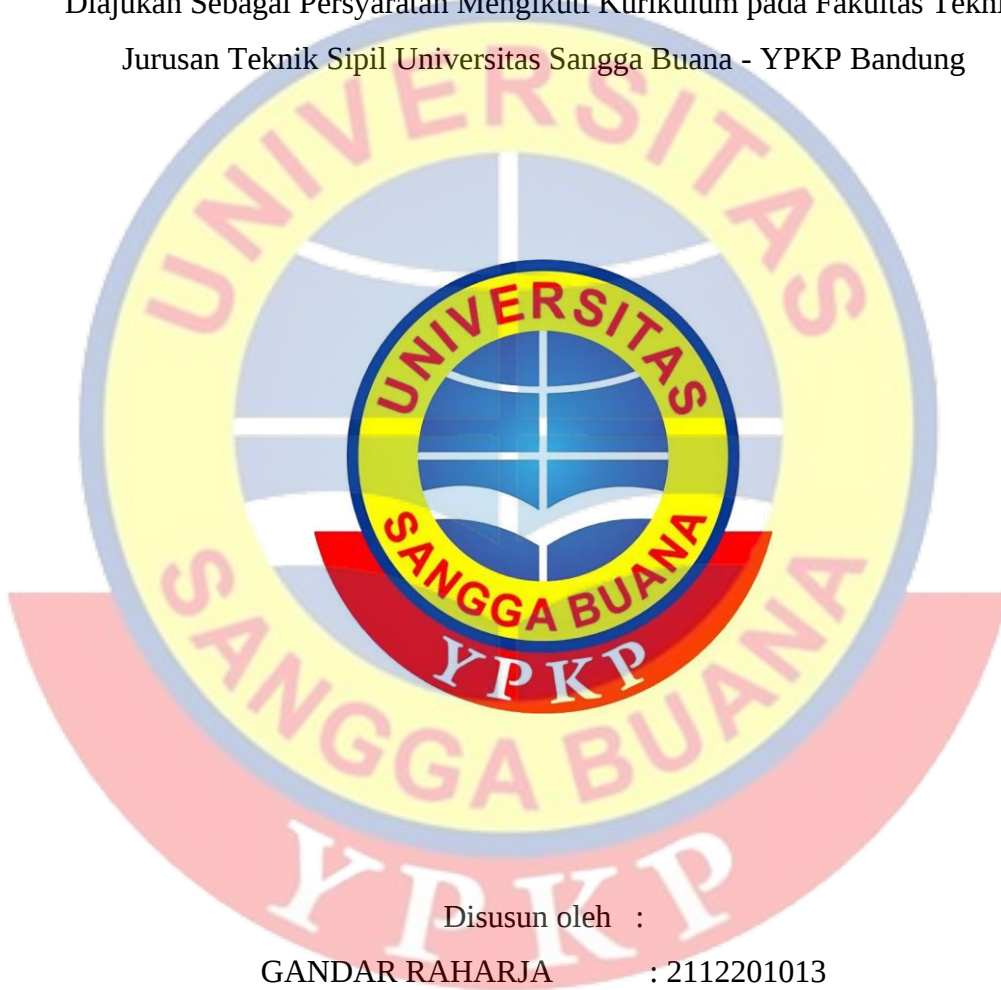


TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *NANO ZEOLITE* PADA ASPAL SHELL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL

Diajukan Sebagai Persyaratan Mengikuti Kurikulum pada Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana - YPKP Bandung



Disusun oleh :
GANDAR RAHARJA : 2112201013

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP
(YAYASAN PENDIDIKAN KEUANGAN DAN PERBANKAN)**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

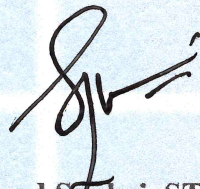
PENGARUH PENAMBAHAN *NANO ZEOLITE* PADA ASPAL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL

Disusun Oleh:

Gandar Raharja
NPM. 2112201013

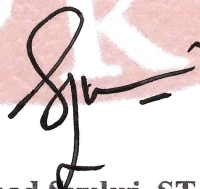
Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan, guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing



Muhammad Syukri, ST., MT
NIP. 432.200.200

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP



Muhammad Syukri, ST., MT
NIP. 432.200.200

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR

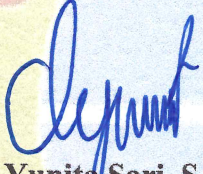
PENGARUH PENAMBAHAN *NANO ZEOLITE* PADA ASPAL PEN 60/70
TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL

Disusun Oleh:

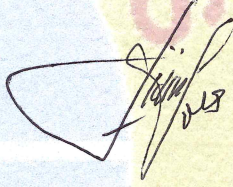
Gandar Raharja
NPM. 2112201013

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan, guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

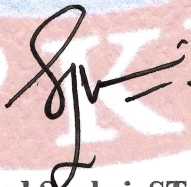
Disetujui Oleh:
Dosen Penguji 1


Dea Yunita Sari, S.T., M.T.
NIP. 432.200.241

Disetujui
Dosen Penguji 2


Dr. H. R Didin Kusdian, S.T., M.T.
NIP. 432.200.091

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP


Muhammad Syukri, ST., MT
NIP. 432.200.200

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang Berjudul *"PENGARUH PENAMBAHAN NANO ZEOLITE PADA ASPAL SHELL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL"* sepenuhnya merupakan hasil karya saya

sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, Oktober 2025
Yang membuat pernyataan,



20
METERAI
TEMPEL
2DE83ANX112345536

Gandar Raharja
(2112201013)

Abstrak

Kerusakan dini pada perkerasan jalan aspal di Indonesia sering disebabkan oleh kondisi iklim tropis, kelembaban, serta kualitas material yang kurang optimal. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja aspal adalah melalui modifikasi dengan bahan tambahan seperti nano zeolite, yang dikenal memiliki luas permukaan tinggi dan kemampuan adsorpsi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan nano zeolite terhadap karakteristik aspal Shell Pen 60/70 dan menentukan komposisi optimum dari campuran tersebut. Metode yang digunakan meliputi pengujian penetrasi, viskositas, daktilitas, titik lembek, titik nyala, kelarutan, berat jenis, serta uji TFOT untuk tiga variasi campuran nano zeolite (1%, 5%, dan 7%). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan nano zeolite menyebabkan penurunan nilai penetrasi dan daktilitas, serta peningkatan nilai viskositas dan titik lembek. Campuran dengan penambahan 5% nano zeolite memberikan keseimbangan terbaik antara elastisitas dan stabilitas termal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penambahan nano zeolite dapat meningkatkan performa fisik dan ketahanan aspal terhadap temperatur tinggi dan penuaan. Komposisi 5% nano zeolite dinilai paling optimal dalam meningkatkan kualitas aspal Pen 60/70 untuk digunakan dalam perkerasan jalan di iklim tropis.

Kata Kunci: Aspal Pen 60/70, nano zeolite, modifikasi aspal, karakteristik aspal, viskositas, penetrasi, TFOT

Abstract

Premature damage to asphalt pavement in Indonesia is often caused by tropical climate conditions, humidity, and suboptimal material quality. One of the efforts to improve asphalt performance is by modifying it with additive materials such as nano zeolite, known for its high surface area and excellent adsorption capacity. This study aims to analyze the effect of adding nano zeolite on the characteristics of Shell Pen 60/70 asphalt and determine the optimal composition of the mixture. The methods used include penetration, viscosity, ductility, softening point, flash point, solubility, specific gravity tests, and TFOT testing for three variations of nano zeolite mixtures (1%, 5%, and 7%). The test results showed that the addition of nano zeolite reduced the penetration and ductility values while increasing the viscosity and softening point. The mixture with 5% nano zeolite addition provided the best balance between elasticity and thermal stability. The conclusion of this study is that the addition of nano zeolite can enhance the physical performance and resistance of asphalt to high temperatures and aging. A 5% nano zeolite composition is considered optimal for improving the quality of Pen 60/70 asphalt, making it suitable for pavement construction in tropical climates.

Keywords: Pen 60/70 asphalt, nano zeolite, asphalt modification, asphalt characteristics, viscosity, penetration, TFOT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang sudah melimpahkan Rahmat dan karunia-Nya, yang menjadikan penulis bisa menuntaskan Laporan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah dan dilimpahkan bagi Nabi Muhammad SAW.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat dalam menuntaskan program studi strata 1 Teknik Sipil di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung dengan judul **”PENGARUH PENAMBAHAN NANO ZEOLITE PADA ASPAL SHELL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL”**

Tidak lupa ucapan terimakasih kami ucapkan begi seluruh pihak sudah berkontribusi pada penulisan Laporan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Dr. Didin Saepudin, S.E., M.Si ; selaku Rektor Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan.
2. Dr. Teguh Nurhadi Suharsono, ST., M.T ; Selaku wakil Rektor I Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan.
3. Bambang Susanto, SE., M.Si; Selaku wakil Rektor II Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan.
4. Dr. Nurhaeni Sikki, S. AP., M.AP; Selaku wakil Rektor III Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan Keuangan dan Perbankan.
5. Slamet Risnanto ST. M. Kom Ph.D Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana Yayasan Pendidikan keuangan dan Perbankan.
6. Muhammad Syukri, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Sekaligus Dosen pembimbing.
7. Dr.Ir.M.Ryanto, MT. selaku Wali Dosen Teknik Sipil 2020.
8. Bapak/Ibu Dosen di Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.
9. Ibunda Didah Sos. Yang telah memberikan segala dukungan, semangat,perhatian, doa serta telah mendidik dan membesarkan penulis dalam limpahan kasih sayang. Terima kasih atas apa yang telah diberikan

kepada penulis yang tidak bisa dibandingkan dan digantikan dengan apapun selamanya.

10. Semua yang pihak yang telah banyak membantu penyusun, baik secara moril maupun materil, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
11. Untuk diri sendiri saya Gandar Raharja terima kasih telah kuat sampai detik ini, yang mampu mengendalikan diri dari tekanan luar. Yang tidak menyerah sesulit apapun rintangan kuliah ataupun proses penyusunan skripsi, yang mampu berdiri tegak ketika dihantam permasalahan yang ada. Terimakasih diriku semoga tetap rendah hati, ini baru awal dari permulaan hidup tetap semangat kamu pasti bisa.

Pada penulisan Laporan Tugas Akhir ini, penyusun sadar bahwa masih ada kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, maka kritik dan saran yang konstruktif sangat kami harapkan untuk dijadikan bekal ilmu dan perbaikan di kemudian hari.

Hormat Saya

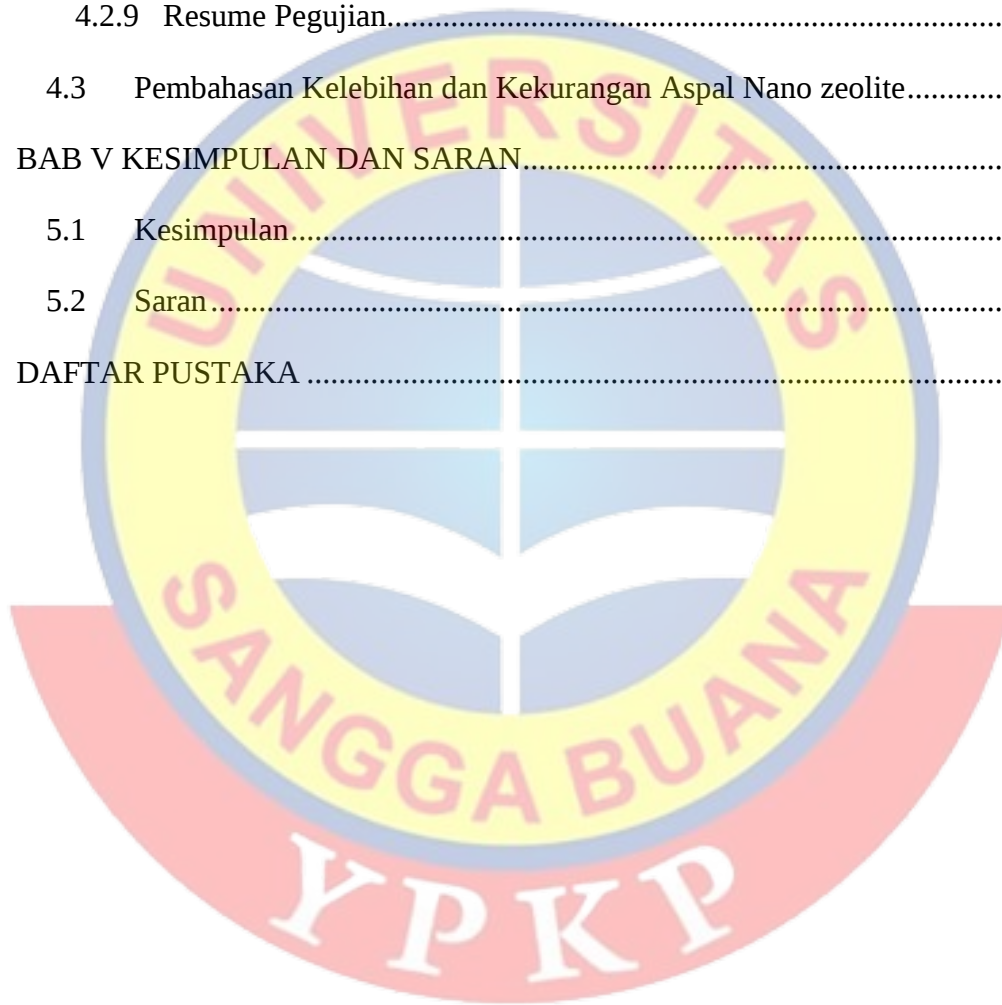
Gandar Raharja
2112201013

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
TUGAS AKHIR.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Maksud	3
1.6 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Jalan.....	4
2.2 Klasifikasi Jalan	4
2.2.1 Klasifikasi berdasarkan fungsi jalan.....	4
2.2.2 Klasifikasi berdasarkan status jalan.....	5
2.2.3 Klasifikasi berdasarkan kelas jalan.....	6
2.3 Perkerasan Jalan	8
2.3.1 Perkerasan Lentur (Flexible Pavement).....	9
2.4 Syarat kekuatan struktural perkerasan jalan	10
2.5 Aspal.....	11
2.6 Jenis-Jenis Aspal	12

