

No. 25/SKRIPSI/S.Tr-TPJJ/2026

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN ZTA-RA TERHADAP MODULUS RESILIEN
BETON ASPAL HANGAT AC-WC**



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

Disusun Oleh :

Rahma Salsabila
NIM 2201411010

Pembimbing :

Anni Susilowati, S.T., M. Eng
NIP 1965061319998022004

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

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Skripsi berjudul :

**PENGARUH PENAMBAHAN ZTA-RA TERHADAP MODULUS RESILIEN
BETON ASPAL HANGAT AC-WC** yang disusun oleh **Rahma Salsabila
(2201411010)** telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam
Sidang Skripsi

Pembimbing 1

Anni Susilowati, S.T., M. Eng
NIP 1965061319998022004



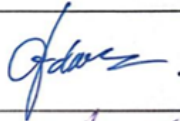
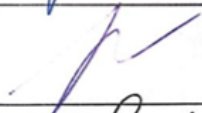
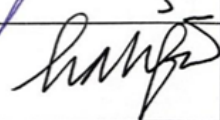
Hak Cipta :

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 PENGESAHAN

Laporan Skripsi berjudul :

**PENGARUH PENAMBAHAN ZTA-RA TERHADAP MODULUS RESILIEN
BETON ASPAL HANGAT AC-WC yang disusun oleh Rahma Salsabila
(2201411010) telah dipertahankan dalam Sidang Skripsi di depan Tim Penguji pada
hari senin tanggal 22 Juni 2026**

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Mitsaq Adina Nisa, S. T., M. Eng NIP 199412262022032010	
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**




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



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

HALAMAN PERNYATAAN ORINSINALITAS KARYA

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Rahma Salsabila

NIM : 2201411010

Program Studi : Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan

Alamat Email : rahma.salsabila.ts22@mhs.w.pnj.ac.id

Judul Naskah : Pengaruh Penambahan ZTA-RA Terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Hangat Ac-Wc

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.

Depok, 21 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Rahma Salsabila
NIM 2201411010



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kelancaran untuk dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan ZTA-RA terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Hangat AC-WC”** dengan baik. Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademis untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar pada Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan skripsi ini bukanlah sebuah perjalanan yang mudah dan tidak lepas dari berbagai tantangan. Namun, berkat doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, akhirnya karya tulis ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan yang berharga ini, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, atas segala doa yang tiada henti dipanjatkan, kasih sayang yang tulus, dukungan moral maupun material, serta motivasi luar biasa yang selalu menyertai setiap langkah penulis sejak awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Inggit, Cita, Khairina, Ranga, dan Gibran selaku saudara-saudara tersayang yang selalu hadir, memberikan keceriaan, semangat, dan dukungan penuh dalam setiap proses yang penulis lewati.
3. Ibu Istiatun, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, atas segala fasilitas dan dukungan yang diberikan kepada mahasiswa selama menempuh pendidikan.
4. Bapak Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan (TPJJ) Politeknik Negeri Jakarta, atas arahan dan bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan di program studi ini.
5. Ibu Anni Susilowati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang di tengah kesibukannya telah dengan penuh kesabaran meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, koreksi, serta bimbingan yang sangat berharga sejak awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staf Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan,



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

pengalaman, serta bantuan teknis selama masa perkuliahan dan pengujian laboratorium.

7. Rizky Wahyu dan Novita Anjani, yang selalu mendengarkan keluh kesah, memotivasi, dan memberikan semangat tanpa lelah kepada penulis dalam menghadapi masa-masa berat penyusunan skripsi ini.
8. Kamil, Cia, Ira, Nita, Ninun, dan Lady, yang telah banyak memberikan warna, menghibur, dan membuat penulis selalu merasa ditemani di tengah kepenatan rutinitas tugas akhir.
9. Kak Nisa, Kak Nuy, Kak Agis, Kak Novia, dan Ale, selaku rekan yang telah banyak memberikan inspirasi, dukungan moral, arahan, serta bersedia berbagi ilmu dan pengalamannya kepada penulis selama masa kuliah.
10. Nawang Wulan, Titis Fitria, Nazhira, Salma, dan Fadly, teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu dan memudahkan langkah penulis, baik dalam hal akademik maupun non-akademik selama masa perkuliahan berlangsung.
11. Teman-teman seperjuangan TPJJ angkatan 22 serta seluruh angkatan aktif TPJJ, yang turut hadir saling mendukung, berdiskusi, dan mengukir kenangan indah selama proses pendidikan ini. Semoga kesuksesan senantiasa menyertai kita semua.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, baik dari segi penulisan maupun kelengkapan materi, mengingat keterbatasan ilmu dan pengalaman yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi penyempurnaan penelitian ini di masa yang akan datang.

