

**PENAMBAHAN ZAT ADITIF ZTA-RA PADA BETON ASPAL CAMPURAN
PANAS AC-WC**



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

Disusun Oleh :

Amanda Sanata Devangga

NIM. 2101411027

Pembimbing :

Anni Susilowati, S.T., M.Eng

NIP. 196506131990032002

Rikki Sofyan Rizal, S.Tr., M.T.

NIP. 199304302020121012

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

2025



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 ZAT ADITIF ZTA-RA PADA BETON ASPAL
CAMPURAN PANAS AC-WC** yang disusun oleh **Amanda Sanata Devangga**
(NIM 2101411027) telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam
Sidang Tugas Akhir Tahap II

Pembimbing 1

Anni Susilowati, S.T., M.Eng.
NIP. 196506131990032002

Pembimbing 2

Rikki Sofyan Rizal, S.Tr., M.T.
NIP. 199304302020121012



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul :

**PENAMBAHAN ZAT ADITIF ZTA-RA PADA BETON ASPAL
CAMPURAN PANAS AC-WC** yang disusun oleh **Amanda Sanata Devangga
(2101411027)** telah dipertahankan dalam **Sidang Skripsi** di depan Tim Penguji
pada hari Senin tanggal 23 Juni 2025

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Lilis Tiyani, S.T., M.Eng NIP 199504132020122025	
Anggota	Mitsaq Addina Nisa, S.T., M.Eng NIP 199412262022032010	

Mengetahui
**Ketua Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Jakarta**

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



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Amanda Sanata Devangga
NIM : 2101411027
Program Studi : D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan
Alamat email : amanda.sanata.devangga.ts21@mhs.w.pnj.ac.id
Judul Naskah : Penambahan Zat Aditif ZTA-RA pada Beton Aspal Campuran Panas AC-WC

Dengan ini saya menyatakan bahwa tulisan yang saya sertakan dalam Skripsi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2024/2025 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, 9 Juli 2025

Yang menyatakan,

Amanda Sanata Devangga

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Penambahan Zat Aditif ZTA-RA Pada Beton Aspal Campuran Panas AC-WC”**. 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. Keluarga tercinta, Papa, Mama, Nini serta Mas Iqbal dan Bagas 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;
2. Ibu Istiatun, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, yang telah memberikan kemudahan dan dukungan dalam proses administrasi selama masa perkuliahan;
3. 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;
4. 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.
5. Bapak Rikki Sofyan Rizal, S.Tr., M.T. selaku Dosen Pembimbing II. Terima kasih banyak atas segala masukan, koreksi, dan diskusi yang sangat membantu dalam menyempurnakan skripsi ini.
6. Wildan Adithya Pringgodani beserta keluarga, yang selalu mendampingi penulis dalam suka maupun duka. Terima kasih atas dukungan tanpa syarat, kesabaran yang tak terbatas dan karena selalu percaya pada penulis bahkan saat penulis ragu pada diri sendiri.
7. Sahabat terbaik penulis, Rizka dan Shifa. Terima kasih telah menjadi sandaran, pendengar setia, dan sumber semangat di saat paling melelahkan sekalipun.

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



© 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Kepada Ikrom dan Gerald, rekan satu tim terbaik. Terima kasih telah menjadi partner yang solid dalam setiap fase perjuangan, mulai dari tugas besar, *project work*, hingga magang dan penelitian bersama.
9. Teristimewa untuk *Nepor Family*: Prana, Arif, Rey, Abiyu, Ikrom, Gerald, Rizka Shifa dan Salma 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. Grup *Sunshine*: Mutiara, Wilda, Shafira, dan Shanggita. Terima kasih atas kehangatan, keceriaan, dan setiap momen berharga yang kita lalui bersama.
11. Teman-teman seperjuangan prodi TPJJ khususnya kelas 4 TPJJ 2, terima kasih atas segala bantuan dan kenangan indah selama menempuh masa kuliah bersama.
12. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2021. Terima kasih atas kebersamaan, kekompakan, dan semangat yang luar biasa.
13. 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, 14 Juli 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Perumusan Masalah.....	18
1.3 Pembatasan Masalah	18
1.4 Tujuan Penelitian.....	19
1.5 Manfaat Penelitian.....	20
1.6 Sistematika Penulisan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Perkerasan Lentur.....	22
2.2 Beton Aspal Campuran Panas	24
2.3 Karakteristik AC WC.....	26
2.4 Material penyusun Campuran Aspal	28
2.4.1 Aspal.....	28
2.4.2 Agregat.....	29
2.5 ZTA-RA	29
2.6 Metode <i>Dry Mix</i>	31
2.7 Parameter Pengujian Campuran Aspal.....	32
2.7.1 Sifat Volumetrik Beton Aspal	32
2.7.2 Stabilitas Statis	34
2.7.3 Modulus Resilien.....	34
2.8 Penelitian Terdahulu	35
2.9 Keterbaharuan Penelitian	37