2.6.1	Aspal alam	12
2.6.2	Aspal buatan	13
2.6.3	Aspal Keras.....	17
2.6.4	Aspal Modifikasi.....	19
2.7	Analisa Aspal	19
2.8	Nano Zeolite	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		32
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	32
3.2	Metode Penelitian.....	32
3.3	Metode Pengambilan Data	32
3.4	Alat dan Bahan	33
3.5	Metode Pengolahan Data.....	34
3.6	Metode Analisis Data	34
3.6.1	Pencampuran Aspal	34
3.6.2	Pengujian Penetrasi.....	34
3.6.3	Pengujian Viskositas Kinematis	35
3.6.4	Pengujian Titik Lembek.....	35
3.6.5	Pengujian Daktilitas.....	36
3.6.6	Pengujian Titik Nyala	36
3.6.7	Pengujian Kelarutan.....	37
3.6.8	Pengujian Berat Jenis.....	38
3.6.9	Pengujian Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek	38
3.6.10	Pengujian TFOT.....	39
3.6.11	Pengujian Elastisitas (ER).....	40
3.7	Diagram Alir	41
BAB IV PEMBAHASAN.....		42
4.1	Perhitungan Komposisi Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano Zeolite	42
4.2	Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano zeolite	43
4.2.1	Hasil Pengujian Penetrasi.....	43

4.2.2 Hasil Pengujian Viskositas	45
4.2.3 Hasil Pengujian Daktilitas	46
4.2.4 Hasil Pengujian Titik Lembek	48
4.2.5 Hasil Pengujian Titik Nyala.....	50
4.2.6 Hasil Pengujian Kelarutan	53
4.2.7 Hasil Pengujian Berat Jenis	56
4.2.8 Hasil Pengujian TFOT	58
4.2.9 Resume Pegujian.....	61
4.3 Pembahasan Kelebihan dan Kekurangan Aspal Nano zeolite.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Peneterasi Aspal Untuk Berbagai Kondisi Aspal	17
Tabel 2. 2 Ketentuan Aspal Keras.....	18
Tabel 2. 3 Konversi Viskositas	20
Tabel 2. 4 Persyaratan Aspal yang Mengandung Nano zeolite	31
Tabel 4. 1 Pencampuran aspal dan <i>Nano zeolite</i>	42
Tabel 4. 2 Hasil Uji Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano zeolite	43
Tabel 4. 3 Hasil Uji Viskositas Pada Aspal Penetrasi 60/70 dan Aspal Nano zeolite	45
Tabel 4. 4 Hasil Uji Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 dan Aspal Nano zeolite	47
Tabel 4. 5 Hasil Uji Titik Lembek Pada Aspal Pen 60/70 dan Aspal Nano zeolite	49
Tabel 4. 6 Hasil Uji Titik Nyala Pada Aspal Pen 60/70	51
Tabel 4. 7 Hasil Uji Titik Nyala Pada Aspal Nano zeolite	51
Tabel 4. 8 Hasil Uji Kelarutan Pada Aspal Penetrasi 60/70	54
Tabel 4. 9 Hasil Uji Kelarutan Pada Aspal Nano zeolite	54
Tabel 4. 10 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70	56
Tabel 4. 11 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70 dan <i>Nano zeolite</i> 1%....	57
Tabel 4. 11 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70 dan <i>Nano zeolite</i> 1%....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Stuktur Lapisan Perkerasan Kaku	9
Gambar 2. 2 Stuktur Lapisan Komposit.....	9
Gambar 2. 3 Struktur Lapisan Perkerasan Jalan Lentr.....	10
Gambar 2. 4 Alat Pengujian Viscositas Aspal	23
Gambar 2. 5 Alat Pengujian Titik Lembek Aspal.....	23
Gambar 2. 6 Alat Pengujian Daktilitas Aspal	24
Gambar 2. 7 Pengujian Titik Nyala Aspal	25
Gambar 2. 8 Pengujian Berat Jenis Aspal.....	26
Gambar 4. 1 Proses Pencampuran.....	42
Gambar 4. 2 Grafik Penetrasi Aspal Pen 60/70	44
Gambar 4. 3 Alat Pengujian Viskositas (<i>Saybolt Viscosimeter</i>).....	45
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite	47
Gambar 4. 5 Pengujian Titik Lembek.....	48
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Titik lembek Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite.....	49
Gambar 4. 7 Pengujian Titik Nyala.....	50
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite.....	52
Gambar 4. 9 Pengujian Kelarutan	53
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Kelarutan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite.....	55
Gambar 4. 11 Pengujian Berat Jenis	56
Gambar 4. 12 Perbandingan Hasil Pengujian Berat Jenis	57
Gambar 4. 13 Pengujian TFOT Kehilangan Berat.....	58
Gambar 4. 14 Perbandingan Hasil Pengujian Berat Jenis.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

- 1 Surat Pengajuan Pengujian
- 2 Surat balasan pengujian
- 3 Dokumentasi Alat-Alat Pengujian Aspal
- 4 Dokumentasi Bahan-Bahan Pengujian Aspal
- 5 Dokumentasi Pengujian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur transportasi darat, seperti jalan, sangat krusial bagi pertumbuhan dan pembangunan suatu wilayah. Selain memfasilitasi perjalanan dan perpindahan produk, jalan mendorong perekonomian, memastikan seluruh warga negara mempunyai jangkauan yang serupa terhadap layanan publik, dan menghubungkan berbagai wilayah di negara ini. Pembangunan berkelanjutan suatu wilayah dapat dipercepat dengan jaringan jalan yang memadai karena memfasilitasi integrasi dengan pusat-pusat ekonomi dan sosial. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur jalan merupakan komponen utama dalam rencana pembangunan nasional dan daerah.

Salah satu sumber daya alam Indonesia, *nano zeolite*, menunjukkan potensi sebagai material inovatif berbiaya tinggi yang dapat melindungi permukaan jalan dari keausan akibat cuaca dan gesekan roda kendaraan. Jika ingin campuran aspal awet dan berkinerja lebih baik, maka perlu memastikannya memiliki struktur yang kokoh, nilai stabilitas yang tinggi, dan tahan terhadap deformasi plastis. Komponen perkerasan jalan harus dievaluasi secara cermat dalam perencanaan perkerasan untuk memastikan kualitasnya memadai dan memenuhi semua spesifikasi kinerja.

Sebagai negara tropis, Indonesia bergantung pada perkerasan aspal, lapisan permukaan jalan yang tersusun atas campuran agregat bergradasi kontinu dan aspal menjadi pengikat, untuk sebagian besar jaringan jalannya. Campuran aspal rentan terhadap degradasi di iklim tropis yang lembap akibat curah hujan dan kelembapan yang tinggi. Air yang merembes ke dalam pori-pori campuran merupakan penyebab utama kegagalan perkerasan aspal, yang pada gilirannya merusak struktur dan fungsi perkerasan. Jalan aspal akan kehilangan sebagian fungsinya seiring waktu karena hal-hal seperti kualitas aspal yang buruk, genangan air, kelembapan yang berlebihan, radiasi UV, dan cuaca buruk (Tauste et al., 2018).

Salah satu solusi untuk masalah ini adalah memperpanjang umur rencana jalan dan mempertahankan kinerja optimalnya dengan memodifikasi campuran aspal dengan elemen tambahan yang membuatnya lebih tahan lama dan stabil terhadap pengaruh lingkungan.

Sangat penting untuk menciptakan campuran aspal jalan yang lebih tangguh, tahan lama, dan tahan terhadap kerusakan. Mencoba berbagai senyawa, seperti *nano zeolite*, adalah salah satu cara untuk melakukannya. Sebagai alterasi aspal, *nano zeolite* merupakan salah satu dari beberapa material yang memungkinkan. Ada peluang untuk mengubah *nano zeolite*, sumber daya alam di Indonesia, menjadi produk yang bernilai.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjabaran latar belakang masalah ada, dirumuskan permasalahan seperti berikut :

- a. Berapa perbandingan campuran *nano zeolite* yang memiliki kualitas paling baikpal pen 60/70 ?
- b. Berapa perbandingan campuran *nano zeolite* yang memiliki kualitas paling baik untuk aspal pen 60/70 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilangsungkannya penulisan penelitian ini yaitu :

- a. Untuk mengetahui kualitas dan pengaruh aspal pen 60/70 dengan bahan tambah *nano zeolite*.
- b. Mengetahui nilai kualitas dari aspal pen 60/70 yang di campurkan *nano zeolite* ,serta mendapatkan persentase campuran yang paling optimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan penelitian ini yaitu :

- a. Bisa dijadikan bahan inovasi terbaru dari bahan campuran perkerasan jalan beraspal.
- b. Dapat dijadikan bahan penelitian selanjutnya atau dikembangkan yang berkaitan dengan perkerasan jalan beraspal.
- c. Dapat digunakan sebagai masukan, referensi maupun evaluasi dalam perancangan perkerasan jalan.

1.5 Maksud

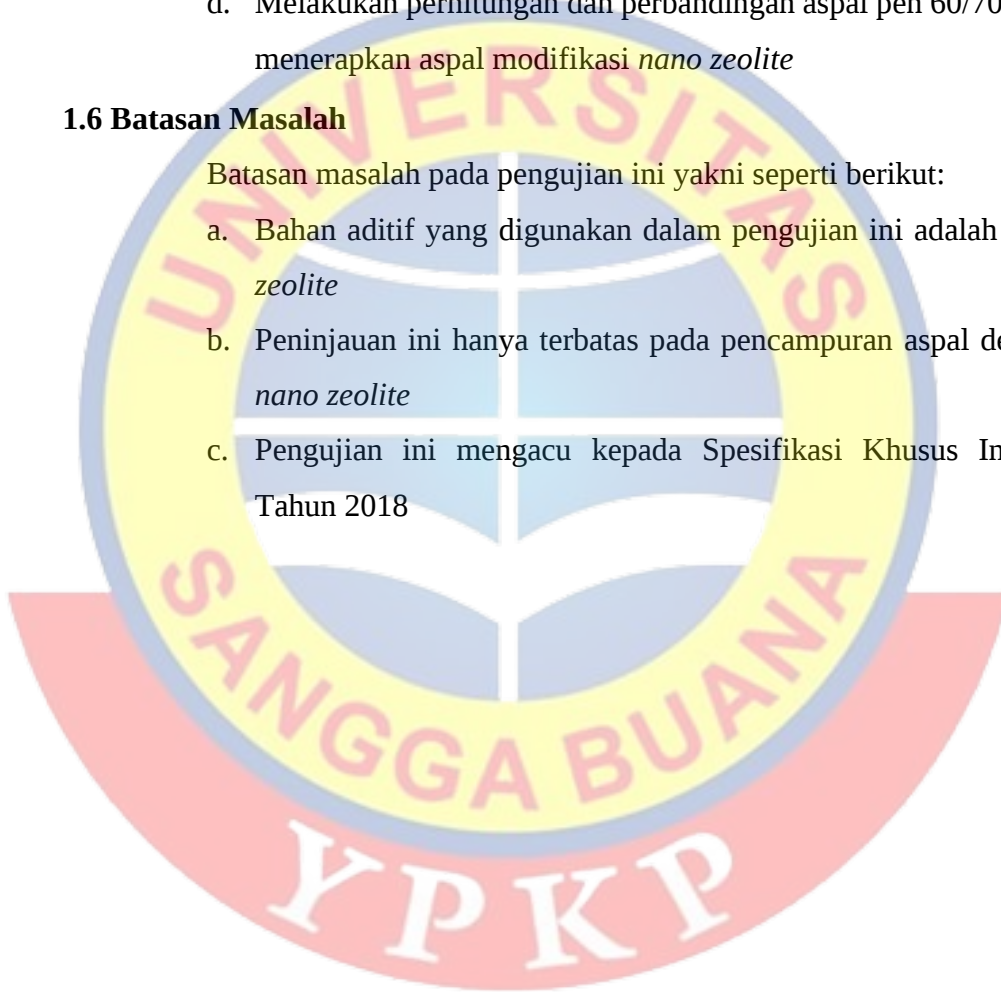
Maksud dari penelitian ini adalah :

- a. Menguji aspal pen 60/70 sesuai dengan parameter aspal keras.
- b. Melakukan pencampuran aspal pen 60/70 dengan bahan aditif *nano zeolite*.
- c. Membuat benda uji sebanyak 3 persentase penambahan *nano zeolite*.
- d. Melakukan perhitungan dan perbandingan aspal pen 60/70 yang menerapkan aspal modifikasi *nano zeolite*

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengujian ini yakni seperti berikut:

- a. Bahan aditif yang digunakan dalam pengujian ini adalah *nano zeolite*
- b. Peninjauan ini hanya terbatas pada pencampuran aspal dengan *nano zeolite*
- c. Pengujian ini mengacu kepada Spesifikasi Khusus Interim Tahun 2018



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan

Jalan didefinisikan sebagai prasarana transportasi darat berdasarkan UU No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Hal ini mencakup tidak hanya jalan itu sendiri, tetapi juga bangunan dan peralatan pendukung yang digunakan untuk lalu lintas permukaan, bawah permukaan, atau udara, kecuali rel kereta api, jalan truk, dan jalan kabel.

2.2 Klasifikasi Jalan

Menghubungkan masyarakat pedesaan tingkat rendah (seperti dusun, desa, atau kota) dengan jalan yang lebih tinggi merupakan fungsi utama jalan desa. Jalan desa mungkin tidak memiliki skala layanan yang sama dengan jalan raya di tingkat nasional atau provinsi, tetapi jalan desa sangat penting bagi kemampuan penduduk pedesaan untuk bepergian, mendistribusikan hasil panen, dan mengakses layanan penting. Ada tiga cara utama untuk mengklasifikasikan jalan di Indonesia: berdasarkan fungsi atau peran, status, dan kelas jalan. Dengan mengklasifikasikan jalan berdasarkan penggunaan dan kemampuannya untuk mendukung sistem transportasi nasional, kita dapat mengendalikan desain, pembangunan, dan pemeliharaannya dengan lebih baik.