Depok, 21 Juni 2026

Rahma Salsabila
NIM 2201411010



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 ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORINSINALITAS KARYA	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>State Of The Art</i>	5
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Perkerasan lentur dan Lapisan Aspal Beton.....	7
2.4 <i>Warm Mix Asphalt (WMA)</i>	9
2.5 Material Campuran Aspal Hangat.....	10
2.5.1 Aspal	10
2.5.2 Agregat.....	11
2.6 Zat Aditif ZTA-RA	12
2.7 Karakteristik Campuran Berdasarkan Pengujian Marshall	14
2.7.1 Sifat Volumetrik Campuran	14
2.7.2 Sifat Mekanis Campuran.....	15
2.8 Deformasi Permanen.....	16
2.9 Modulus Resilien	17
2.10 Pengujian <i>Universal Material Testing Aparatus (UMATTA)</i>	18
2.11 Statistik ANOVA	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	21



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

3.2	Rancangan Penelitian	21
3.3	Metode Pengumpulan Data	23
3.4	Analisis Data	23
3.4.1	Uji Asumsi Statistik.....	23
3.4.2	Uji Hipotesis	24
3.5	Peralatan Pengujian.....	24
3.5.1	Alat Pengujian Agregat dan Filler.....	24
3.5.2	Alat Pengujian Aspal Keras	25
3.5.3	Alat Pembuatan Benda Uji.....	25
3.5.4	Alat Uji Karakteristik Campuran	25
3.6	Bahan Penelitian.....	25
3.7	Variasi Benda Uji.....	27
3.8	Tahapan Penelitian	28
3.8.1	Persiapan Bahan	28
3.8.2	Pengujian Agregat.....	28
3.8.3	Pengujian Filler	39
3.8.4	Pengujian Aspal	39
3.8.5	Perencanaan Campuran.....	46
3.8.6	Pembuatan Benda Uji Campuran	47
3.8.7	Pengujian Marshall.....	49
3.8.8	Pengujian UMATTA.....	52
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....		54
4.1	Data Pengujian Agregat Kasar	54
4.1.1	Analisa saringan	54
4.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air	54
4.1.3	Berat Isi	55
4.1.4	Kadar Lumpur	57
4.1.5	Kadar Air.....	58
4.1.6	Keausan	59
4.2	Data Pengujian Agregat Halus	61
4.2.1	Analisa Saringan	61
4.2.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air	61
4.2.3	Berat Isi	62
4.2.4	Kadar Lumpur	64
4.2.5	Kadar Air.....	65