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



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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	39
3.2 Peralatan Penelitian	39
3.2.1 Alat Pengujian Agregat, Filler	39
3.2.2 Alat Pengujian Aspal Keras	40
3.2.3 Alat Pembuatan Benda Uji.....	40
3.2.4 Alat Uji Karakteristik Campuran	41
3.3 Bahan Penelitian.....	41
3.4 Perlengkapan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).....	42
3.5 Rancangan Penelitian	42
3.6 Teknik Pengumpulan Data	42
3.7 Metode Analisis Data	43
3.8 Tahapan Penelitian	43
3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan	44
3.8.2 Pengujian Bahan.....	44
3.8.3. Pengujian Aspal.....	55
3.8.3 Perencanaan Campuran dengan Metode Marshall	60
3.8.4 Pembuatan Benda Uji Marshall	62
3.8.5 Pengujian Marshall.....	64
3.8.6 Pengujian <i>Universal Material Testing Apparatus</i> (UMATTA).....	69
3.8.7 Variasi Benda Uji.....	70
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	72
4.1 Data Pengujian Agregat Kasar	72
4.1.1 Analisa Ayak	72
4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air	73
4.1.3 Keausan dengan Mesin Abrasi Los Angeles.....	74
4.1.4 Berat Isi dan Rongga	75
4.1.5 Kadar Lumpur	77
4.1.6 Kadar Air.....	78
4.2 Data Pengujian Agregat Halus	79
4.2.1 Analisa Ayak	79
4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air	79
4.2.3 <i>Sand Equivalent</i>	81
4.2.4 Berat Isi dan Rongga	82



© 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.5	Kadar Lumpur	84
4.2.6	Kadar Air.....	85
4.3	Data Pengujian Filler (Analisa Saringan).....	85
4.4	Data Pengujian Aspal	86
4.4.1	Penetrasi Aspal.....	86
4.4.2	Berat Jenis Aspal.....	87
4.4.3	Titik Lembek Aspal.....	87
4.4.4	Daktilitas Aspal	88
4.4.5	Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	88
4.4.6	Kelarutan Aspal dalam Larutan Trichloroethylene	89
4.5	Rancangan Campuran Beton Aspal.....	90
4.5.1	Perhitungan Proporsi Campuran Agregat	90
4.5.2	Perhitungan Perkiraan Kadar Aspal Ideal	93
4.5.3	Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall I	93
4.5.4	Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall II dan UMATTA.....	95
4.6	Pengujian Marshall I	97
4.6.1	<i>Voids in Mineral Aggregates (VMA)</i>	99
4.6.2	<i>Voids in Mix (VIM)</i>	100
4.6.3	<i>Voids Filled with Asphalt (VFA)</i>	101
4.6.4	Stabilitas	102
4.6.5	Kelelehan (<i>Flow</i>).....	103
4.6.6	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	104
4.6.7	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall I</i>	105
4.7	Pengujian Marshall II.....	107
4.7.1	<i>Voids in Mineral Aggregates (VMA)</i>	109
4.7.2	<i>Voids in Mix (VIM)</i>	110
4.7.3	<i>Voids Filled with Asphalt (VFA)</i>	111
4.7.4	Stabilitas	112
4.7.5	Kelelehan (<i>Flow</i>).....	113
4.7.6	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	114
4.7.7	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall II</i>	115
4.8	Pengujian UMATTA.....	117
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		123



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.1	Kesimpulan.....	123
5.2	Saran.....	124
DAFTAR PUSTAKA		125
LAMPIRAN.....		130





DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston	25
Tabel 2. 2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi	26
Tabel 2. 3 Ketentuan untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70.....	28
Tabel 2. 4 Hasil Pengujian Campuran Aspal dengan ZTA-RA	30
Tabel 3. 1 Urutan Saringan untuk Agregat Kasar	44
Tabel 3. 2 urutan saringan untuk agregat halus.....	45
Tabel 3. 3 Gradasi pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles.....	52
Tabel 3. 4 Amplop Gradasi Agregat Gabungan.....	
Tabel 3. 5 Tabel Angka Korelasi	68
Tabel 3. 6 Kebutuhan Benda Uji Marshall I	70
Tabel 3. 7 Kebutuhan Benda Uji Marshall II.....	71
Tabel 3. 8 Kebutuhan Benda Uji UMATTA.....	71
Tabel 4. 1 Data & Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar	72
Tabel 4. 2 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	73
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan Air Agregat Kasar.....	74
Tabel 4. 4 Data Pengujian Keausan Agregat Kasar (Abrasi Los Angeles).....	74
Tabel 4. 5 Data Hasil Perhitungan Keausan Agregat Kasar (Abrasi Los Angeles)..	75
Tabel 4. 6 Data Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar.....	75
Tabel 4. 7 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Agregat Kasar	76
Tabel 4. 8 Data Pengujian Berat Isi Padat Agergat Kasar	76
Tabel 4. 9 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Agergat Kasar.....	77
Tabel 4. 10 Data Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	77
Tabel 4. 11 Data Hasil Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Kasar	77
Tabel 4. 12 Data Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	78
Tabel 4. 13 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar	78
Tabel 4. 14 Data Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus.....	79
Tabel 4. 15 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	80
Tabel 4. 16 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	81
Tabel 4. 17 Data Pengujian <i>Sand Equivalent</i> Agregat Halus.....	81
Tabel 4. 18 Data Hasil Perhitungan Nilai <i>Sand Equivalent</i> Agregat Halus.....	81