2.2.1 Klasifikasi berdasarkan fungsi jalan

1) Jalan Arteri

Digunakan untuk perjalanan jarak jauh dengan kecepatan > 60 km/jam, jalan-jalan ini merupakan bagian dari sistem transportasi utama. Lebar jalan > 8 meter. Biasanya, kapasitas jalan arteri melebihi volume lalu lintas rata-rata. Selain itu, aktivitas di lingkungan sekitar cenderung tidak mengganggu jalan-jalan tersebut.

2) Jalan kolektor

Mobil yang menempuh jarak sedang dengan lebar > 7 meter dan kecepatan > 40 km/jam dapat diakomodasi. Umumnya, jalan

kolektor dapat menampung lalu lintas rata-rata. Jalan kolektor serupa dengan jalan arteri karena tidak mengalami kemacetan lokal.

3) Jalan lokal

Jalan ini diperuntukkan bagi kendaraan dengan jarak tempuh pendek dengan kecepatan kendaraan mencapai >40 km/jam dan mempunyai lebar jalan >5 m.

4) Jalan lingkungan

Transportasi di jalan ini terbatas pada jarak yang pendek dan kecepatan yang lebih lambat.

2.2.2 Klasifikasi berdasarkan status jalan

1) Jalan Nasional

Bisa dibilang jalan ini menghubungkan ibu kota provinsi. Yang termasuk jalan raya nasional adalah:

- a. Jalan Arteri Primer
- b. Kolektor Primer
- c. Tol, dan
- d. dStrategis Nasional

2) Jalan Provinsi

Jaringan jalan yang menghubungkan ibu kota provinsi dan kabupaten/kota. Jalan provinsi terdiri dari:

- a. Jalan Kolektor Primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten atau kota
- b. Jalan Strategis Provinsi

3) Jalan Kabupaten

Rute yang menghubungkan ibu kota berbagai kabupaten atau kota, atau bahkan kecamatan, dikenal sebagai jalan raya kabupaten. Sebagai alternatif jalan raya daerah dan pusat, jalan kabupaten menghubungkan komunitas yang lebih kecil. Komponen jalan kabupaten meliputi:

a. Jalan kolektor primer

Jalan kabupaten sering kali memiliki jalan kolektor utama, yang berbeda dari jalan raya provinsi dan nasional.

b. Jalan lokal primer

Jalan raya kabupaten dengan jalan lokal primer dapat menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, ibu kota kecamatan dengan pusat kegiatan desa, dan seterusnya.

c. Jalan sekunder

Jalan kabupaten yang bukan merupakan bagian jalan provinsi atau jalan sekunder kota disebut jalan sekunder pada jalan kabupaten.

d. Jalan strategis kabupaten

4) Jalan Kota

Memiliki kemampuan untuk menghubungkan pusat layanan kota ke rumah atau sebidang tanah.

5) Jalan Desa

Di daerah pedesaan, jalan-jalan ini bukan jalan kabupaten, melainkan jalan utama dan lokal. Jalan desa merupakan jenis jalan yang paling umum, menghubungkan wilayah-wilayah yang lebih kecil.

2.2.3 Klasifikasi berdasarkan kelas jalan

1) Fungsi lalu lintas berperan penting dalam mengendalikan lalu lintas dan memastikan jalan terawat dengan baik.

2) Beban gandar maksimum yang diizinkan dan dimensi kendaraan dipengaruhi oleh daya dukung jalan.

2.2.3.1 Pengelompokan jalan berdasarkan kelas jalan terdiri dari:

a. Jalan Kelas I

Kendaraan bermotor dengan lebar 2.500 mm, panjang 18.000 mm, dan beban gandar > 10 ton diizinkan memanfaatkan jalan raya Golongan I yang merupakan jalan arteri dan jalan lokal.

b. Jalan Kelas II

Jalan Kelas II meliputi jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan; kendaraan bermotor di jalan ini tidak boleh > 2.500 mm, panjang 12.000 mm, dan berat 10 ton pada setiap gandar. Kontainer dapat melintas di jalan Kelas II.

c. Jalan Kelas III

Jalan Kelas III terbagi kepada 3 kelas, yaitu:

- Jalan kelas III A

Jalan raya Kelas III A meliputi jalan arteri dan kolektor dan cocok untuk kendaraan bermotor dan kendaraan dengan beban sampai dengan 8 ton, panjang 1800 mm, dan lebar 2500 mm.

- Jalan kelas III B

Jalan Golongan III B merupakan jalan kolektor yang diperbolehkan untuk dilalui oleh kendaraan bermotor atau kendaraan pengangkut muatan dengan dimensi lebar tidak > 2500 mm, panjang tidak > 1200 mm, dan berat tidak > 8 ton.

- Jalan kelas III C

Kendaraan bermotor atau kendaraan pengangkut barang dengan ukuran lebar tidak > 2.100 mm, panjang 900 mm, dan berat 8 ton diperbolehkan menggunakan jalan raya Golongan III C yang merupakan jalan lingkungan dan jalan lokal.

d. Jalan Kelas Khusus

Kendaraan bermotor yang memenuhi spesifikasi Jalan Kelas Khusus meliputi jalan arteri yang memiliki lebar > 2.500 mm, panjang > 18.000 mm, tinggi > 4.200 mm, dan mampu menahan beban gandar > 10 ton.

Dalam perancangan perkerasan jalan, perlu diperhatikan kriteria kemampuan menahan beban dan menyalurkan beban (S. Sukirman, 1999) sebagai berikut:

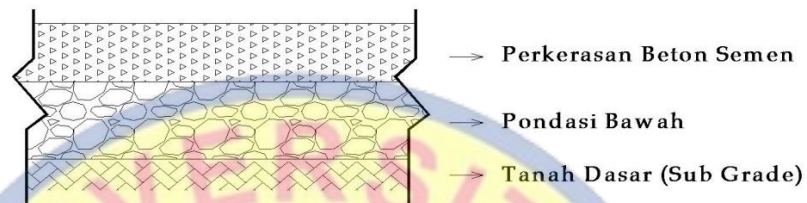
- a) Ketebalan yang memastikan tanah dasar terdukung secara memadai oleh lalu lintas.
- b) Kedap air, sehingga hujan dan salju tidak dapat menembusnya.
- c) Permukaan permeabel yang memungkinkan air mengalir dengan cepat jika terjadi hujan.
- d) Menahan beban yang diberikan tanpa mengalami deformasi yang substansial; oleh karena itu, kekuatan.

2.3 Perkerasan Jalan

Di sisi lain, perkerasan aspal lebih nyaman digunakan dibandingkan alas dan roda kendaraan yang digunakan untuk menyediakan layanan transportasi. Perkerasan bertanggung jawab untuk menahan beban lalu lintas dengan aman dan nyaman, tanpa mengalami kerusakan substansial sebelum masa pakainya habis. Sukirman (2003) menyatakan bahwa perkerasan jalan biasanya dibangun berlapis-lapis untuk memastikan daya dukung, umur pakai, dan efektivitas biaya yang memadai. Menurut Sukirman (1992), kategori-kategori konstruksi permukaan jalan berikut dapat diidentifikasi:

- 1) Dalam pembangunan perkerasan lentur atau *Flexible pavement*, aspal digunakan menjadi pengikat untuk meletakkan beberapa lapisan di atas tanah, yang kemudian dipadatkan. Lapisan ini bertanggung jawab dalam mendistribusikan beban dari lalu lintas ke perkerasan di bawahnya. Alur, terkadang disebut alur roda, dapat terbentuk pada perkerasan lentur akibat beban berulang. Akibat penurunan tanah dasar, jalan juga dapat menjadi tidak rata.
- 2) Semen adalah pengikat dan agregat adalah material dasar yang digunakan dalam konstruksi perkerasan kaku atau *Rigid pavement*. Lapisan subbase dapat diletakkan di atas tanah dasar sebelum memasang pelat beton bertulang atau tidak bertulang. Pelat beton

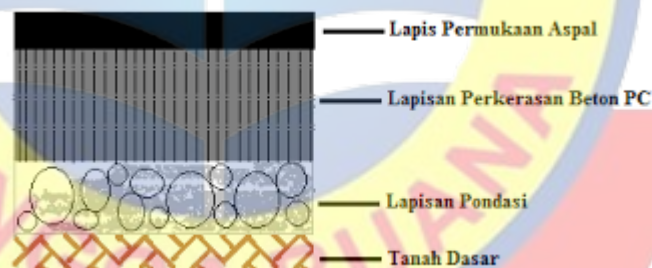
memberikan daya dukung perkerasan pada perkerasan kaku. Jalan tol dan jalan lain dengan lalu lintas padat terkadang menggunakan perkerasan kaku. Ada sejumlah keuntungan menggunakan perkerasan kaku, termasuk masa pakai yang lama dan biaya perawatan yang murah. Meskipun demikian, perkerasan aspal lebih nyaman daripada jalan beton.



Typical Struktur Perkerasan Kaku (rigid pavement)

Gambar 2. 1 Stuktur Lapisan Perkerasan Kaku

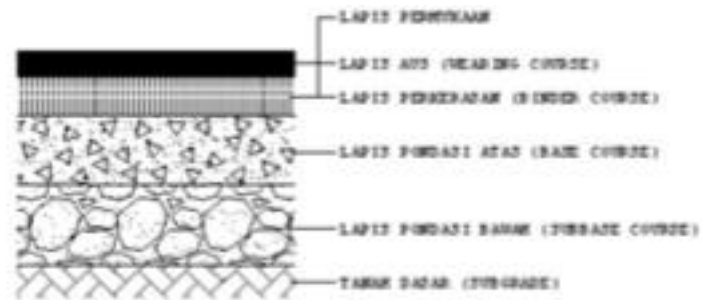
- 3) Elemen perkerasan kaku dan fleksibel digabungkan dalam konstruksi perkerasan komposit atau *Composite pavement*. Perkerasan keras diletakkan di atas perkerasan lentur, atau sebaliknya.



Gambar 2. 2 Stuktur Lapisan Komposit

2.3.1 Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)

Dengan memanfaatkan aspal menjadi perekat, perkerasan lentur mampu mencapai sifat perkerasan yang lebih lunak, deformasi yang lebih besar, dan masa pakai hingga 20 tahun (dengan memperhitungkan peningkatan lalu lintas tahunan), semuanya dengan syarat konstruksi dilakukan dengan benar dan material yang digunakan mematuhi standar desain dan spesifikasi. Selain itu, rekonstruksi yang lebih besar tidak boleh dipertimbangkan sebelum perbaikan dan pemeliharaan yang lebih kecil diselesaikan secara berkala.



Gambar 2. 3 Struktur Lapisan Perkerasan Jalan Lentr
Fungsi masing-masing lapisan tersebut adalah :

a. Lapis Permukaan.

Lapisan paling atas perkerasan jalan dikenal sebagai lapisan permukaan. Lapisan permukaan dapat memiliki berbagai fungsi, seperti:

1. Struktural, yang membantu menahan dan mendistribusikan beban vertikal dan horizontal (gaya geser) yang diterima perkerasan dari kendaraan.
2. Non Struktural, pada konteks ini mencakup :
 - 1) Lapisan yang kedap air, sehingga tidak dapat menembus perkerasan di bawahnya.
 - 2) Lapisan ini memberikan permukaan datar yang dapat dilalui kendaraan dengan mudah.
 - 3) Membuat permukaan tidak licin, yang merupakan fitur keselamatan penting untuk lalu lintas.
 - 4) Keempat, lapisan ini berfungsi sebagai lapisan yang dapat dipakai, artinya lapisan ini dapat diganti ketika sudah aus.

2.4 Syarat kekuatan struktural perkerasan jalan

Pada perancangan perkerasan jalan, perlu diperhatikan kriteria kemampuan menahan beban dan menyalurkan beban (S. Sukirman, 1999) seperti berikut:

- a. Ketebalan yang cukup untuk mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap air, yang menjadikan air tidak dapat menembus ke lapisan

bawah.

- c. Permukaan berpori yang memfasilitasi drainase air hujan dengan cepat.
- d. Kekuatan yang cukup untuk menahan beban tanpa melengkung karena beratnya sendiri.

2.5 Aspal

Aspal, yang menggabungkan sifat elastis dan viskos, adalah material berwarna coklat tua. Aspal dapat berubah bentuk ketika terkena beban atau panas, tetapi masih dapat kembali ke bentuk semula dalam kondisi tertentu berkat sifatnya. Aspal, salah satu komponen perkerasan jalan, meleleh pada suhu tertentu dan menjadi lebih mudah dicampur dengan agregat. Di sisi lain, ketika suhu menurun, aspal mengeras kembali dan membentuk ikatan yang kuat dengan agregat, menghasilkan lapisan perkerasan tebal yang dapat menahan beban lalu lintas. Karena sifatnya yang lunak dan daya rekat yang sangat baik pada struktur perkerasan, aspal merupakan material kunci dalam pembangunan jalan karena sifat termalnya.

Aspal, perekat dengan sifat melunakkan dan melelehkan, adalah campuran bitumen dan minyak bumi yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk permukaan perkerasan aspal keras maupun fleksibel. Ketika diterapkan pada kondisi cair dan panas, aspal dikenal sebagai aspal keras, aspal panas, semen aspal, atau AC. Tujuan aspal adalah untuk merekatkan batuan ke permukaan jalan, melindunginya dari erosi dan cipratan air. Selain berfungsi sebagai pengikat dan pengisi agregat, aspal juga merupakan material penutup jalan. Aspal juga mengisi ruang antara partikel kasar dan halus.