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

4.2.6	<i>Sand Equivalent</i>	66
4.3	Data Pengujian <i>Filler</i>	67
4.4	Data Pengujian Aspal	67
4.4.1	Penetrasi Aspal	67
4.4.2	Berat Jenis Aspal	67
4.4.3	Titik Lembek Aspal	69
4.4.4	Daktilitas	69
4.4.5	Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	69
4.4.6	Kelarutan Aspal dalam larutan Thrichloroethylene	70
4.5	Perancangan Proporsi Agregat	71
4.5.1	Perancangan Proporsi Agregat dengan Metode Grafis	72
4.5.2	Perancangan Proporsi Agregat dengan Metode <i>Trial and Error</i>	74
4.6	Perhitungan Kadar Aspal Perkiraan	75
4.7	Pengujian Marshall I	76
4.7.1	Kalkulasi kuantitas bahan penyusun benda uji marshall I	76
4.7.2	Hasil Pengujian Marshall I	77
4.7.3	Rekapitulasi Hasil Pengujian marshall	83
4.8	Pengujian Marshall II	85
4.8.1	Kalkulasi kuantitas bahan penyusun benda uji marshall II	85
4.8.2	Hasil Pengujian Marshall II	87
4.8.3	Rekapitulasi hasil pengujian marshall II	95
4.9	Pengujian Karakteristik Modulus Resilien Menggunakan Perangkat Universal Asphalt Testing Apparatus (UMATTA)	97
4.10	Analisa statistik	100
4.10.1	Uji Normalitas	100
4.10.2	Uji Hipotesis	101
4.11	Rekapitulasi Hasil Pengujian	102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		104
5.1	Kesimpulan	104
5.2	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		109



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 TABEL

Tabel 2. 1 Matriks Gap Analisis	5
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-sifat campuran laston AC-WC.....	8
Tabel 2. 4 ketentuan temperatur untuk pencampuran dan pemadatan	10
Tabel 2. 5 Ketentuan untuk aspal keras penetrasi 60/70	11
Tabel 2. 6 spesifikasi ZTA-RA	13
Tabel 3. 1 Variasi Benda Uji I	27
Tabel 3. 2 Variasi Benda Uji II	27
Tabel 3. 3 Variasi Benda Uji Pengujian UMATTA.....	28
Tabel 3. 4 Urutan Saringan untuk Agregat Kasar	29
Tabel 3. 5 Urutan Saringan untuk Agregat Kasar	30
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian analisa saringan pada agregat kasar.....	54
Tabel 4. 2 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	54
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	55
Tabel 4. 4 Data Pengujian Berat Isi Padat dan Rongga Udara pada Agregat Kasar..	56
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Rongga Udara pada Agregat Kasar	56
Tabel 4. 6 Data Pengujian Berat Isi Lepas dan Rongga Udara pada Agregat Kasar .	56
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Rongga Udara pada Agregat Kasar....	57
Tabel 4. 8 Data Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat Kasar.....	57
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Kadar Lumpur pada Agregat Kasar	58
Tabel 4. 10 Data Pengujian Kadar Air pada Agregat Kasar	59
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Kadar Air pada Agregat Kasar	59
Tabel 4. 12 Data pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi	60
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan keausan menggunakan mesin abrasi los angeles	60
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian analisa saringan pada agregat halus.....	61
Tabel 4. 15 Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	61
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	62
Tabel 4. 17 Data Pengujian Berat Isi Padat dan Rongga Udara pada Agregat Halus	63
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Berat Isi Padat Rongga Udara pada Agregat Halus ..	63
Tabel 4. 19 Data Pengujian Berat Isi Lepas Rongga Udara pada Agregat Halus.....	63
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Berat Isi Lepas Rongga Udara pada Agregat Halus..	64
Tabel 4. 21 Data Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat Halus.....	64
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Kadar Lumpur pada Agregat Halus	65
Tabel 4. 23 Data Pengujian Kadar Air pada Agregat Halus	65
Tabel 4. 24 Hasil Perhitungan Kadar Air pada Agregat Halus	65
Tabel 4. 25 Data Pengujian Sand Equivalent Agregat Halus.....	66
Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan Sand Equivalent pada Agregat Halus.....	66
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian analisa saringan pada filler	67
Tabel 4. 28 Data Hasil Pengujian Penterasi Aspal	67
Tabel 4. 29 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.....	68
Tabel 4. 30 Hasil Perhitungan Berat Jenis Aspal	68
Tabel 4. 31 Data Pengujian Titik Lembek Aspal	69
Tabel 4. 32 Data Pengujian Daktilitas Aspal	69
Tabel 4. 33 Data Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.....	69
Tabel 4. 34 Data Pengujian Kelarutan Aspal	70
Tabel 4. 35 Data Hasil Perhitungan Kelarutan Aspal	70
Tabel 4. 36 Gradasi Agregat Gabungan	71
Tabel 4. 37 Proporsi Campuran Agregat Mode Trial and Error	74
Tabel 4. 38 Variasi kadar aspal dan jumlah sampel.....	76