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 mengemukakan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 19 Data Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus.....	82
Tabel 4. 20 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Agregat Halus	82
Tabel 4. 21 Data Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	83
Tabel 4. 22 Data Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Agregat Halus.....	83
Tabel 4. 23 Data Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	84
Tabel 4. 24 Data Hasil Perhitungan Kadar Lumpur Agregat Halus	84
Tabel 4. 25 Data Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	85
Tabel 4. 26 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Agregat Halus	85
Tabel 4. 27 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Semen Portland.....	86
Tabel 4. 28 Data Hasil Pengujian Penetrasi Aspal.....	86
Tabel 4. 29 Data Pengujian Berat Jenis Aspal	87
Tabel 4. 30 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis Aspal	87
Tabel 4. 31 Data Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal	88
Tabel 4. 32 Data Hasil Pengujian Daktilitas Aspal.....	88
Tabel 4. 33 Data Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal.....	88
Tabel 4. 34 Data Pengujian Kelarutan Aspal	89
Tabel 4. 35 Data Hasil Perhitungan Kelarutan Aspal dalam Larutan Trichloroethylene	89
Tabel 4. 36 Gradasi Gabungan Agregat.....	92
Tabel 4. 37 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall	94
Tabel 4. 38 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall II.....	95
Tabel 4. 39 Kebutuhan Zat Aditif Benda Uji Marshall II.....	95
Tabel 4. 40 Kebutuhan Zat Aditif Benda Uji UMATTA.....	96
Tabel 4. 41 Hasil Pengujian Marshall I Kadar Aspal Optimum	97
Tabel 4. 42 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall I Kadar Aspal Optimum	105
Tabel 4. 43 Karakteristik Marshall Dengan Nilai Kadar Aspal Optimum.....	106
Tabel 4. 44 Hasil Pengujian Marshall II Kadar ZTA-RA Optimum	107
Tabel 4. 45 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall II Kadar ZTA-RA Optimum ..	115
Tabel 4. 46 Karakteristik Marshall dengan Nilai ZTA-RA Optimum	116
Tabel 4. 47 Data Hasil Pengujian UMATTA.....	117
Tabel 4. 48 Hasil Pengujian Modulus Resilien dengan Alat UMATTA	117
Tabel 4. 49 Perbandingan Nilai Modulus Resilien (ERT)	121



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Lentur	23
Gambar 2. 2 Lapisan Laston	24
Gambar 2. 3 Skematis berbagai jenis rongga beton aspal padat	32
Gambar 2. 4 Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang terabsorpsi.....	33
Gambar 3. 1 Jadwal Penelitian.....	39
Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian	43
Gambar 4. 1 Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan Metode Grafis Rothluchs	91
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Agregat	92
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan VMA	99
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan VIM.....	100
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan VFA.....	101
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Stabilitas.....	102
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Kelelehan (Flow).....	103
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan antara % Aspal dengan Marshall Quotient (MQ) ..	104
Gambar 4. 9 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	105
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan VMA	109
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan VIM.....	110
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan VFA	111
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan Stabilitas.....	112
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan Kelelehan (Flow)	113
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan antara % ZTA- RA dengan Marshall Quotient (MQ)	114
Gambar 4. 16 Penentuan Kadar ZTA-RA Optimum	116
Gambar 4. 17 Nilai Modulus Resilien dengan Alat UMATTA pada Suhu 25 °C....	118
Gambar 4. 18 Nilai Modulus Resilien dengan Alat UMATTA pada Suhu 40 °C....	119
Gambar 4. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Resilien dengan Alat UMATTA	120