Kinerja aspal yang diharapkan:

1. Tidak ada deformasi atau alur
2. Aman saat pengerjaan
3. Mudah diimplementasikan
4. Tidak ada retakan

Adapun tuntutan aspal yang ideal, sebagai berikut:

1. Viskositas yang cukup atau kekakuan yang rendah
2. Sangat kaku saat dipanaskan
3. Sangat lentur pada suhu ruangan
4. Daya rekat agregat yang sangat baik

Karakteristik aspal lainnya, yang bergantung pada kualitas aspal yang berubah pada suhu tertentu, meliputi:

1. Kualitas mekanis aspal berkaitan dengan regangan dan tekanan, dan keduanya dipengaruhi oleh waktu. Ketika aspal diberi beban secara cepat dan pada jangka waktu yang lama, aspal akan menjadi elastis.
2. Aspal dapat menjadi plastis ketika beban diberikan secara perlahan dan dalam waktu singkat.
3. Aspal termoplastik merupakan zat yang sangat serbaguna. Konsistensi dan viskositasnya dipengaruhi oleh variasi suhu. Viskositas aspal akan menurun, menjadikannya lebih encer atau lebih cair, jika suhu bervariasi secara signifikan. Untuk aplikasi perkerasan keras, aspal dengan viskositas rendah lebih disukai karena dapat mengikat batuan secara merata dan efektif.
4. Keempat, regangan akan terbentuk pada aspal yang belum diolah karena sifat tiksotropiknya. Aspal pada akhirnya akan memadat.

2.6 Jenis-Jenis Aspal

Aspal alami dan sintetis adalah dua jenis aspal utama yang digunakan dalam bahan pengaspalan jalan.

2.6.1 Aspal alam

Banyak sebutan untuk aspal alam antara lain aspal batu dan aspal gunung. Aspal Pulau Buton, atau lebih sering disebut asbuton, adalah salah satu contohnya. Aspal danau merupakan jenis aspal alam terbesar yang ditemukan di Trinidad. Aspal

danau merupakan kombinasi berbagai unsur organik, bitumen, dan mineral. Hal ini menghasilkan titik lembek yang tinggi dan tingkat penetrasi yang rendah. Oleh karena itu, untuk mendapatkan tingkat penetrasi yang tepat, aspal keras harus dicampur dengan aspal danau.

Asbuton, material perkerasan jalan tradisional, telah digunakan sejak tahun 1920. Kandungan aspal dalam asbuton, sebuah batuan, berkisar antara dua belas persen hingga tiga puluh lima persen. Kadar bitumen dalam asbuton dapat berkisar dari sangat rendah hingga cukup tinggi. Aspal dapat dibuat dari batuan ini dengan terlebih dahulu mengekstraknya dan kemudian menggabungkannya dengan minyak yang melunakkannya.

Aspal alam bisa diklasifikasikan ke dalam:

- a. Aspal gunung (*Rock Asphalt*) contoh: aspal dari Buton
- b. Aspal danau (*Lake Asphalt*) contoh: aspal dari Bermudus Trinidat

Dari kemurniannya yakni seperti berikut:

- a. Murni dan hampir murni (Bermuda Lake Asphalt)
- b. Tercampur dengan mineral di Pylau Buton, Aspal gunung (*Rock Asphalt*) contoh: aspal dari Buton, Trinidat, Prancis dan Swiss

2.6.2 Aspal buatan

Varietas ini diperoleh melalui penyulingan minyak bumi. Akibatnya, aspal biasanya diekstraksi dari minyak bumi, yang merupakan bahan baku dengan konsentrasi aspal yang tinggi.

Aspal yang dihasilkan dari produk sampingan proses penyulingan minyak bumi di kilang minyak yang tidak layak untuk diproses ulang dikenal sebagai aspal minyak bumi. Nilai penetrasi aspal memungkinkan pengkategorian ke dalam beberapa kategori, termasuk:

a. Pen 40/50

- Kekerasan: Cukup keras.
- Penggunaan: Cocok untuk daerah dengan suhu tinggi dan beban lalu lintas berat. Aspal jenis ini mempunyai durabilitas yang baik terhadap deformasi akibat panas.
- Contoh Penggunaan: Lapisan permukaan jalan tol atau jalan raya utama.

b. Pen 60/70

- Kekerasan: Sedang.
- Penggunaan: Fleksibel dan cocok untuk berbagai kondisi cuaca. Sering digunakan pada lapisan permukaan jalan arteri atau kolektor.
- Contoh Penggunaan: Jalan lingkungan perumahan, jalan kabupaten.

c. Pen 80/100

- Kekerasan: Lunak.
- Penggunaan: Cocok untuk daerah dengan suhu rendah. Sering digunakan pada lapisan permukaan jalan di daerah pegunungan atau daerah dengan cuaca dingin.
- Contoh Penggunaan: Jalan di daerah pegunungan, jalan di daerah beriklim dingin.

Jika nilai penetrasi aspal rendah, aspal akan mengeras, dan jika tinggi, aspal akan meleleh atau melunak. Karena aspal melunak pada suhu tinggi, mempertahankan suhu pencampuran yang konsisten menjadi sulit, terutama di lingkungan Indonesia yang panas.

Agar aspal lebih mudah dicampur dengan agregat dan dipadatkan, aspal sering dipanaskan hingga suhu antara 110°C dan 170°C selama pemrosesan. Nilai penetrasi dan kekerasan aspal dipengaruhi oleh penguapan minyak yang terkandung dalam material ketika dipanaskan berulang kali dalam waktu lama. Aspal yang tidak menembus dalam dapat teroksidasi,

yang membuatnya hancur dan kehilangan daya rekatnya, yang pada gilirannya menyebabkan partikel terlepas dan terurai. Oleh karena itu, 50 merupakan nilai minimum untuk nilai penetrasi aspal di Indonesia.

Dengan menggunakan metode Burda/Burtu (Permukaan) dan teknologi penetrasi makadam, pembangunan perkerasan dapat dilakukan di wilayah dengan volume lalu lintas rendah dan hanya kendaraan dengan beban gandar ringan. Untuk aplikasi Burda, aspal penetrasi rendah ideal, seperti Pen 40/50. Aspal dibawa dalam drum dan kemudian dipanaskan menggunakan kayu bakar langsung di lokasi. Untuk mengisi celah, aspal yang telah dipanaskan dituangkan langsung ke permukaan batu pecah. Jika perlu mengisi celah di lapisan permukaan untuk mencegah air masuk, gunakan aspal Pen 40/50 karena cepat kering.

Aspal lunak, yang memiliki tingkat penetrasi tinggi, digunakan untuk membuat beton aspal. Aspal kehilangan daya rekatnya karena penguapan minyak yang cepat selama proses pencampuran dan pengiriman yang panjang. Aspal Pen 80/100 dengan gradasi celah digunakan pada tahun 1980-an oleh produsen lembaran canai panas (HRS) untuk meningkatkan ukuran rongga antar butiran. Permukaan menjadi lebih fleksibel dan kecil kemungkinannya pecah ketika kadar aspal ditingkatkan, sehingga mengurangi kemungkinan berlubang. Permukaan bergelombang mungkin disebabkan oleh aspal yang terlalu lentur dan lunak. Saat melaju dengan kecepatan tinggi, hal ini dapat menyebabkan getaran dan hilangnya kendali. Oleh karena itu, aspal dengan tingkat penetrasi 60/70 merupakan material perkerasan aspal yang dirancang untuk aspal minyak bumi.

Aspal Minyak dibedakan sebagai berikut:

1) Aspal Cair

Di suhu ruang, aspal cutback berwujud cair karena aspal cair ialah kombinasi aspal semen dan agen distilasi minyak bumi. Lapisan dasar jalan terbuat dari aspal cair, yang dapat berupa MC-30, MC-70, atau MC-250. Sebagai pilihan tambahan, aspal cair RC-70 atau RC-250 dapat diaplikasikan sebagai lapisan perekat.

2) Aspal Emulsi

Karena muatan listrik yang sudah ada di dalam aspal, aspal tersebut dicampur dengan air dan zat pengemulsi untuk membentuk aspal emulsi. Penggiling koloid digunakan untuk mencampur aspal dengan air dan katalis. Setelah tiga bulan, aspal emulsi dapat dikeluarkan dari penyimpanan dan akhirnya mengendap di dasar drum. Mengocok atau menggelindingkan emulsi sedikit saja dapat memulihkan ikatannya. Sebelum ikatan dalam emulsi terlepas, aspal emulsi paling efektif jika diaplikasikan. Umumnya, aspal emulsi digunakan untuk:

- Untuk wilayah tanpa AMP yang menginginkan jalan dengan kualitas yang sama dengan aspal beton, atau untuk area yang melarang pembakaran, termasuk lokasi pengeboran minyak, pelapisan beton aspal campuran dingin merupakan pilihan yang baik.
- Pelapisan *tack coat*, atau kombinasi keduanya untuk digunakan sebagai bahan penambal.

2.6.3 Aspal Keras

Semen aspal, sering dikenal sebagai aspal keras atau panas, yakni jenis aspal yang cair dan dipanaskan. Ketika dibiarkan pada suhu ruangan (25 hingga 30 derajat Celsius), aspal ini mengeras. Semen aspal diproduksi dari beberapa jenis minyak bumi dan mengalami berbagai macam proses manufaktur. Semen aspal dikategorikan berdasarkan nilai viskositas atau penetrasinya, yaitu kekerasan pada suhu 25°C.

Iklim dengan lalu lintas volume rendah menggunakan semen aspal penetrasi tinggi, sedangkan iklim panas dengan lalu lintas volume tinggi memanfaatkan semen aspal penetrasi rendah. Sebuah bahan pengikat yang umum dimanfaatkan pada perkerasan aspal campuran panas adalah aspal keras.

Tabel 2. 1 Penetrasi Aspal Untuk Berbagai Kondisi Aspal

Perkerasan	Iklim			
	Panas Kering	Panas lembab	sedang	Dingin
JALAN RAYA				
BERAT	60-70	60-70	85-100	85-100
RINGAN	85-100	85-100	85-100	85-100

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

Di daerah dengan suhu tinggi dan lalu lintas rendah, aspal penetrasi rendah merupakan pilihan yang lebih disukai, sementara aspal penetrasi tinggi lebih umum digunakan di area beriklim dingin dan dengan lalu lintas pejalan kaki yang lebih sedikit. Karena iklim tropis, curah hujan tinggi, kelembapan, dan kepadatan lalu lintas, aspal semen dengan penetrasi (60/70 dan 80/100) biasanya diterapkan di Indonesia.

Tabel 2. 2 Ketentuan Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastometer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0.01 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperature yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\phi$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTMD2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTMD 5976-00	-	≤ 2.2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :					
11	Berat Yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8	≤ 0.8	
12	Temperature yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\phi$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu Aspal Segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) Pada Temperatur ^o 100 dsn tekanan 2.1 MPa					
15	Temperature yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\phi$) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018

2.6.4 Aspal Modifikasi

Jalan yang lebih tahan beban dan tahan lama dengan biaya perawatan dan perbaikan yang lebih rendah merupakan hasil penambahan aditif pada aspal agar lebih tahan terhadap kerusakan akibat usia; proses ini dikenal sebagai aspal modifikasi atau aspal modifikasi polimer. Aspal modifikasi diwajibkan di Indonesia karena alasan-alasan berikut:

- a. Dengan meningkatkan titik lelehnya, aspal mencapai ketahanan panas. Berikut beberapa bahan yang digunakan:
 1. Polimer berbasis aspal
 2. Karakteristik reologi dan fisik campuran aspal ditingkatkan oleh plastomer polimer.
 3. Elastomer Aspal/Polimer
 4. Kualitas reologi aspal, seperti penetrasi, viskositas, titik leleh, dan elastisitasnya, dapat ditingkatkan dengan menambahkan elastomer polimer ke dalam campuran aspal keras.
 5. Aspal yang lebih lengket meningkatkan daya rekat dan mencegah agregat larut. Akibatnya, aditif berbasis karet atau bahan lengket dan fleksibel lainnya digunakan.
 6. Aspal tahan UV, yang memperlambat proses penuaan perkerasan.

2.7 Analisa Aspal

Berikut beberapa parameter dalam proses analisa aspal :

- a. Pengujian Penetrasi Aspal

Dengan menggunakan beban 100 gram selama 5 detik di ruangan bersuhu 25°C, kedalaman jarum penetrasi ditentukan selama uji penetrasi. Untuk mengetahui seberapa dalam suatu sistem berada

kekerasan aspal. Dalam uji penetrasi, prinsipnya adalah nilai penetrasi berbanding terbalik dengan kekerasan aspal.

b. Pengujian Viskositas Kinematis

Suatu Langkah dalam mengukur ketebalan aspal ialah dengan mengukur berapa detik yang dibutuhkan material untuk melewati gelas 60 ml; viskositas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa aspal akan lebih tahan terhadap penetrasi. Satuan *saybolt furol* (detik) harus dikonversi ke viskositas kinematik (cSt) (lihat Tabel 2.3 untuk konversinya) sebelum nilai viskositas dapat ditentukan.