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. 39 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall I	77
Tabel 4. 40 Rekapitulasi Hasil Marshall Campuran Beton Aspal Lapis AC-WC	76
Tabel 4. 41 Rekapitulasi hasil pengujian Marshall I.....	83
Tabel 4. 42 Karakteristik Marshall dengan Nilai Kadar Aspal Optimum.....	84
Tabel 4. 43 Perbandingan Hasil Marshall WMA dan HMA.....	84
Tabel 4. 44 Variasi kadar aspal dan jumlah sampel.....	85
Tabel 4. 45 Perhitungan Kebutuhan Bahan Penyusun Benda Uji Marshall II.....	86
Tabel 4. 46 Data kebutuhan aditif benda uji marshall II.....	86
Tabel 4. 47 Rekapitulasi Marshall Beton Aspal AC-WC dengan ZTA-RA	88
Tabel 4. 48 Rekapitulasi hasil pengujian Marshall II	95
Tabel 4. 49 Karakteristik Marshall dengan Nilai Kadar ZTA-RA Optimum	96
Tabel 4. 50 Perbandingan WMA dengan ZTA-RA dengan HMA dengan ZTA-RA	96
Tabel 4. 48 Hasil Pengujian Modulus Resilien.....	97
Tabel 4. 49 Karakteristik Modulus Resilien Menggunakan (UMATTA).....	98
Tabel 4. 53 Perbandingan Nilai Modulus Resilien (ERT)	99
Tabel 4. 54 Hasil Uji Normalitas	100
Tabel 4. 55 Uji One Way Anova.....	101
Tabel 4. 56 Rekapitulasi Hasil Pengujian	102
Tabel 4. 57 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Resilien.....	102

**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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Desain Perkerasan Lentur pada permukaan tanah asli (at grade).....	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4. 1 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Beton Aspal Beton AC-WC...	72
Gambar 4. 2 Hasil Analisa Ayakan Setiap Fraksi Agregat.....	72
Gambar 4. 3 Metode grafis, menentukan presentase agregat kasar	73
Gambar 4. 4 Metode grafis, menentukan presentase agregat kasar dan filler.....	74
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan (VMA)	77
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan VIM	78
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan VFA	79
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan stabilitas	80
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan flow	81
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan antara kadar Aspal dengan MQ.....	82
Gambar 4. 11 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	83
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan VMA	89
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan VIM.....	90
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan VFA	91
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan Stabilitas.....	92
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan Flow	93
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan antara % ZTA-RA dengan MQ.....	94
Gambar 4. 18 Penentuan Kadar Aditif Optimum	95
Gambar 4. 19 Karakteristik Modulus Resilien Menggunakan (UMATTA).....	98

**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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Lembar Pernyataan Calon Dosen Pembimbing.....	110
Lampiran II Lembar Asistensi Dosen Pembimbing	111
Lampiran III Lembar Persetujuan Pembimbing	112
Lampiran IV Lembar Bebas Pinjaman dan Urusan Administrasi.....	113
Lampiran V Dokumentasi.....	114
Lampiran VI Hasil pengujian UMATTA	115





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

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang banyak diterapkan di Indonesia, dengan salah satu jenis lapis yaitu *Asphalt Concrete* (AC) atau lapis aspal beton (laston). Di Indonesia, laston yang dikenal ialah *Asphalt concrete wearing course* (AC-WC) dimana campuran aspal ini bertindak sebagai lapisan aus dengan gradasi lebih halus. Lapisan AC-WC dirancang sebagai lapisan permukaan perkerasan yang berfungsi menghasilkan permukaan jalan yang rata dan nyaman dilalui, memiliki ketahanan yang baik terhadap keausan, serta mampu melindungi lapisan perkerasan di bawahnya dari kerusakan akibat beban lalu lintas (Rahayu & Lizar, 2025)