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 mengemukakan 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 1.....	130
Lampiran 2 Lembar Pernyataan Calon Dosen Pembimbing 2.....	131
Lampiran 3 Lembar Pengesahan	132
Lampiran 4 Lembar Asistensi Dosen Pembimbing 1	133
Lampiran 6 Lembar Asistensi Dosen Penguji 1.....	134
Lampiran 5 Lembar Asistensi Dosen Pembimbing 2	134
Lampiran 7 Lembar Asistensi Dosen Penguji 2.....	135
Lampiran 8 Lembar Persetujuan Pembimbing 1.....	137
Lampiran 10 Lembar Persetujuan Penguji 1.....	139
Lampiran 9 Lembar Persetujuan Pembimbing 2.....	139
Lampiran 11 Lembar Persetujuan Penguji 2.....	142
Lampiran 12 Lembar Bebas Pinjaman dan Urusan Administrasi.....	143
Lampiran 13 Dokumentasi Penelitian di Lab Politeknik Negeri Jakarta	144
Lampiran 14 Dokumentasi Pengujian UMATTA di Lab PUSJATAN Bandung ...	145
Lampiran 15 Data Pengujian UMATTA	146

**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 mengemukakan 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan transportasi, dengan perkerasan sebagai elemen utama yang disesuaikan dengan kondisi lalu lintas. Perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis, salah satunya adalah perkerasan lentur yang memiliki sifat elastis sehingga memungkinkan penyaluran beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya (Saputra et al., 2021).

Dalam praktiknya kerap kali ditemukan kasus kerusakan pada lapisan perkerasan lentur. Bentuk kerusakan yang paling umum terjadi pada perkerasan lentur adalah deformasi permanen yang biasanya tampak dalam bentuk jejak alur (*rutting*) (Yiluo & Ning, 2020). Sebagai bagian dari perkerasan lentur, beton aspal lapis aus atau *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) harus memiliki kualitas tinggi agar mampu menahan beban lalu lintas tinggi dan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi ketahanannya (Magfirah et al., 2023). Dalam menilai ketahanan beton aspal, modulus resilien menjadi salah satu parameter penting yang menunjukkan kemampuan material dalam menahan deformasi akibat beban berulang (Carlina et al., 2019).

Modulus resilien (M_R) adalah indikator elastisitas, yang merepresentasikan kemampuan material campuran aspal untuk kembali pada bentuk semula setelah menerima beban (Balqis, 2020). Nilai modulus resilien yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi. Sebagai langkah efektif untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen, digunakan aspal yang dimodifikasi, seperti polimer, resin epoksi, aspal batuan, dan zat aditif (Wang et al., 2023).

Dalam penelitian yang dilakukan (Pataras et al., 2021) mengkaji penggunaan polimer *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) dan *Ethylene-Vinyl Acetate* (EVA) dalam campuran aspal fleksibel tipe AC-WC dan HRS-WC. Pada penelitian ini, dibuktikan bahwa penambahan SBS menghasilkan campuran dengan nilai indeks kekuatan sisa (IRS) tertinggi dan tingkat keausan (*weight loss*) terendah, sehingga menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap beban lalu lintas berulang dan deformasi permanen (*rutting*).



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

Sejak tahun 2022, Beijing Zhongtian Road Tech Co., Ltd. telah mengembangkan zat aditif aspal yang diberi nama ZTA-RA, yang kini juga mulai dipasarkan di Indonesia. Aditif ini diklaim mampu mengatasi permasalahan aspal terkait retak dan deformasi dengan meningkatkan kinerja campuran, stabilitas dinamis dan memperlambat proses penuaan aspal (Zhongtian Road-Tech Co., 2022). Meskipun aditif tersebut telah masuk ke pasar Indonesia, hingga saat ini belum dilakukan penelitian terhadap penggunaan aditif tersebut pada aspal.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian dengan judul “*Penambahan Zat Aditif ZTA-RA pada Beton Aspal Campuran Panas AC-WC*” untuk menganalisis karakteristik marshall dan nilai modulus resilien pada beton aspal campuran panas AC-WC dengan modifikasi bahan tambah ZTA-RA. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap kerusakan berupa deformasi permanen, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi permasalahan kerusakan jalan di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana nilai karakteristik Marshall pada beton aspal campuran panas AC-WC dengan menggunakan bahan tambah ZTA-RA dan tanpa bahan tambah
2. Bagaimana pengaruh bahan tambah ZTA-RA terhadap nilai modulus resilien pada beton aspal campuran panas AC-WC menggunakan alat uji *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA)
3. Berapa persentase optimum dari ZTA-RA pada beton aspal campuran panas AC-WC dengan bahan tambah ZTA-RA.