Tabel 2. 3 Konversi Viskositas

RED WOOD NO. 1	ENGLER (DEGS)	SAY BOLT FUROL (SECS)	SAY BOLT UNIV (SECS)	KINEMATIC VISCOSITY (Cst)
30	1,13		33,70	1,50
35	1,28		38,90	3,48
40	1,47		44,70	5,45
45	1,59		50,50	7,30
50	1,74		56,50	9,05
55	1,90		62,50	10,75
60	2,07		68,20	12,30
65	2,24		74,50	14,20
70	2,40		80,50	15,50
75	2,55		86,50	17,00
80	2,70		92,00	18,50
85	2,86		98,00	20,00
90	3,01		104,00	21,30
95	3,18		110,00	22,70
100	3,43		116,00	24,10
110	3,62		127,00	27,20
120	3,90		132,00	29,20
130	4,11		149,00	31,70
140	4,33	20,20	160,00	34,10
150	4,80	21,20	169,00	36,50
160	5,18	22,10	183,00	39,10
170	5,50	23,10	194,00	41,50

RED WOOD NO. 1	ENGLER (DEGS)	SAY BOLT FUROL (SECS)	SAY BOLT UNIV (SECS)	KINEMATIC VISCOSITY (Cst)
180	5,80	24,10	207,00	44,00
190	6,20	25,10	219,00	46,80
200	6,47	26,10	229,00	49,00
210	6,75	27,20	240,00	52,00
220	7,10	28,20	253,00	54,00
230	7,40	29,30	263,00	57,00
240	7,80	30,40	275,00	59,00
250	8,00	31,30	288,00	61,00
260	8,30	32,20	300,00	63,00
270	8,70	33,30	310,00	66,00
280	9,00	34,50	320,00	68,00
290	9,30	35,60	335,00	71,00
300	9,60	36,70	341,00	73,00
320	10,20	39,00	365,00	78,00
340	11,00	41,0	390,0	83,0
360	11,60	43,0	410,0	88,0
380	12,20	46,0	435,0	93,0
400	12,80	48,0	460,0	97,0
420	13,50	50,0	480,0	102,0
440	14,10	52,0	500,0	108,0
460	14,80	54,0	525,0	112,0
480	15,50	57,0	550,0	118,0
500	16,10	59,0	580,0	122,0
600	19,20	71,0	680,0	147,0
700	22,50	82,0	800,0	172,0
800	25,80	94,0	920,0	197,0
900	28,60	105,0	1050,0	221,0
1000	32,10	118,0	1150,0	245,0
1100	35,00	129,0	1250,0	270,0
1200	39,00	140,0	1360,0	295,0
1300	42,00	153,0	1500,0	322,0
1400	44,00	165,0	1600,0	345,0

RED WOOD NO. 1	ENGLER (DEGS)	SAY BOLT FUROL (SECS)	SAY BOLT UNIV (SECS)	KINEMATIC VISCOSITY (Cst)
1500	48,00	175,0	1700,0	370,0
2000	64,00	235,0	2350,0	495,0
2500	81,00	295,0	2900,0	625,0
3000	96,00	350,0	3450,0	740,0
3500	112,00	410,0	4000,0	860,0
4000	127,00	470,0	4600,0	970,0
4500	142,00	520,0	5100,0	1100,0
5000	160,00	575,0	5630,0	1220,0
5500	175,00	650,0	6300,0	1350,0
6000	190,00	700,0	6800,0	1490,0
6500	208,00	760,0	7700,0	1600,0
7000	225,00	810,0	8000,0	1710,0
7500	240,00	880,0	8600,0	1850,0
8000	259,00	936,0	9200,0	1995,0
8500	272,00	1000,0	9800,0	2100,0
9000	285,00	1080,0	10300,0	2220,0
9500	300,00	1110,0	10900,0	2330,0
10000	320,00	1190,0	11,8	2500,0

Sumber: *Saybolt Furol*

Kita dapat menemukan nilai cSt dengan melakukan interpolasi menggunakan perhitungan berikut jika detik hasil uji viskositas (*Saybolt furol*) tidak ada dalam Tabel 2.3:

$$- \frac{A}{B} \times C = \dots + D \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

A = hasil dalam satuan detik (*Saybolt Furol*) – nilai cSt terkecil

B = nilai satuan detik (*Saybolt Furol*) terbesar - nilai satuan detik (*Saybolt Furol*) terkecil

C = nilai satuan cSt terbesar – nilai terkecil

D = nilai cSt terkecil



Gambar 2. 4 Alat Pengujian Viscositas Aspal

c. Pengujian Titik Lembek Aspal

Titik lembek atau kelelahan aspal dapat diketahui dengan menjatuhkan bola baja dari sebuah cincin ke aspal dan mengamati turunya hingga mencapai suhu tertentu dan menyentuh dasar pelat kuning. Hal-hal berikut perlu diperhatikan:

- Suhu pemanasan aspal
- Lamanya pemanasan aspal
- Kecepatan pemanasan

Apabila dalam pengujian dilakukan duplo, perbedaan suhu melebihi 1°C maka pengujian diulang



Gambar 2. 5 Alat Pengujian Titik Lembek Aspal

d. Pengujian Daktilitas Aspal

Daktilitas aspal merupakan ukuran elastisitas dan ketahanan retaknya pada lapisan perkerasan. Sebagai prosedur standar untuk menguji daktilitas, aspal di suhu 25 °C ditarik melalui kecepatan 5 cm/menit sampai pecah. Perlu diingat bahwa uji daktilitas dianggap gagal jika sampel tenggelam ke dasar mesin uji atau mengapung di permukaan air.



Gambar 2. 6 Alat Pengujian Daktilitas Aspal

e. Pengujian Elastisitas (Elastic Recovery)

Elastisitas ialah sebuah uji melalui pemanfaatan alat daktilometer. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan sifat elastis aspal.

Berikut tata cara perhitungan uji elatisitas pada aspal:

$$\% \text{ Elastisitas} = \frac{E - X}{E} \times 100 \dots\dots\dots(2.2)$$

Ket :

E = Panjang awal benda uji, cm

X = Panjang benda uji setelah mengalami elastisitas

Adapun prosedur pengujian elastisitas yaitu:

7. Benda uji menggunakan aspal asli

Pengujian pertama dilakukan menggunakan sampel aspal yang belum pernah digunakan sebelumnya. Gunakan kompor listrik untuk memanaskan aspal hingga mencapai suhu $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

8. Benda uji menggunakan aspal residu

Aspal bekas uji TFOT digunakan sebagai sampel untuk

uji residu aspal. Aspal dipanaskan kembali di atas pembakar listrik hingga suhu $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

f. Pengujian Titik Nyala Aspal

Tujuan uji titik nyala pada aspal adalah untuk menentukan suhu penyalaan. Aspal dengan titik nyala rendah kemungkinan mengandung sedikit minyak ringan. Untuk menentukan titik nyala, ikuti langkah-langkah berikut:

1. Catat pembacaan tekanan barometrik selama pengujian. Lakukan penyesuaian yang diperlukan pada titik nyala, titik bakar, atau keduanya jika tekanan menyimpang dari 101,3 kPa (760 mmHg): $^{\circ}\text{C} + 0,25(101,3 - K) (2,3)$ adalah titik nyala/titik bakar yang telah dikoreksi.
2. Bulatkan nilai titik nyala dan titik bakar yang telah diperbarui ke derajat Celcius terdekat.



Gambar 2. 7 Pengujian Titik Nyala Aspal

g. Kelarutan

Tujuan dari uji kelarutan adalah untuk mengetahui seberapa banyak aspal yang larut dalam trikloroetilen TCE. Langkah-langkah untuk menghitung uji kelarutan adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Terlarut} = 100 - \left(\frac{C-A}{B} \times 100\% \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

Diketahui:

A = Berat saringan

B = Berat aspal

C = Berat saringan + bagian tak larut

Penilaian:

Ketidaklarutan bitumen > 0.5% mengindikasikan:

- a) Kontaminasi bitumen dengan mineral lain
- b) Pemanasan yang berlebihan

h. Pengujian Berat Jenis Aspal

Campuran aspal dan agregat dirancang sebagian berdasarkan uji berat jenis, yang bertujuan untuk menemukan rasio berat aspal terhadap air dalam volume yang serupa di suhu ruangan. Untuk mendapatkan hasil uji berat jenis aspal, lakukan langkah-langkah berikut:

- a) Rumus berat jenis

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{((B-A)-(D-C))} \dots\dots\dots (2.5)$$

Diketahui

A = massa piknometer dan penutup

B = massa piknometer dan penutup berisi air

C = massa piknometer, penutup, dan benda uji

D = massa piknometer, penutup, benda uji, dan air

- b) Rumus berat isi

$$\text{Berat isi} = \text{Berat jenis} - W_t \dots\dots\dots (2.6)$$

Diketahui :

$$W_t = \text{berat jenis} \times W_T$$



Gambar 2. 8 Pengujian Berat Jenis Aspal

i. Pengujian Stabilitas Penyimpanan

Tujuan pengujian stabilitas penyimpanan adalah untuk memastikan berapa lama aspal yang dimodifikasi akan bertahan dalam jangka waktu tertentu. Pengujian titik lembek aspal

digunakan untuk melakukan pengamatan. Langkah-langkah untuk menentukan hasil pengujian stabilitas aspal adalah sebagai berikut:

Stabilitas titik lembek = Bagian atas – Bagian bawah(2.7)

j. Pengujian Kehilangan Berat TFOT Aspal

Aspal dipanaskan berulang kali dalam uji TFOT. Uji TFOT dimulai dengan uji kehilangan berat untuk menilai hilangnya minyak aspal akibat pemanasan berulang, perubahan kinerja aspal akibat penurunan berat, dan durabilitas aspal dalam hal penetrasi dan duktilitas.

Jumlah minyak yang hilang dalam aspal dapat diketahui dengan melakukan uji TFOT. Langkah-langkah untuk menentukan hasil uji TFOT pada aspal adalah sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan Berat} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Ket :

A = Berat wadah

B = Berat wadah + benda uji

C = berat wadah + benda uji setelah TFOT

2.8 Nano Zeolite

Mineral zeolite termasuk dalam kelompok alumino-tektosilikat. Aktivitas vulkanik Tersier muda memainkan peran penting dalam pembentukan alaminya. Sumatra, Jawa, Sulawesi, Nusa Tenggara, dan Maluku adalah lokasi paling umum untuk lebih dari lima puluh endapan zeolit yang telah dilaporkan di Indonesia. Sifat adsorpsi zeolit ini disebabkan oleh keberadaan mineral mordrenit dan klipnoptilolit, yang bersama-sama memiliki kapasitas penyerapan air sebesar 9% (Agustinus, 2019).

Dalam hal kapasitas adsorpsi zeolit, rasio Si/Al adalah yang terpenting. Afinitas zeolit yang tinggi terhadap air dan molekul polar lainnya ditunjukkan oleh rasio Si/Al yang rendah, yang menunjukkan sifat hidrofiliknya. Hal sebaliknya berlaku untuk zeolit, yang mengadsorpsi molekul non-polar dan bersifat hidrofobik jika rasio Si/Al-nya tinggi.

Kekhasan struktur kristal zeolit memberikan sifat-sifatnya, termasuk luas permukaan yang sangat besar. Jones et al. (2006) mencatat bahwa zeolit memiliki efikasi adsorpsi yang tinggi dan dikenal sebagai adsorben selektif.

Mordenit dan klinoptilolit adalah dua jenis zeolit alam yang umum dijumpai di Indonesia. Untuk tujuan adsorpsi, zeolit mordenit dapat dimanfaatkan. Zeolit alam yang diterapkan pada percobaan ini berasal dari Tasikmalaya dan memiliki konsentrasi zeolit total hingga 76,5%. Zeolit alam ini terdiri dari klinoptilolit dalam jumlah yang lebih besar dan mordenit yang lebih melimpah. Beberapa contoh pengotornya adalah feldspar, kuarsa, kalsit, kristobalit, ilit, haloisit, smektit, mika, plagioklas, dan oksida besi.

Kristal alumina silikat terhidrasi dengan kation alkali atau alkali tanah membentuk struktur tiga dimensi yang dikenal sebagai zeolit. Menurut Atikah (2017), material ini bersifat asam dan memiliki lubang seukuran molekul. Zeolit alami dan zeolit sintetis adalah dua jenis utama mineral zeolit. Menurut Wozuk et al. (2017), zeolit dapat terbentuk secara alami sebagai konsekuensi dari proses geologis atau terbentuk secara artifisial melalui interaksi kimia.

Karena distribusi zeolit berukuran mikro yang tidak merata, penggumpalan dapat terjadi ketika aspal dicampur dengannya. Oleh karena itu, pendekatan alternatif untuk mengurangi kemungkinan penggumpalan pada aspal yang dimodifikasi adalah dengan menggunakan elemen zeolit berdimensi nanometer. Istilah "nanomaterial" mengacu pada zat dengan ukuran seratus nanometer atau kurang. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa nanomaterial sangat berbeda dari material alami dalam hal karakteristik fisik, kimia, dan biologisnya. Penggunaan nanopartikel dapat meningkatkan kinerja campuran pada suhu tinggi, meningkatkan viskoelastisitasnya, dan membuatnya lebih tahan terhadap penuaan, kelelahan, dan kerusakan akibat kelembapan (Alavid et al., 2020).

Apa pun yang berukuran antara seratus nanometer hingga satu meter dianggap sebagai nanomaterial. Menurut penelitian sebelumnya, nanopartikel sangat berbeda dari padanannya yang terdapat di alam dalam

hal karakteristik fisik, kimia, dan biologisnya. Telah diketahui pula bahwa nanomaterial memiliki sifat-sifat luar biasa seperti sensitivitas terhadap suhu, duktilitas, luas permukaan, dan ketahanan regangan (Li et al., 2017).

Yang et al. (2013) menyatakan bahwa nanopartikel meningkatkan kualitas aspal dan campuran aspal dengan cara-cara berikut:

- a. Membuat aspal yang dimodifikasi lebih awet dalam penyimpanan
- b. Membuatnya lebih tahan terhadap efek penuaan sinar ultraviolet
- c. Membuatnya kurang rentan terhadap efek presipitasi, salju, dan pencairan
- d. Meningkatkan daya tahan perkerasan aspal
- e. Mengurangi energi dan biaya
- f. Meningkatkan sifat campuran aspal terhadap suhu rendah
- g. Memastikan lebih sedikit perawatan

Terdapat beragam metode untuk menciptakan nanomaterial melalui sintesis atau kreasi. Terdapat dua aliran pemikiran utama di bidang sintesis nanomaterial: pendekatan top-down dan bottom-up. Untuk menerapkan pendekatan top-down, padatan terlebih dahulu direduksi menjadi ukuran nanopartikel. Menurut Setiawan et al. (2018), sintesis fisika adalah proses yang digunakan dalam sintesis nanopartikel dengan metode top-down. Beberapa peneliti telah bereksperimen dengan penggunaan nanopartikel dalam campuran perkerasan jalan. Dalam studi mereka di tahun 2016, Ameri et al. memodifikasi aspal menggunakan karbon nanotube (CNT).