Bersumber dari data (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2024), hanya 43,85% jalan di Indonesia yang berada dalam kondisi baik, 50,78% dalam kondisi sedang, 3,72 % rusak ringan dan 1,65% rusak berat. Salah satu kerusakan yang paling dominan adalah deformasi permanen, yaitu penurunan lapis struktur perkerasan yang tidak kembali lagi ke posisi awal (*unrecoverable*) (Adithya et al., 2016). Nilai modulus resilien (M_r) yang rendah menjadi indikator utama kerentanan campuran terhadap deformasi permanen ini. Fenomena ini menunjukkan bahwa lapisan perkerasan belum mampu melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat beban lalu lintas berulang selama masa pelayanannya.

Sejalan dengan perkembangan infrastruktur, salah satu inovasi yang dikembangkan adalah aspal hangat (WMA). Campuran aspal hangat merupakan aspal yang proses pencampuran dan penghamparannya berada pada suhu $130 \pm 2^\circ\text{C}$. Hal ini memungkinkan kekentalan (*Viscosity*) aspal dapat menghasilkan aspal dengan kemampuan yang memadai untuk melapisi agregat selama pencampuran dan tanpa kehilangan kemudahan pengerjaan (*workability*) saat pemadatan (Meilani, 2019).

Selain itu, upaya yang dilakukan untuk menangani kasus tersebut ialah penambahan zat aditif berupa ZTA-RA. Zat aditif ini dikembangkan oleh Beijing Zhongtian Road Tech Co., Ltd yang dinilai mampu meningkatkan ketahanan aspal yang kuat terhadap deformasi di musim panas dan secara efektif mencegah munculnya *rutting* jalan.

Namun demikian, penelitian mengenai pencampuran aspal hangat pada lapisan AC-WC sejauh ini lebih banyak membahas karakteristik dasar campuran saja.



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

Penelitian yang secara spesifik mengombinasikan campuran aspal hangat dengan penambahan aditif ZTA-RA, sekaligus mengevaluasi kinerja nya terhadap nilai modulus resilien menggunakan alat UMATTA masih jarang dilakukan. Padahal, parameter modulus resilien yang dihasilkan dari uji UMATTA penting karena mensimulasikan beban kendaraan yang berulang di lapangan. Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggabungan pemanfaatan campuran aspal hangat, penambahan aditif ZTA-RA dan evaluasi campuran terhadap nilai modulus resilien. Melalui penelitian ini, diharapkan hasilnya dapat mengisi celah penelitian yang ada dan menjadi referensi bagi pengembangan perkerasan jalan yang lebih tahan terhadap kerusakan *rutting* di Indonesia

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana evaluasi kinerja Marshall pada campuran aspal hangat lapisan AC-WC akibat penambahan zat aditif ZTA-RA.
2. Berapa proporsi ideal zat aditif ZTA-RA yang dapat menghasilkan kinerja campuran terbaik berdasarkan kriteria pengujian marshall
3. Bagaimana nilai modulus resilien yang di hasilkan oleh campuran aspal hangat lapisan AC-WC setelah penambahan zat aditif ZTA-RA menggunakan alat uji UMATTA

1.3 Pembatasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada beton aspal campuran hangat (Warm Mix Asphalt/WMA) untuk lapisan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC).
2. Zat aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZTA-RA
3. Material berupa agregat dan aspal yang digunakan dipastikan telah sesuai syarat dan spesifikasi teknis dan digunakan secara konsisten pada seluruh variasi campuran.
4. Hasil penelitian ini hanya dievaluasi dan dibandingkan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi II
5. Pengujian ini tidak membandingkan aspal lainnya.
6. Metode kering (*dry mix*) diaplikasikan dalam proses pembuatan campuran aspal hangat selama selama tahap pengujian
7. Uji modulus resilien dilakukan dengan suhu 45 °C



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. Kajian difokuskan pada kinerja mekanistik campuran, sehingga reaksi kimia bahan tidak dianalisis lebih lanjut
9. Lingkup pengujian yang dilakukan pada benda uji diantaranya:
 - a. Uji Marshall
 - b. Uji UMATTA.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis perubahan karakteristik Marshall pada beton aspal campuran hangat (AC-WC) akibat penggunaan zat aditif ZTA-RA.
2. Menentukan proporsi terbaik dari zat aditif ZTA-RA untuk mencapai nilai kinerja Marshall yang paling maksimal pada campuran AC-WC.
3. Mengevaluasi karakteristik modulus resilien campuran aspal hangat AC-WC setelah diaplikasikan bahan tambah berupa zat aditif ZTA-RA.