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 panas (*Hotmix*) jenis *Asphalt Concrete Wearing Course*



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

2. Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:
 - a. Aspal Esso.ex BBT pen 60/70
 - b. Agregat kasar (batu pecah hasil *screening*)
 - c. Agregat halus (abu batu)
 - d. *Filler Portland Cement* produksi PT Indocement Tungal Prakarsa Tbk
3. Bahan tambah yang digunakan adalah zat aditif ZTA-RA dengan kadar 0,3%; 0,5% dan 0,7%
4. Pengujian yang dilakukan pada bahan uji diantaranya:
 - a. Pengujian Agregat kasar (batu pecah hasil *screening*)
 - b. Pengujian Agregat halus (abu batu)
 - c. Pengujian *Filler*
 - d. Pengujian Aspal
5. Kadar aspal yang digunakan untuk menentukan KAO mengacu pada hasil uji Marshall
6. Pencampuran aspal panas yang dilakukan di laboratorium menggunakan metode proses kering (*dry mix*)
7. Reaksi kimia tidak ditinjau
8. Pengujian yang dilakukan pada benda uji diantaranya:
 - a. Pengujian dengan alat Marshall
 - b. Pengujian dengan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA)

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Mendapatkan nilai karakteristik Marshall pada campuran beton aspal AC-WC menggunakan bahan tambah ZTA-RA dan tanpa menggunakan bahan tambah
2. Menganalisis pengaruh bahan tambah ZTA-RA terhadap nilai Modulus Resilien beton aspal campuran panas AC-WC menggunakan alat uji *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA)
3. Menentukan persentase optimum dari ZTA-RA yang memberikan hasil terbaik pada campuran AC-WC berdasarkan hasil uji Marshall dan Modulus Resilien.



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

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi lingkungan akademis, Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dengan menambah wawasan mengenai pengaruh bahan tambah ZTA-RA terhadap karakteristik Marshall dan nilai Modulus Resilien pada campuran aspal AC-WC, sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam bidang perkerasan jalan
2. Bagi pemangku kepentingan, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam merumuskan kebijakan dan strategi untuk meningkatkan ketahanan serta efisiensi infrastruktur jalan
3. Bagi masyarakat umum, dengan peningkatan kualitas campuran aspal menggunakan ZTA-RA, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam menciptakan infrastruktur jalan yang berkelanjutan.

1.6 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

Pada bab ini menguraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan naskah dari penelitian penambahan zat aditif ZTA-RA pada beton aspal campuran panas AC-WC.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat teori dasar yang bersumber dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, SNI, buku, jurnal teknik sipil, serta referensi daring yang relevan. Selain itu, penelitian terdahulu juga digunakan sebagai landasan dan acuan dalam menganalisis penambahan zat aditif ZTA-RA pada beton aspal campuran panas 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

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian penambahan zat aditif ZTA-RA pada beton aspal campuran panas AC-WC, rancangan penelitian, serta teknik dan metode analisis data. Selain itu, disajikan pula bagan alir penelitian, tahapan penelitian beserta prosedur pengujian dan jadwal pelaksanaan.

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan data primer dari hasil pengujian laboratorium, meliputi uji agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal, dan beton aspal. Selain itu, bab ini juga membahas analisis data yang diperoleh dari penelitian mengenai penambahan zat aditif ZTA-RA pada beton aspal campuran panas AC-WC.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian mengenai penambahan zat aditif ZTA RA pada beton aspal campuran panas AC-WC, serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut maupun penerapan hasilnya dalam bidang konstruksi jalan.

**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 mengumumkan 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 analisis data dan pembahasan yang telah disampaikan pada bab-bab sebelumnya, dapat dirumuskan tiga kesimpulan utama yang secara langsung menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan.

1. Penambahan zat aditif ZTA-RA secara signifikan meningkatkan karakteristik Marshall pada campuran beton aspal AC-WC. Pada kadar optimum 0,47%, campuran modifikasi menunjukkan peningkatan nilai VFA sebesar 4,5%, Stabilitas sebesar 15,6%, Kelelehan (*Flow*) sebesar 1,9% dan *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 10,0% dibandingkan dengan campuran tanpa aditif. Namun penambahan aditif juga dapat menurunkan karakteristik marshall, seperti nilai VIM yang turun sebesar 17,6% dan VMA sebesar 3,8%.
2. Zat aditif ZTA-RA memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai Modulus Resilien (MR) campuran, yang merupakan indikator ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*). Pengujian UMATTA menunjukkan bahwa penambahan ZTA-RA meningkatkan kekakuan campuran pada suhu layanan 25°C dan 40°C. Peningkatan paling signifikan terjadi pada suhu 40°C, di mana kadar aditif 0,7% menghasilkan nilai 40% lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa aditif. Hal ini membuktikan bahwa ZTA-RA efektif dalam meningkatkan ketahanan campuran terhadap *rutting*, terutama di bawah kondisi iklim tropis.
3. Persentase optimum zat aditif ZTA-RA pada campuran beton aspal AC-WC, yang ditentukan berdasarkan metode desain Marshall untuk mencapai keseimbangan terbaik antara parameter kekuatan, durabilitas, dan volumetrik, adalah sebesar 0,47% dari total berat campuran. Meskipun demikian, untuk tujuan spesifik memaksimalkan ketahanan terhadap *rutting*, data Modulus Resilien menunjukkan bahwa kinerja puncak dicapai pada kadar 0,7%.



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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, berikut disampaikan beberapa saran untuk penerapan praktis dan pengembangan penelitian di masa mendatang.