Aplikasi Zeolit pada Pelapis Aspal Zeolit alami dan buatan telah menjadi subjek investigasi terhadap potensi penggunaannya dalam campuran aspal. Sebagai material untuk alterasi aspal, Dubravsky et al. (2015) memanfaatkan zeolit alam. Aspal dengan zeolit memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan titik pelunakan yang lebih tinggi daripada aspal tanpa zeolit, menurut data. Zeolit sintetis dimasukkan ke dalam campuran aspal yang dipanaskan oleh Sentosa et al. (2019). Menurut hasilnya, campuran aspal hangat yang mempertahankan sifat Marshall dicapai dengan menambahkan aditif zeolit 0,3 persen pada suhu pencampuran 30 derajat Celsius lebih rendah dari resep asli. Menambahkan

zeolit sintetis ke dalam campuran aspal yang dipanaskan dapat meningkatkan ketahanan terhadap alur, menurut Mohammed et al. (2020). Dapat dilihat bahwa ada perbedaan sekitar 4,79 mm antara kedalaman alur pada kombinasi aspal panas dan campuran aspal hangat dengan 5% zeolit sintetis, yang menunjukkan bahwa memang demikian. Pengikat aspal dapat ditingkatkan kinerjanya dengan menambahkan nano-zeolit. Ini termasuk perbaikan indeks penetrasi, titik pelunakan, dan modulus kompleks campuran aspal, serta peningkatan ketahanannya terhadap alur (Woszuk et al., 2019). Sebuah studi yang dilakukan oleh Ahmadzadegan et al. (2021) meneliti aplikasi praktis dari dua jenis zeolit sintetis: nano-zeolit dan zeolit granular. Pengujian kekuatan tarik mengungkapkan bahwa sampel yang dimodifikasi nano-zeolit lebih tahan terhadap retak daripada sampel yang dimodifikasi zeolit granular. Lebih lanjut, kedalaman alur lebih dipengaruhi oleh nano-zeolit daripada oleh zeolit granular. Karena reaksi kimia dan dispersi fisik bahan nano dalam aspal, kinerja bahan yang dimodifikasi dengan bahan nano berbeda dari kinerja bahan dengan bahan granular atau berukuran mikro (Yao et al., 2016).

Sifat Mekanik

Epoksi nanozeolit bersifat rapuh dan kaku saat pertama kali dibentuk. Namun, dalam praktiknya, plastik hampir selalu ditambahkan aditif untuk mengubah sifat mekanisnya. Kualitas mekanisnya, seperti kekuatan, elastisitas, keuletan, dan ketahanan sobek, mengalami perubahan substansial.

Contoh Kasus :

Penambahan serat alami pada nano zeolit epoksi meningkatkan kekuatan tarik, elastisitas, dan modulus Young suatu paduan (Rohmawati, 2014).

Temuan uji dari studi tahun 2017 oleh Reni O. Tarru dan rekan-rekannya di Universitas Kristen Indonesia Toraja. Ketika diuji dengan kubus beton berukuran 15 x 15 x 15 cm, campuran 3-5% nano zeolit dan serbuk gergaji meningkatkan kuat tekan menjadi 24,11 MPa, naik dari mutu desain 18,68 MPa. Penambahan 5% nano zeolite epoksi dan 1,5% serbuk

gergaji ke dalam beton polimer dapat meningkatkan kuat tekannya menjadi 24,11 MPa. Menariknya, kombinasi ini mengungguli beton biasa dengan komposisi dan jenis agregat yang identik dalam hal kuat tekan.

Tabel 2. 4 Persyaratan Aspal yang Mengandung Nano zeolite

No	Uraian	Metode Pengujian	Aspal dimodifikasi Nano zeolite
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	Min.50
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	Maks.2000
3	Titik lembek (°C)	SNI 2434-2011	Min.52
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	Min.100
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433-2011	Min.232
6	Kelarutan dalam trikloroetylena (%)	AASHTO T44-03	Min.99
7	Berat jenis	SNI 2441-2011	Maks.1.0
8	Stabilitas penyimpanan : perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D5976 part 6.1	Maks. 2.2
Pengujian residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2440-1991 atau SNI 03-6835-2002	Maks. 0,8
10	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 2456-2011	Min. 54
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	Min. 100
12	Keelastisan setelah pengambilan (%)	SNI 8286-2016	Min. 30

Sumber: (Spesifikasi Khusus Interim 2018)

Parameter diatas digunakan sebagai rujukan untuk mengembangkan standar aspal nano zeolite di Indonesia dengan mempertimbangkan dan menyesuaikan dengan kondisi di Indonesia.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

a. Lokasi Penelitian

Pengujian ini dilaksanakan di UPTD Lab. Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Barat, Arcamanik Kota Bandung.

b. Waktu Penelitian

Waktu dilaksanakannya penelitian ini yakni di bulan Oktober 2024.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang diterapkan pada pengujian ini yakni melalui tahap melakukan uji lab , dan membuat benda uji relevan terhadap standar dan ketentuan yang ada. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Adapun acuan normative untuk parameter yang diterapkan pada pengujian ini yakni seperti berikut:

- | | |
|---------------------------------------|------------------|
| 1. Uji Penetrasi Aspal | SNI 2456:2011 |
| 2. Uji Viskositas Kinematis | SNI 7729:2011 |
| 3. Uji Titik Lembek Aspal | SNI 2434:2011 |
| 4. Uji Daktilitas Aspal | SNI 2432:2011 |
| 5. Uji Elastisitas (Elastic Recovery) | SNI 8286:2016 |
| 6. Uji Titik Nyala Aspal | SNI 2433:2011 |
| 7. Kelarutan | SNI 2438:2015 |
| 8. Uji Berat Jenis Aspal | SNI 2441:2011 |
| 9. Uji Stabilitas Penyimpanan | ASTM D 5976-00 |
| 10. Uji Kehilangan Berat TFOT Aspal | SNI 06 2440 1991 |

3.3 Metode Pengambilan Data

Pengujian ini menggunakan data primer, artinya penulis secara pribadi melakukan pengujian laboratorium yang menjadi dasarnya. Berikut adalah data yang dikumpulkan selama pengujian ini:

1. Nilai Penetrasi
2. Nilai Viskositas Kinematis
3. Titik Lembek
4. Nilai Daktilitas
5. Titik Nyala
6. Nilai Kelarutan
7. Berat Jenis
8. Nilai Stabilitas Penyimpanan
9. Nilai TFOT, Penetrasi setelah TFOT, Daktilitas setelah TFOT dan Nilai Keelastisan setelah TFOT

3.4 Alat dan Bahan

a. Alat

Alat uji yang diterapkan pada pengujian ini yakni sebagai berikut:

1. Penetrometer
2. *Saybolt viscosimeter with thermometer*
3. Pembakar gas (bunsen) atau kompor listrik
4. Daktilometer
5. *Cleveland Open Cup*
6. Piknometer 250ml
7. Piknometer 24ml dan 25 ml
8. Tabung penyaring dan pompa aspirator
9. Aluminium tube
10. Oven

b. Bahan

Bahan yang akan diterapkan pada pengujian ini yakni seperti berikut:

1. *Aspal SHELL dengan Pen.60/70*
2. *Bahan tambah berupa nano zeolite*

3.5 Metode Pengolahan Data

Data yang diambil dari temuan uji di laboratorium kemudian di olah menggunakan Tabel dan Grafik.

3.6 Metode Analisis Data

3.6.1 Pencampuran Aspal

Percobaan pencampuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan *nano zeolite* dengan perbandingan 1%, 5%, dan 7%, dari berat total aspal. Tahapan yang akan dilangsungkan pencampuran ini yakni seperti berikut:

- Panaskan aspal penetrasi 60/70 menggunakan kompor listrik yang sudah disediakan.
- Setelah pemanasan aspal 60/70 dilakukan, pisahkan aspal kedalam cawan untuk aspal penetrasi 60/70 dan untuk aspal dengan campuran *nano zeolite* sebagai benda uji.
- Kemudian masukan *nano zeolite* pada kadar 1%, 5%, dan 7% kedalam cawan berisi aspal.
- Aduk aspal secara bersamaan dengan *nano zeolite*. Ini bertujuan agar aspal *nano zeolite* tidak mengembang sehingga *nano zeolite* larut dalam aspal dan menjadi cairan aspal yang sempurna (tidak menggumpal, tidak mengembang dan menjadi elastis).
- Setelah aspal penetrasi 60/70 sudah tercampur dengan *nano zeolite*, aspal siap dimasukan kedalam cetakan sesuai parameter yang akan diuji

3.6.2 Pengujian Penetrasi

Prosedur uji penetrasi yaitu:

- Isi cawan penetrasi dengan aspal hingga mencapai bagian atas cawan.
- Diamkan pada suhu ruang selama 1,5 jam untuk mendinginkan material yang diuji.
- Rendam spesimen dalam air bersuhu 25°C selama 1,5 jam.
- Setelah memanaskan spesimen hingga 25°C, pindahkan ke

cawan transfer berisi air.

- e. Posisikan jarum tepat menyentuh aspal dengan menyesuakannya.
- f. Setelah 5 ± 1 detik, lepaskan jarum.
- g. Tekan jarum penetrometer.
- h. Tentukan nilai penetrasi dan catat hasilnya.
- i. Catat hasil pengukuran Anda pada lima titik berbeda.

3.6.3 Pengujian Viskositas Kinematis

Prosedur uji viskositas pada aspal yaitu:

- a. Atur temperatur pada 135°C untuk mengukur temperatur pengujian viskositas
- b. Masukkan aspal kemudian panaskan dalam alat dan ukur menggunakan termometer sampai aspal bertemperatur 135°C
- c. Angkat termometer kemudian tutup tabung viskometer dan pasang labu untuk penampung aspal pada posisi yang tepat
- d. Cabut penutup gabus penyumbat dan pada waktu bersamaan hitung dengan pengukur waktu
- e. Waktu pengukuran dihentikan setelah benda uji mencapai tanda batas pada labu penampung
- f. Catat waktu yang didapatkan dalam bentuk detik, kemudian konversikan waktu tersebut dalam saybolt furol detik ke dalam sentistoke viskositas kinematis (cSt)

3.6.4 Pengujian Titik Lembek

Adapun prosedur pengujian titik lembek yaitu:

- a. Letakkan cincin diatas plat kuningan yang telah dioles dengan campuran glycerin
- b. Tuang aspal ke dalam plat kuningan hingga sedikit melewati batas ketinggian plat kuningan dan dinginkan pada suhu ruangan selama 30 menit
- c. Ratakan permukaan benda uji menggunakan skrap semen
- d. Masukkan benda uji kedalam bejana gelas yang beirisi air dingin dengan suhu 5°C

- e. Masukkan bejana gelas yang berisi benda uji kedalam freezer selama 15 menit
- f. Letakan ring dan bola baja pada plat kuningan
- g. Pasang termometer khusus pada penetapan titik lembek
- h. Panaskan bejana pada kenaikan temperatur air 5°C/menit
- i. Letakkan bejana gelas diatas bunsen
- j. Catat perubahan suhu setiap 5°C/detik hingga bola baja pada aspal jatuh menyentuh permukaan plat kuningan

3.6.5 Pengujian Daktilitas

Adapun prosedur pengujian daktilitas yaitu:

- a. Tuang aspal ke dalam cetakan kuningan yang telah dioles dengan campuran glycerin hingga sedikit melewati batas ketinggian cetakan
- b. Diamkan spesimen pada suhu ruang selama 30–40 menit hingga dingin.
- c. Ratakan permukaan spesimen uji dengan menggunakan sisa semen.
- d. Rendam spesimen selama 30 menit dalam bak bersuhu 25°C.
- e. Pasang benda uji pada daktilometer dan tarik benda uji hingga putus
- f. Baca dan catat pengukuran pada benda uji saat putus dalam satuan cm

3.6.6 Pengujian Titik Nyala

Adapun prosedur pengujian titik nyala yaitu:

- a. Isi bagian atas krus Claveland dengan aspal.
- b. Setelah menyetel peralatan pemanas, letakkan krus Claveland di atas pelat.
- c. Posisikan spesimen uji pada penguji sedemikian rupa sehingga sumbunya berjarak 75 mm dari pusat krus.
- d. Pegang termometer tepat di atas spesimen yang akan diuji.
- e. Letakkan penahan udara yang telah disetel posisinya di depan penguji nyala api.

- f. Setelah pemanas dinyalakan, atur laju pemanasan naik $15 \pm 1^{\circ}\text{C}$ per menit hingga spesimen uji turun menjadi 56°C , yang berada di bawah titik nyala. Selanjutnya, ubah pengaturan panas menjadi 5 hingga 6 derajat Celsius per menit.
- g. Setelah suhu mencapai 28°C , ubah putaran pembakar Bunsen untuk mengendalikan nyala api.
- h. Dengan interval 2°C , putar nyala api penguji sedemikian rupa sehingga melintasi permukaan krus setiap detik.
- i. Lanjutkan hingga permukaan benda uji tertutup api selama minimal lima detik.
- j. Gunakan termometer untuk mengukur suhu dan mencatatnya.