1.5 Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini secara keseluruhan terdiri dari 5 (lima) bab. Berikut sistematika penulisan :

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang pemilihan campuran aspal hangat (*Warm Mix Asphalt*) lapis AC-WC dan urgensi pemanfaatan zat aditif ZTA-RA. Selain itu, bab ini juga memuat rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian yang ingin dicapai, serta sistematika penulisan skripsi

2. BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisikan landasan teori dan konsep-konsep dasar yang mendukung penelitian. Pembahasannya meliputi karakteristik lapis perkerasan AC-WC, teknologi aspal hangat, sifat dan fungsi zat aditif ZTA-RA, parameter kinerja Marshall, serta teori mengenai pengujian Modulus Resilien menggunakan alat UMATTA. Bab ini juga memuat tinjauan dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi perbandingan.

3. BAB III METODE PEMBAHASAN

Pada bab ini di jelaskan tahapan dan metode eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium. Pembahasan mencakup lokasi penelitian, bagan alir pelaksanaan, persiapan alat dan bahan baku (agregat, aspal, dan ZTA-RA), rancangan pembuatan benda uji dengan metode proses kering



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

(*dry mix*), serta prosedur pengujian karakteristik Marshall dan Modulus Resilien untuk mengumpulkan data primer peneliti.

4. BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan data-data hasil pengujian laboratorium dengan sistematis, baik itu parameter Marshall maupun pembacaan alat UMATTA. Data tersebut kemudian dianalisis secara mendalam (termasuk menggunakan analisis statistik) untuk mengetahui secara empiris bagaimana signifikansi pengaruh penambahan zat aditif ZTA-RA terhadap nilai Modulus Resilien beton aspal hangat AC-WC, guna menjawab seluruh rumusan masalah penelitian.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bagian penutup skripsi yang berisi rangkuman hasil penelitian berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Di dalamnya disajikan kesimpulan mengenai hasil pengujian, penentuan kadar aditif ZTA-RA yang paling optimal, serta pengaruh penambahan ZTA-RA terhadap kinerja campuran aspal. Selain itu, bab ini memuat saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi penerapan di lapangan maupun sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

**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 pada bab sebelumnya, penelitian ini menghasilkan 3 kesimpulan utama yang menjawab tujuan penelitian, yaitu:

1. Berdasarkan Tabel 4. 56, penambahan zat aditif ZTA-RA pada campuran aspal hangat lapisan AC-WC terbukti memberikan pengaruh terhadap kekuatan struktural campuran. Hal ini ditunjukkan oleh lonjakan nilai Stabilitas yang sangat signifikan, yakni dari 469,74 kg (pada campuran tanpa aditif) meningkat menjadi 836,23 kg.
2. Merujuk pada rekapitulasi pengujian Marshall II pada Tabel 4. 56, proporsi optimum zat aditif ZTA-RA yang menghasilkan kinerja campuran terbaik ditetapkan sebesar 0,4%. Pada proporsi ini, campuran berhasil mencapai keseimbangan paling ideal antara kekuatan mekanis dan keawetan.
3. Berdasarkan hasil pengujian dinamis UMATTA yang tertera pada Tabel 4. 56, penggunaan zat aditif ZTA-RA pada proporsi optimumnya (0,4%) mampu meningkatkan nilai Modulus Resilien.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan, berikut disampaikan beberapa saran agar dilakukan penelitian berikutnya:

1. Selain berfokus pada ketahanan campuran terhadap rutting, perlu dilakukan evaluasi uji tarik menggunakan metode *Indirect Tensile Strength Test*. Evaluasi ini diperlukan untuk mengetahui umur lelah campuran modifikasi ZTA-RA ketika menerima beban dinamis repetitif hingga mencapai siklus keruntuhannya (*failure criteria*).
2. Dilakukan pemodelan kekakuan menggunakan perangkat lunak dengan memasukan nilai modulus resilien yang didapatkan sehingga diketahui distribusi tegangan-regangan guna mendapatkan nilai optimal yang efisien ketebalan lapisan perkerasan dengan ditambah ZTA-RA.