1. Untuk meningkatkan validitas statistik dan keandalan data Modulus Resilien, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah jumlah benda uji UMATTA dari dua menjadi minimal tiga sampel per variasi. Penguatan basis data ini sangat krusial untuk memvalidasi temuan kinerja mekanistik puncak yang teridentifikasi pada kadar ZTA-RA 0,7%, mengingat adanya inkonsistensi dengan kadar optimum 0,47% yang dihasilkan oleh metode Marshall.
2. Bagi praktisi konstruksi jalan, disarankan mempertimbangkan penggunaan aditif ZTA-RA pada proyek dengan lalu lintas tinggi di daerah bercuaca panas. Kadar 0,47% dapat dipilih untuk memperoleh campuran dengan kinerja seimbang sesuai spesifikasi, sementara kadar 0,7% direkomendasikan jika prioritas utamanya adalah meningkatkan modulus resilien. Penelitian lanjutan dengan berbagai jenis material dari lokasi berbeda juga diperlukan untuk memperluas generalisasi temuan.
3. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji performa jangka panjang campuran AC-WC dengan ZTA-RA melalui pengujian tambahan seperti uji kelelahan (*fatigue test*), stabilitas dinamis (*wheel tracking*), dan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrem (retak suhu rendah), guna mendapatkan gambaran performa struktural secara lebih menyeluruh. Pengujian *dynamic modulus* pada berbagai suhu dan frekuensi juga disarankan untuk membangun *master curve* yang komprehensif. Selain itu, studi komparatif antara metode *dry-mix* dan *wet-mix* dapat memberikan pemahaman lebih lanjut terkait homogenitas dan kinerja campuran.
4. Untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait mekanisme modifikasi, disarankan melakukan analisis mikrostruktur dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) serta analisis kimia menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Selain aspek teknis, analisis *Life Cycle Cost* (LCCA) dan *Life Cycle Assessment* (LCA) perlu dilakukan untuk menilai kelayakan ekonomi serta dampak lingkungan penggunaan ZTA-RA dibandingkan material konvensional.



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

DAFTAR PUSTAKA

- Abzari, A. W. (2020). Studi Eksperimental Sifat Marshall AC-WC Menggunakan Tegel Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1–23.
- Aldin, M. A. (2024). Pengaruh Penambahan Bahan Polymer Thermosetting Sebagai Bahan Additive pada Campuran Beton Aspal AC-WC. *Syntax Idea*, 6(2), 938–951. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i2.2868>
- 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. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/2688>
- Amin, C., & Arif, D. S. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Plafon Pvc Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton Ac-Wc. *NAROTAMA JURNAL TEKNIK SIPIL E-ISSN: 2460-3430*, 7.
- 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>
- Arthono, A., & Permana, V. A. (2022). Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Metode Analisa Komponen SNI 1732-1989-F Ruas Jalan Raya Mulya Sari Kecamatan Pamanukan Sampai Kecamatan Binong Kabupaten Subang Propinsi Jawa Barat. *Jurnal Komposit*, 6(1), 41. <https://doi.org/10.32832/komposit.v6i1.6740>
- Asphalt Institute MS-2. (2014). Asphalt Mix Design Methods. In *Asphalt Institute*.
- ASTM D 41234 - 82. (1982). *Standard Method of Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*.
- Balqis, T. A. (2020). Analisis Modulus Resilien Campuran Lapis Aus Aspal Modifikasi Dengan Serbuk Ban Bekas Menggunakan Alat UMATTA. *Pilar Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya*, 15(02), 51–57. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/pilar/article/view/2174>
- Beriyadi, A., Agustien, M., & Arliansyah, J. (2020). Deformation Resistance of Plastic Asphalt Mixture on Various Temperatures in Field. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(4), 837–844.
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2021). Modulus Resilien Campuran Beraspal Modifikasi Polimer AC-WC Menggunakan Filler Gypsum. *Jurnal Transportasi*, 21(3), 165–172.
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi umum 2010. *Direktorat Jendral Bina Marga*, 2018, 1–6.
- Bina Marga. (2023). *Pemeriksaan laik operasi dan laik produksi unit pencampur*



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

aspal (asphalt mixing plant).