3.6.7 Pengujian Kelarutan

Adapun prosedur pengujian kelarutan yaitu:

- a. Masukkan benda uji kedalam Erlenmeyer yang sudah di timbang sebanyak 2 gram
- b. Diamkan benda uji di dalam Erlenmeyer pada suhu ruangan selama beberapa menit
- c. Timbang kembali Erlenmeyer yang sudah berisi aspal
- d. Tambahkan trichloroethylene ke dalam Erlenmeyer, kemudian goyangkan secara berputar sampai benda uji larut dengan trichloroethylene lalu diamkan selama 15 menit
- e. Sipkan cawan Gooch di atas tabung penyaring
- f. Basahi saringan fiber, kemudian saring larutan ke dalam tabung penyaring melalui saringan fiber pada cawan Gooch dengan disertai vacuum dari pompa
- g. Yang tidak larut dalam cawan Gooch dilarutkan terus menerus hingga bersih atau sampai tidak berwarna
- h. lepaskan cawan Gooch dari tabung penyaring, kemudian bersihkan lalu keringkan cawan Gooch pada oven dengan temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 20 menit
- i. kemudian dinginkan pada suhu ruangan selama paling sedikit 20 menit kemudian timbang cawan Gooch yang sudah di oven

untuk di tentukan beratnya

3.6.8 Pengujian Berat Jenis

Tahapan uji berat jenis yaitu:

- a. Tentukan berat kosong piknometer 24 ml dan 25 ml dengan menimbangnya.
- b. Tambahkan air ke dalam piknometer.
- c. Setelah tutup terpasang rapat, letakkan piknometer di dalam bak rendam.
- d. Keluarkan piknometer dan keringkan setelah 15 menit didiamkan.
- e. Tentukan berat air dan piknometer dengan mengukur dan mencatat massa instrumen yang basah.
- f. Pastikan piknometer dalam keadaan bersih dan kering.
- g. Tuangkan benda uji ke dalam piknometer hingga tiga perempat penuh.
- h. Setelah 40 menit, angkat dari api.
- i. Timbang massa benda uji di dalam piknometer dan catat hasilnya.
- j. Isi piknometer dengan air, masukkan benda uji ke dalamnya, dan tutup rapat tanpa menekannya agar udara keluar.
- k. Setelah 30 menit didiamkan pada suhu 25°C, pindahkan benda uji ke dalam bak rendam.
- l. Letakkan piknometer di atas kain bersih dan angkat.
- m. Untuk mengetahui berat air dan benda uji, timbang piknometer basah dan catat massanya.

3.6.9 Pengujian Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek

Adapun prosedur pengujian stabilitas yaitu:

- a. Siapkan alumunium tube berukuran 25,4 mm degan diameter 139,7 mm
- b. Masukan benda uji yang sudah dipanaskan kedalam alumunium tube
- c. Simpan selama 48 ± 1 jam kedalam oven dengan temperatur

$163 \pm 5^{\circ}\text{C}$

- d. Setelah 48 jam keluarkan benda uji kemudian masukan kedalam lemari pendingin dengan temperature $-6,7 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam sampai benda uji mengeras
- e. Selama benda uji dimasukan kedalam oven dan lemari pendingin diamkan dengan keadaan vertikal (berdiri)
- f. Kemudian potong alumunium tube menggunakan scrub semen menjadi 3 bagian, atas bawah dan tengah.
- g. Ambil bagian atas dan bawah alumunium tube, kemudian panaskan kembali di dalam oven dengan temperatur $163 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencair dan terlepas dari alumunium tube
- h. Kemudian masukan benda uji bagian atas dan bawah kedalam alat uji titik lembek dan disimpan kedalam lemari pendingin
- i. Setelah itu uji benda uji di atas Bunsen kemudian hitung penurunan aspal nya, dan tentukan berapa seilih penurunan antara benda uji bagian atas dan benda uji bagian bawah

3.6.10 Pengujian TFOT

Adapun prosedur pengujian TFOT yaitu:

- a. Tentukan berat kosong cawan dengan menimbangny.
- b. Sebanyak $60 \pm 0,5$ gram harus ditambahkan ke dalam cawan.
- c. Setelah 40 menit, diamkan hingga mencapai suhu ruang.
- d. Catat berat spesimen dan cawan dengan menimbangny hingga 0,01 gram terdekat.
- e. Setelah meletakkan spesimen di atas cawan, masukkan ke dalam oven dengan suhu $163 \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan biarkan mengembang selama 5–5,1 jam.
- f. Biarkan spesimen mencapai suhu ruang untuk pendinginan.
- g. Bulatkan berat spesimen ke mikrogram terdekat. Tentukan berat spesimen setelah pemanasan dengan mengurangi berat cawan kosong.

Setelah pengujian TFOT selesai benda uji hasil TFOT dipanaskan kembali. Hal ini dikarenakan benda uji tersebut akan

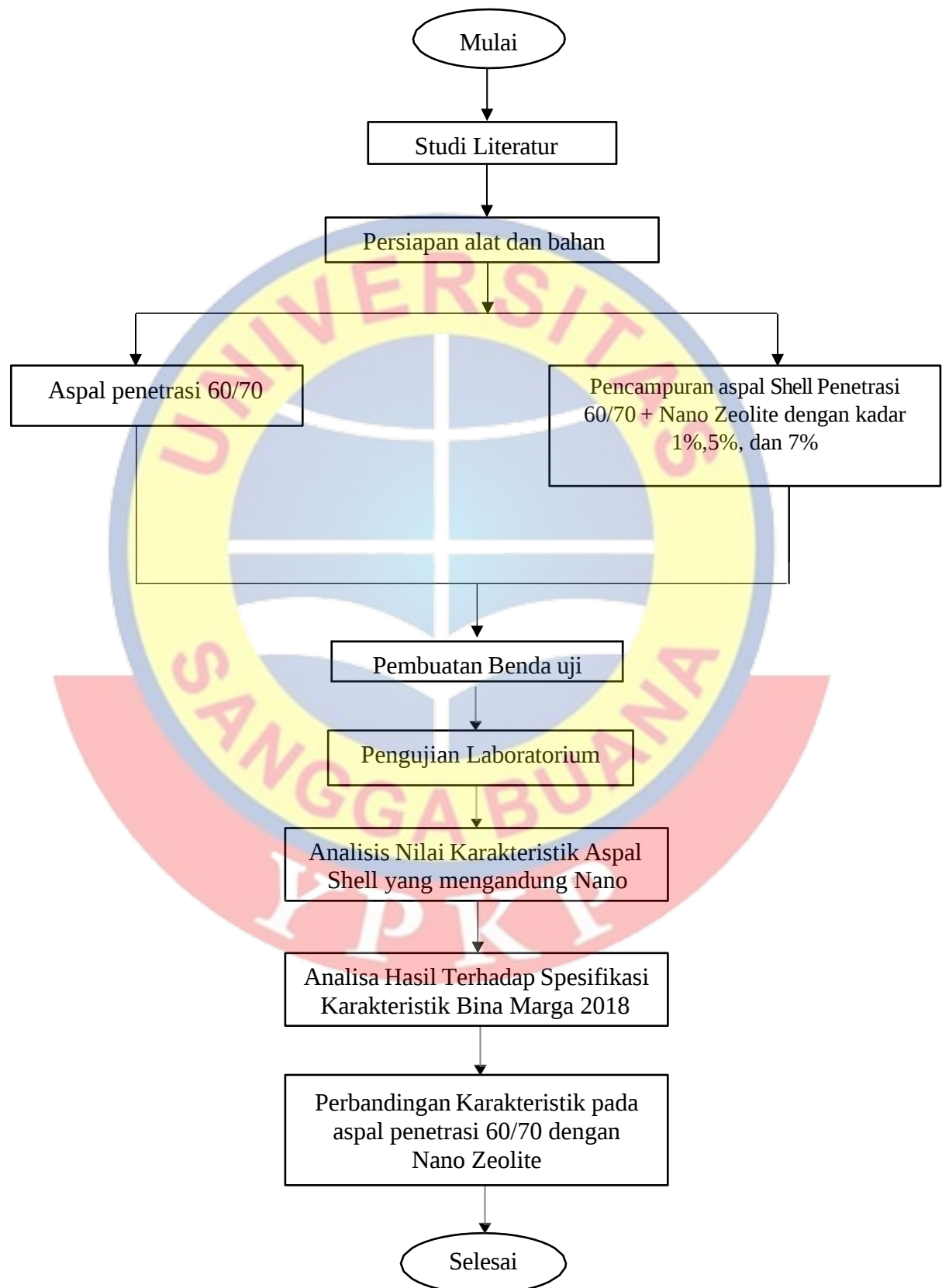
digunakan untuk pengujian selanjutnya yaitu Penetrasi, Daktilitas dan Keelastisan (elastic recovery).

3.6.11 Pengujian Elastisitas (ER)

Adapun prosedur pengujian Elastisitas yaitu:

- a. Tuangkan benda uji kedalam cetakan daktilometer
- b. Atur suhu ruangan dan cairan yang berada pada bak perendam pada temperatur 25°C
- c. Pasang benda uji pada daktilometer
- d. Pastikan benda uji berada dalam cairan sedikitnya 2,5 cm di bawah permukaan cairan dan 2,5 cm di atas dasar bak perendam.
- e. Atur jarum pengukur jarak pada alat kemudian Tarik benda uji mulai dari 0 cm hingga jarum penunjuk tepat berada pada garis 20 ± 25 cm
- f. Matikan mesin penarik dan diamkan selama 5 menit kemudian potong benda uji pada bagian tengahnya hingga menjadi dua bagian
- g. Biarkan benda uji selama satu jam didalam bak perendam, untuk memberi kesempatan elastisitas pada benda uji
- h. Setelah satu jam pindahkan kembali mesin penggerak dan satukan kembali benda uji hingga ujung kedua benda uji saling bersentuhan
- i. Ukur panjang bagian ujung benda uji yang menyentuh kedua ujung yang terputus kemudian hitung hasilnya

3.7 Diagram Alir



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Komposisi Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano Zeolite

Sebelum melangsungkan uji, aspal penetrasi 60/70 harus di panaskan. Agar pada saat melakukan pencampuran aspal dengan nano zeolite dapat tercampur dengan sempurna. Penambahan pada aspal pen 60/70 digunakan sebanyak 1% 5% dan 7%.



Gambar 4. 1 Proses Pencampuran

Adapun perhitungan penentuan kebutuhan Nano zeolite yang digunakan sebagai berikut:

1. Aspal dengan kadar *Nano zeolite* 1% 5% dan 7%

Pencampuran aspal dengan kadar *nano zeolite*, membutuhkan kombinasi dari bahan yang digunakan sebanyak:

Nano zeolite 1% = 100 gram

Nano zeolite 5 % = 500 gram

Nano zeolite 7% = 700 gram

Aspal Penetrasi 60/70 = 1000 gram

Tabel 4. 1 Pencampuran aspal dan *Nano zeolite*

Persentase <i>Nano zeolite</i>	Aspal (gram)	Bahan Additif <i>Nano zeolite</i> (gram)
<i>Nano zeolite</i> 1 %	1000	100
<i>Nano zeolite</i> 5 %	1000	500
<i>Nano zeolite</i> 7 %	1000	700

4.2 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano zeolite

Uji aspal yang dilangsungkan dalam mengevaluasi karakteristik dari aspal penetrasi 60/70 dan Nano zeolite yakni melangsungkan uji sejumlah 8 parameter yang mana masing- masing dari parameter pengujian menggunakan 2 buah benda uji, jadi total keseluruhan benda uji sebanyak 46 buah benda uji.

4.2.1 Hasil Pengujian Penetrasi

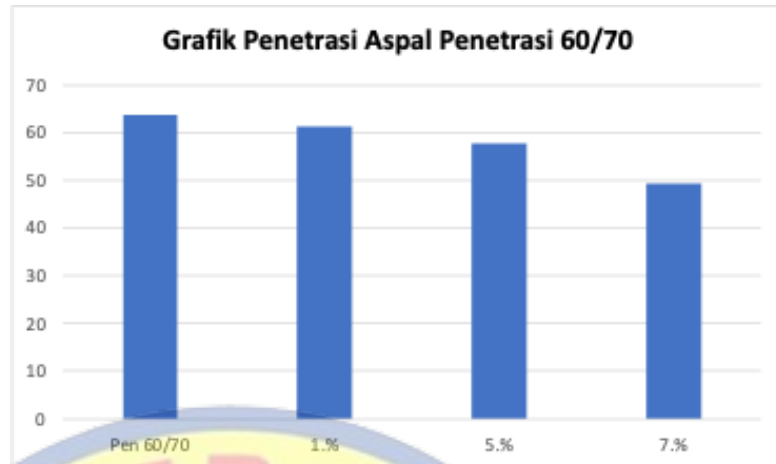
Penetrasi menghasilkan nilai tingkat kekerasan pada aspal penetrasi 60/70 dan Nano zeolite.



Gambar 4.2. Pengujian Penetrasi

Tabel 4. 2 Hasil Uji Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 dan Nano zeolite

Pemeriksaan penetrasi pada suhu 25°C	Pen.60/70 (Shell)	Kadar <i>Nano</i> <i>zeolite</i> 1 %	Kadar <i>Nano zeolite</i> 5 %	Kadar <i>Nano</i> <i>zeolite</i> 7 %
1	63	62	58	48
2	65	61	59	49
3	64	60	57	51
4	63	61	57	49
5	63	62	58	50



Gambar 4. 2 Grafik Penetrasi Aspal Pen 60/70

Nilai penetrasi aspal penetrasi 60/70 mendapatkan nilai tingkat kekerasan sebesar 63,6 mm, aspal dengan kadar nano zeolite 1% sebesar 61,2 mm dan aspal dengan kadar nano zeolite 5% sebesar 57,8 mm, aspal dengan kadar nano zeolite 7% sebesar 49,4 mm. Hasil pengujian penetrasi yang dihasilkan sudah mencukupi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dimana hasil uji penetrasi menghasilkan nilai minimal 60-70 mm untuk aspal pen 60/70. Aspal dengan kadar nano zeolite 7% Tidak memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Khusus Interim 2018 .

Merujuk pada penjabaran tersebut, bisa disimpulkan nilai uji penetrasi yang dihasilkan oleh aspal nano zeolite lebih rendah dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70 yang mengakibatkan aspal *nano zeolite* menjadi lebih keras namun tetap elastis karena kandungan *nano zeolite* yang terdapat pada aspal tersebut.

Hasil pengujian penetrasi dapat mengetahui suatu pengaruh terhadap kinerja perkerasan aspal. Hubungan nilai penetrasi dalam penerapan di lapangan seperti berikut:

1. Lokasi penggunaan aspal
2. Jenis konstruksi
3. Kepadatan lalu lintas

4.2.2 Hasil Pengujian Viskositas

Dengan mengukur viskositas aspal dengan viskosimeter Saybolt, seseorang dapat menentukan ketebalan material.