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

- Adithya, A. P., Subagio, B. S., Kosasih, D., & Hendarto, S. (2016). Evaluasi Karakteristik Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Beton Beraspal (AC-Binder Course) Menggunakan Campuran Agregat Berabrasi Tinggi. *Jurnal Teoretis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 23(2), 223–232.
- Ananta, F. M. (2025). Pengaruh Metode Pencampuran (Wet Vs Dry) Serbuk Karet Alam Pengaruh Metode Pencampuran (Wet Vs Dry) Serbuk Karet Alam Terhadap Karakteristik optimasi NBR-modified bitumen menggunakan Response Surface Methodology dan menemukan kombinasi optimal yang me. *Pendidikan Indonesia*, 6(12), 5634–5649.
- Aschuri, I. (2016). THE STIFFNESS MODULUS OF ASPHALT CONCRETE FOR DESIGN LIFE PREDICTION OF PAVEMENT UNDER TROPICAL CONDITION. *Transport & Road Assessment Centre, ISBN : 979-98539-1-5*, 12.
- 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, direktorat jenderal. (2020). *Spesifikasi umum 2018* (Issue Revisi 2).
- Djoko Widajat. (2022). Hubungan Parameter Kuat Tarik Langsung Terhadap Modulus Resillien Campuran Beraspal Dingin Dengan Aspal Busa. *Jurnal Jalan - Jembatan*, 27, 9.
- Falderika. (2017). Evaluasi Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Aspal Porus Pen 60 / 70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt (BNA) Evaluation of Resilien Modulus and Permanent Deformation of Mixture Porus Asphal Pen 60 / 70 and Buton Natural Asphalt (BN. *Jurnal Tercetak, Dibya*.
- Fatmawati, L. (2017). KARAKTERISTIK MARSHALL DALAM ASPAL CAMPURAN PANAS AC-WC TERHADAP VARIASI TEMPERATUR PERENDAMAN. *Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*.
- Hasan, W. M., Yousif, R. A., Hesami, S., Tayh, S. A., Jasim, A. F., & Ibrahim, H. H. (2024). Evaluation of Mechanical Properties of Warm-Mix Asphalt Mixtures Prepared with Sasobit and Zeolite Additives. *Journal of Engineering and Technological Sciences Evaluation*, 56(6), 716–726. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.6.4>
- Iman Adiwidodo, A., Rahman, H., & Zain, N. (2023). Analisis Kinerja Modulus