- Carlina, S., Subagio, B. S., & Kusumawati, A. (2019). The Performance of Warm Mix for the Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) Using the Asphalt Pen 60/70 and the Sasobit® Additives. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(1), 11–16. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.1.2>
- Daniel, C. G., Canny, K., Firdaus, F. M., & Iskandar, D. B. (2023). Studi Komparasi Dampak Lingkungan Produksi Campuran Aspal Hangat Modifikasi Polimer EVA dengan Campuran Aspal Panas Skala Laboratorium Menggunakan Life Cycle Assessment (LCA). *Teknik*, 44(1), 23–38. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i1.52052>
- Dayanti, R. I., Irwansyah, I., & Alamsyah, W. (2024). Abu Batu Kapur Sebagai Alternatif Filler dalam Campuran Aspal Beton untuk Lapisan Aus. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 7(1), 65–73. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v7i1.5096>
- Firda, A., Djohan, B., Jimmyanto, H., & Febrianty, D. (2022). Pengaruh Penambahan Plastik (Polyethylene Terephthalate) pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Deformasi*, 7, 127–144.
- Firyal, S., Suryani, F. M., & Salmannur, A. (2024). Studi Pemakaian Plastik LDPE Sebagai Substitusi Aspal dan Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Lapisan AC-WC. *Journal of The Civil Engineering Student*, 6(2), 92–98. <https://doi.org/10.24815/journalces.v6i2.27335>
- Hamid, A., & Wildan, H. (2020). Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Ruas Jalan Brebes –Jatibarang Kabupaten Brebes. *Infratech Building Journal (IJB)*, 1(1), 1–10.
- Hanif, A., Mita Suryani, F., & Isya, M. (2022). Penggunaan Aspal Penetrasi 60/70 dan Plastik Polypropylene terhadap Campuran Beton Aspal AC-WC dengan Perendaman Produk Minyak Bumi Aida. *Universitas Syiah Kuala Jalan Syech Abdurrauf*, 4(7), 267–273.
- Heriadi, Bate'e, T. E. J., Ayub, Y. E., Tahapary, B. M., & Lago, J. S. (2024). Redesain Tebal Perkerasan Lentur Jalan Bulog-UKRIM. *Jurnal Teknik Sipil Ukrim*, 1(1), 18–25. <https://doi.org/10.61179/jtsukrim.v1i1.523>
- Ichsan, I., Olli, A., Hidayat, A. S., & Antau, N. F. (2023). Analisis Karakteristik Marshall Berdasarkan Penggunaan Plastik HDPE sebagai Pengganti Sebagian Aspal pada Lapis Aus AC-WC. *Jurnal Simetrik*, 13(2), 716–722.
- Latif, A., & Setiawan, A. (2023). Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Metode Kering. *Sainteks*, 20(2), 153–165. <https://doi.org/10.30595/sainteks.v20i2.17200>
- Lestari, D. A., Qomariah, & Rahman, A. (2024). Pengaruh Substitusi Limbah Plastik LDPE pada Agregat Halus terhadap Karakteristik Marshall untuk Campuran Laston AC-WC. *Jurnal Online Skripsi*, 5(revision 2), 144–150.
- Magfirah, P. W., Yusuf, A. A. M., Massara, A., & Alifuddin, A. (2023). Analisis



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

Penggunaan Serbuk Pelepeh Batang Pisang pada Campuran (Ac-Wc) dengan Menggunakan Pengujian Marshall Test dan Indirect Tensile Strength. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 5(1), 22–33. <https://repository.umi.ac.id/5953/1/608-Article-Text-1148-2-10-20230313.pdf>

Manurung, A. S. D., & Sulaiman, S. (2020). Performance mix asphalt concrete wearing course with addition of plastic bottles of polyethylene terephthalate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 732(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012022>

Nofriandi, I., Alamsyah, W., & Lydia, E. N. (2023). Studi Penambahan Variasi Campuran Plastik Jenis Hdpe Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Untuk Lapis Aus Ac-Wc. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 116–123. <https://doi.org/10.24815/jts.v12i2.31207>

Nur, N. K., Mahyuddin, Bachtar, E., Tumpu, M., Mukrim, M. I., Irianto, Kadir, Y., Arifin, T. S. P., Ahmad, N. S., Halim, H., & Syukuriah. (2021). Perancangan Perkerasan Jalan. In *Nuevos sistemas de comunicación e información*. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6x83EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA2&dq=bachtar&ots=FqTuI4BZZf&sig=AkcPj78TamCvObV8PD8vBZuzaKM>

Pataras, M., Kadarsa, E., Debby Permata, Y., Khairunnisa, S., Akbar, M. A., & Pratama, Y. (2021). Index of Retained Strength and Weight Loss on Flexible Pavement Ac-Wc and Hrs-Wc Using Polymer Products Ethylene-Vinyl-Acetate (EVA) and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS). *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*, 7, 249–260. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.045>

Paul, R. S., Betaubun, R. J., & Latar, S. (2023). Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Lentur Ruas Jalan Penghubung Desa Laha – Desa Negeri Lima. *Jurnal Agregate*, 2(1), 1–11.

Pd-T-05-2005-B. (2005). Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan tebal lapis tambah perkerasan lentur dengan metoda lendutan. *Pusat Penelitian Dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian Dan Pengembangan Ex. Departemen Kimpraswil*, 1–30.