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

- Resilien dan Ketahanan Fatigue Campuran AC-WC dengan Asbuton Murni, BNA Blend, dan Aspal Pen 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 481–490. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.16>
- Meilani, M. (2019). Jurnal Teknik Sipil Kajian Parameter Marshall Campuran Hangat Lataston (HRS-WC) Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Desember*, 5(4), 120–131. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/3397/2091>
- Mexico, U. of N. (2014). *Field and Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt (WMA) – Phase 1* (Issue August).
- Mukhlis, Adibroto, F., Ali, S., Fauzi, A., & Padilah, I. (2022). Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Modifikasi Dengan Limbah Plastik. *Teras Jurnal*, 12(1), 267–280.
- Nadhifah, N., & Mahardi, P. (2025). Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC – WC) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Agregat Halus dan Filler Abu Batu. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 3(2), 140–155. <https://doi.org/10.26740/mitrans.v3n2.p140-155>
- NASUTION, B. H. (2022). (FLEXIBEL PAVEMENT) Studi Kasus : Jalan Raya Simpang Nasional Huta Lambung-Batas Angkola Selatan Kecamatan Angkola Barat SKRIPSI Diajukan Untuk Memenuhi Gelar Sarjana Teknik Sipil Stara Satu Universitas Medan Area Disusun Oleh BENNY HIDAYAH NASUTION FAK. *Analisis Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexibel Pavement)*.
- Nugroho, M. S. (2019). KARAKTERISTIK MARSHALL QUOTIENT PADA HOT MIX ASPHALT MENGGUNAKAN AGREGAT ALAM SUNGAI OPAK. *INERSIA*, XV(2).
- Rahayu, S., & Lizar. (2025). Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Aspal (AC-WC). *KERN: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 51–63. <https://doi.org/10.33005/kern.v11i2.61>
- Sanam, M., Litelnoni, R. F., Punuf, Y. M., & Suraji, A. (2013). Penggunaan Asbuton Lawele dengan Bahan Additif Oli Bekas Kendaraan untuk Meningkatkan Stabilitas Beton Aspal. *Jurnal Widya Teknika*, 21(2), 32–39. <http://www.widyagama.ac.id/ejournal/index.php/widyateknika/article/view/371>
- Sianturi, L. S. A. D., Sabarofek, A. E., Leo, E., & Angkat, H. R. . (2025). Studi Kebutuhan Masyarakat Terhadap Bus Sekolah Di Kota Sorong. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(3), 919–930. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i3.34109>



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

- Sihombing, A. P., Afrizal, Y., & Gunawan, A. (2019). Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 31–38. <https://doi.org/10.33369/ijts.10.1.31-38>
- Sinuhaji, C. A. V., Subagio, B. S., & Rahman, H. (2018). Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Dari Campuran Laston Gradasi Senjang (HRS-WC) Dengan Bahan Aspal Modifikasi Starbit E-55. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 149. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.2.8>
- Sitorus, F. J. P., Subagio, G. W., & Putrianti, P. R. (2021). Karakteristik Modulus Resilien Pada Campuran Aspal Menggunakan Agregat Batok Kelapa. *JURNAL TEKNIK SIPIL : RANCANG BANGUN*, 07, 5.
- Situmorang, A. N., Subagio, B. S., & Ayuningtyas, K. N. S. (2018). Evaluasi Kinerja Modulus Resilien dan Fatigue Menggunakan “ EAF Slag Aggregate ” pada Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Antara (WMA AC - BC). *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 25(3), 221–228. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.3.7>
- Situngkir, K. W. (2020). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK LDPE LENTUR LANDAS PACU. *Teknika*, 4(1), 56–62.
- Subagyo, S., & Nana, E. Y. M. (2023). PENGENDALIAN MUTU PELAKSANAAN ASPAL BETON (AC-BC). *Civitech*, V(1), 38–46.
- Sukirman, S. (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. In *Buku*.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (Edisi III.). Instituti Teknologi Nasional.
- Sulianti, I., Ibrahim, Subrianto, A., Monita, A., & Medici. (2019). Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam. *JURNAL FORUM MEKANIKA*, 8(2), 51–62.
- Susilowati, A., Wiyono, E., & Praktiko. (2018). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Hangat Laston AC-WC dengan Penambahan Rediset LQ-1106. *SEMINAR NASIONAL INOVASI VOKASI*, 2(1), 213–222.
- Wahidiyati, P. I., & Akhmad, S. N. (2025). ANALISIS ASPHALT WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BAHAN KAIN POLYSTER DAN RESIN POLYSTRE PADA PERKERASAN JALAN.
- Widianto, B. W., Purwanti, O., Triana, S., & Fauziyah, N. (2025). Penentuan Modulus Resilien Berdasarkan Indirect Tensile Strength (ITS) pada Campuran AC-WC Menggunakan Aspal PG-76 dengan Gradasi KP 14 Tahun 2021. *RekaRacana*:



© 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

Jurnal Teknik Sipil, 11(02), 117–126.

Yofianti, D. (2019). Deformasi Permanen dan Modulus Resilien Campuran AC-BC Modified Menggunakan Aspal Multigrade. *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 7(2), 60–68.