Permata, D. Y., Subagio, B. S., & Ayuningtyas, K. N. S. (2022). Performance of Resilient Modulus (SMix) and Dynamic Modulus ((E*)) on Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Using Pen 60/70 Asphalt and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) Polymer. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(2), 655–660. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.2.13719>

Plati, C., Tsakoumaki, M., & Loizos, A. (2024). Quality Assurance of Steel Slag Asphalt Mixtures for Sustainable Pavement Surface Courses. *Recycling*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/recycling9050091>

Pomantow, S. Y., Jansen, F., & Waani, J. E. (2019). Kinerja Campuran AC-WC dengan Menggunakan Agregat dari Batu Kapur. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 219–228. dari: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/22079/21780>

Pranata Siregar, Y., & Jiwa Osly, P. (2023). Analisis Karakteristik Campuran Aspal



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

(AC-WC) Dengan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (Analysis Of Characteristics Of Asphalt Mixture (AC-WC) With Low Density Polyethylene Plastic Waste). *Jurnal Artesis*, 3(2), 225–232.

Raktikum, P., Pembelajaran, A. T., & Galat, M. (2020). Analisis Stabilitas dan Durabilitas Campuran Pada Aspal Modifikasi Menggunakan Polimer LDPE. *Journal Penelitian Sekolah Tinggi Transportasi Darat*, 12(1), 1–97.

Ruhaidani, E., Hardiani, D. P., & Anggarini, E. (2023). Karakteristik Marshall Pada Campuran HRS-WC Menggunakan Pyrite Limbah PLTU Asam-Asam Kabupaten Tanah Laut Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Konstruksia*, 15(1), 159. <https://doi.org/10.24853/jk.15.1.159-167>

Saputra, R. B., Khamid, A., Diantoro, W., & Apriliano, D. D. (2021). Studi Perencanaan Perkerasan Lentur Jalan pada Ruas Jalan Balapulang – Pagerbarang Kabupaten Tegal Study of Road Flexural Pavement Planning on Balapulang – Pagerbarang Road Tegal Regency. *Infratech Building Journal (IJB)*, 2(2).

Shavira, A. O., & Widianty, D. (2020). Karakteristik Marshal akibat Jumlah Tumbukan Pemadatan pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course menggunakan Aspal Murni dan Aspal Modifikasi LLDPE Marshall Characteristics Due to Number of Compaction Blow for Asphalt Concrete Wearing Course using Pur. *Spektrum Sipil*, 7(2), 105–114. https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB1909180003/PEG0078_4_113441.pdf

Sijabat, A. S., Napitupulu, Y., Debataraja, S., & Lubis, Y. A. (2024). Analisis Pasir Sungai dan Batu Quarry Sebagai Campuran Lapisan Aspal AC-WC Pada Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 13(2), 19–33. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.46930/tekniksipil.v13i2.4852>

Sitorus, F. J. P., Subagio, G. W., & Putrianti, R. (2021). Karakteristik Modulus Resilien Pada Campuran Aspal Menggunakan Agregat Batok Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil*, 07.

Suciati, H., Simamora, A. W., Panusunan, P., Fauzan, F., & Artikel, R. (2023). Analisa Campuran CPHMA terhadap Penambahan Variasi Aspal Penetrasi 60/70 pada Karakteristik Marshall (Analysis of CPHMA Mixture for the Addition of 60/70 Penetration Asphalt Variations on Marshall Characteristics). *Jurnal Teknologi Riset Terapan*, 1(2), 75–86. <https://doi.org/10.35912/jatra.v1i2.2294>

Sukirman, S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. In *Institut Teknologi Nasional*.

Susanti, E. D., Rifqi, M. G., & Amin, M. S. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 2(2), 7–13. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v2i2.67>

Susilowati, A., Wiyono, E., & Pratikno. (2021). Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Bahan Tambah pada Beton Aspal Campuran Panas [Utilization of Plastic Waste as an Additive in Hot Mixed Asphalt Concrete]. *Bangun Rekaprima*, 7(2), 15–23.



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

- Tian, G., Gao, Y., Chen, C., & Ye, Q. (2024). Study on high-temperature performance evaluation of asphalt mixtures with anti-rutting additives. *Electronic Research Archive*, 32(1), 160–173. <https://doi.org/10.3934/era.2024008>
- Wijayanti, A., & Radam, I. F. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC. *Journal Rivet (Riset Dan Inovasi Teknologi)*.
- Yiluo, Z., & Ning, L. (2020). Research on applicability of anti-rutting agent ly to different asphalt mixtures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 587(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/587/1/012029>
- Yofianti, D. (2019). Deformasi Permanen dan Modulus Resilien Campuran AC-BC Modified Menggunakan Aspal Multigrade. *Bentang*, 7(2), 60–68.
- Zhongtian Road-Tech Co., L. I. (2022). *ZTA-RA Asphalt Additive BEIJING ZHONGTIAN ROAD-TECH CO., LTD.* 2–4.