Gambar 4. 3 Alat Pengujian Viskositas (Saybolt Viscosimeter)

Pada uji viskositas aspal pen 60/70 dan aspal nano zeolite menghasilkan nilai cSt, sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Uji Viskositas Pada Aspal Penetrasi 60/70 dan Aspal Nano zeolite

Suhu	Viskositas Saybolt Furol (detik), 60 cc							
	Aspal Pen 60/70		Kadar Nano zeolite 1%		Kadar Nano zeolite 5%		Kadar Nano zeolite 7%	
	1 (detik)	Viskositas (Cst)	1 (detik)	Viskositas (Cst)	1 (detik)	Viskositas (Cst)	1 (detik)	Viskositas (Cst)
135°C	146	348	182	370	278	625	370	740



Gambar 4. Grafik nilai Viscositas (Saybolt Viscosimeter)

Dikarenakan hasil yang didapatkan dalam satuan detik (Saybolt Furol) maka nilai tersebut harus dirubah kedalam satuan cSt. Pada Spesifikasi Khusus Interim 2018 menghasilkan nilai maksimal > 300 atau 2000 cSt untuk aspal modifikasi. Nilai viskositas aspal nano-zeolit yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70 disimpulkan dari alasan sebelumnya. Viskositas aspal berbanding lurus dengan jumlah nano-zeolit yang dikandungnya. Jumlah aspal yang dapat dituang memengaruhi kekuatan aspal.

4.2.3 Hasil Pengujian Daktilitas

Uji keuletan aspal menghasilkan jumlah hasil maksimum ketika benda uji ditarik hingga pecah.



Gambar 4.4. Alat Dan Hasil Pengujian Daktilitas

Pada pengujian daktilitas yang dilaksanakan pada aspal penetrasi 60/70 dan aspal nano zeolite mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Uji Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 dan Aspal Nano zeolite

Daktilitas pada suhu 25°, 5 cm/menit	Pen.60/70	Kadar nano zeolite 1%	Kadar nano zeolite 5%	Kadar nano zeolite 7%
	Pembacaan Pengukuran Pada Alat	Pembacaan Pengukuran Pada Alat	Pembacaan Pengukuran Pada Alat	Pembacaan Pengukuran Pada Alat
Pengamatan	140 cm	130 cm	110 cm	90 cm



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite

Nilai daktilitas yang tinggi mampu membuat aspal kuat dalam menahan tekanan sehingga membuat aspal dapat meregang dan menghindari aspal agar tidak mengalami retakan yang terjadi akibat perubahan suhu dan pembebanan lalu-lintas pada permukaan jalan.

Nilai daktilitas aspal penetrasi 60/70 mendapatkan nilai sebesar 140 cm, aspal dengan kadar *nano zeolite* 1% sebesar 130 cm, aspal dengan kadar *nano zeolite* 5% sebesar 110 cm, dan aspal dengan kadar *nano zeolite* 7% sebesar 90 cm. Hasil pengujian daktilitas yang dihasilkan tidak memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 persyaratan nilai daktilitas minimal 100 cm.

4.2.4 Hasil Pengujian Titik Lembek

Aspal yang akan digunakan ditentukan oleh pengujian ini, yang memperhitungkan suhu setempat.



Gambar 4. 5 Pengujian Titik Lembek

Pada uji titik lembek aspal diperoleh hasil seperti berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Uji Titik Lembek Pada Aspal Pen 60/70 dan Aspal Nano zeolite

No	Suhu yang diambil		Pen.60/70				Nano zeolite 1%		Nano zeolite 5%		Nano zeolite 7%	
			Waktu (detik)		Titik lembek							
	°C	°F	I	II	I	I	II	II	I	II	I	II
1	5	41	-	-								
2	10	50	62	62								
3	15	59	123	123								
4	20	68	182	182								
5	25	77	242	242								
6	30	86	301	301								
7	35	95	362	362								
8	40	104	425	425			51°C	51,°C				
9	45	113	486	486	50°C	50 °C			56°C	56°C		
10	50	122									59 °C	59°C
11	55	131										



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengujian Titik lembek Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite

Berdasarkan temuan uji titik lembek pada Tabel 4.5. aspal penetrasi 60/70 mendapatkan nilai titik lembek sebesar 50°C, aspal dengan kadar *nano zeolite* 1% sebesar 51°C dan kadar *nano zeolite*

5% sebesar 56°C, aspal dengan kadar *nano zeolite* 7% sebesar 59°C. Hasil pengujian titik lembek aspal yang diperoleh telah memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dimana hasil uji titik lembek menghasilkan nilai $\geq 48^\circ\text{C}$ untuk aspal pen 60/70 dan berdasarkan Spesifikasi Khusus Interim 2018 menghasilkan nilai minimal 51°C untuk aspal modifikasi.

Tergantung pada titik pelunakannya, aspal bereaksi berbeda terhadap perubahan suhu. Akibatnya, daerah beriklim hangat, termasuk di dekat pantai, dapat memanfaatkan aspal yang dihasilkan. Salah satu keunggulan aspal nanozeolit dibandingkan aspal konvensional adalah ketahanannya yang lebih baik terhadap panas. Sehingga penggunaan *nano zeolite* alam bisa digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca panas, seperti pada daerah yang berdekatan dengan pantai.

4.2.5 Hasil Pengujian Titik Nyala

Pengujian titik nyala menghasilkan nilai titik nyala dan titik bakar pada aspal, cara mendapatkan nilai titik nyala pada bahan aspal dilakukan dengan menggunakan *Cleveland open cup*. Temperatur pemanasan tidak boleh $> 110^\circ\text{C}$ diatas titik lembek perkiraan. Waktu pemanasan maksimal 2 jam.



Gambar 4. 7 Pengujian Titik Nyala

Pada pengujian titik nyala aspal penetrasi 60/70 dan aspal *nano zeolite* didapatkan data hasil seperti berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Uji Titik Nyala Pada Aspal Pen 60/70

°C di bawah titik nyala	Pembacaan waktu	Pen.60/70	
		Pembacaan Suhu	Titik Nyala
56	pk 08.25	264	°C
51	pk 08.26	269	°C
46	pk 08.27	274	°C
41	pk 08.28	279	°C
36	pk 08.29	284	°C
31	pk 08.30	289	°C
26	pk 08.31	294	°C
21	pk 08.32	299	°C
16	pk 08.33	304	°C
6	pk 08.34	314	°C
1	pk 08.35	319	°C

319 °C

Tabel 4. 7 Hasil Uji Titik Nyala Pada Aspal *Nano zeolite*

°C Di Bawah Titik Nyala	Pembacaan Waktu	Kadar <i>Nano zeolite</i> 1%		Pembacaan Waktu	Kadar <i>Nano zeolite</i> 5%	
		Pembacaan Suhu	Titik Nyala		Pembacaan Suhu	Titik Nyala
56	pk 08.25	272	°C	pk 08.25	284	°C
51	pk 08.26	277	°C	pk 08.26	289	°C
46	pk 08.27	282	°C	pk 08.27	289	°C
41	pk 08.28	287	°C	pk 08.28	300	°C
36	pk 08.29	292	°C	pk 08.29	307	°C
31	pk 08.30	297	°C	pk 08.30	310	°C
26	pk 08.31	302	°C	pk 08.31	315	°C
21	pk 08.32	307	°C	pk 08.32	320	°C
16	pk 08.33	310	°C	pk 08.33	325	°C
6	pk 08.34	312	°C	pk 08.34	327	°C
1	pk 08.35	315	°C	pk 08.35	330	°C

315 °C

330 °C

°C Di Bawah Titik Nyala	Pembacaan Waktu	Kadar <i>Nano zeolite</i> 7%	
		Pembacaan Suhu	Titik Nyala
56	pk 08.25	270	°C
51	pk 08.26	276	°C
46	pk 08.27	281	°C
41	pk 08.28	287	°C
36	pk 08.29	292	°C
31	pk 08.30	297	°C
26	pk 08.31	302	°C
21	pk 08.32	307	°C
16	pk 08.33	319	°C
6	pk 08.34	330	°C
1	pk 08.35	338	°C
338 °C			



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite

Berdasarkan temuan uji titik nyala pada Tabel 4.6 aspal penetrasi 60/70 mendapatkan nilai sebesar 319°C, Tabel 4.7 aspal dengan kadar nano zeolite 1% sebesar 315°C, aspal dengan kadar nano zeolite 5% sebesar 330°C, aspal dengan kadar nano zeolite 7% sebesar 338°C. Nilai titik nyala yang dihasilkan sudah mencukupi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi Khusus Interim 2018 dimana hasil uji titik nyala aspal yang didapatkan menghasilkan nilai $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa aspal *nano-zeolit* memiliki nilai titik nyala yang lebih tinggi daripada aspal penetrasi 60/70.

Suhu tertinggi yang dapat dipanaskan tanpa menyebabkan aspal terbakar ditentukan oleh titik nyala yang dihasilkan. Aspal dengan titik nyala dan titik bakar yang lebih tinggi lebih disukai. Meskipun kualitas aspal tidak terpengaruh oleh hasil uji titik nyala ini, uji tersebut memengaruhi prosedur pencampuran aspal untuk mencegah bahaya kebakaran yang disebabkan oleh suhu yang sangat tinggi. Dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70, aspal *nano-zeolit* menghasilkan titik nyala yang lebih tinggi.

4.2.6 Hasil Pengujian Kelarutan

Uji kelarutan menghasilkan kemurnian pada aspal pen 60/70 dan aspal nano zeolite menggunakan larutan TCE (trichloroethylene).



Gambar 4. 9 Pengujian Kelarutan

Pada pengamatan uji kelarutan aspal didapatkan data hasil seperti berikut:

Tabel 4. 8 Hasil Uji Kelarutan Pada Aspal Penetrasi 60/70

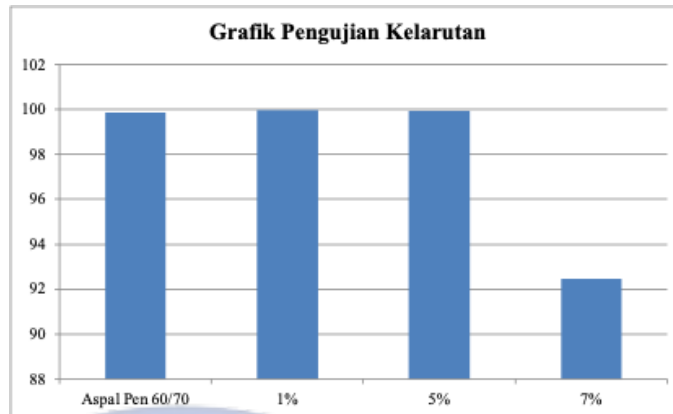
Pen.60/70		
Berat erlenmeyer + Aspal	122.082	gram
Berat Erlenmeyer	120.082	gram
Berat Aspa (b)	2	gram
Berat saringan + Bagian tak larut (c)	16.58	gram
Berat Sarin (a)	16.577	gram
% Terlarut = $100 - ((C - A) / B \times 100)$	99.85%	

Kelarutan pada aspal Penetrasi 60/70

$$\begin{aligned} \% \text{Terlarut} &= 100 - \left(\frac{16.580 - 16.577}{2000} \times 100 \right) \\ &= 100 - 0.00015 \\ &= 99.85 \% \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Hasil Uji Kelarutan Pada Aspal *Nano zeolite*

	Kadar <i>Nano zeolite</i> 1%		Kadar <i>Nano zeolite</i> 5%		Kadar <i>Nano zeolite</i> 7%	
Berat erlenmeyer + Aspal	122.3290	gram	124.329	gram	125.3290	gram
Berat Erlenmeyer	121.3461	gram	110.082	gram	121.3461	gram
Berat Aspal (b)	1.9829	gram	1.2336	gram	9.9829	gram
Berat saringan + Bagian tak larut (c)	22.8686	gram	22.867	gram	22.8686	gram
Berat Sarin (a)	22.8682	gram	22.8670	gram	32.9543	gram
% Terlarut = $100 - ((C - A) / B \times 100)$	99.98%		99.92 %		92.46%	



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Kelarutan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Pen 60/70+Nano Zeolite

Merujuk pada hasil uji kelarutan pada Tabel 4.8 aspal penetrasi 60/70 mendapatkan nilai kelarutan 99.85%, Tabel 4.9 aspal dengan kadar *nano zeolite* sebesar 99,98% , aspal dengan kadar *nano zeolite* 5% sebesar 99.92% , aspal dengan kadar *nano zeolite* 7% sebesar 92.46%.Nilai kelarutan yang dihasilkan tidak memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi Khusus Interim 2018 dimana hasil uji kelarutan yang didapatkan menghasilkan nilai $\geq 99\%$.

Merujuk pada penjabaran tersebut, bisa disimpulkan bahwa nilai kelarutan yang dihasilkan pada aspal *nano zeolite* mengalami penurunan dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70, dikarenakan adanya bahan tambah yang diterapkan pada aspal *nano zeolite* sehingga mempengaruhi kemurnian dari aspal tersebut.

Uji kelarutan bisa mengevaluasi kemurnian dari derajat kelarutan aspal pada TCE *trichloroethylene*.

4.2.7 Hasil Pengujian Berat Jenis

Uji ini menghasilkan nilai berat jenis aspal penetrasi 60/70 dan aspal *nano zeolite*.



Gambar 4. 11 Pengujian Berat Jenis

Pada uji uji berat jenis aspal diperoleh data hasil seperti berikut:

Tabel 4. 10 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70

Pen.60/70				
	A		B	
Berat piknometer + aspal	41.977	gram	44.592	gram
Berat piknometer kosong	30.812	gram	30.15	gram
Berat aspal (a)	11.165	gram	14.442	gram
Berat piknometer + air	53.032	gram	55.453	gram
Berat piknometer kosong	30.812	gram	30.15	gram
Berat air (b)	22.22	gram	25.303	gram

Berat piknometer + aspal + air	53.428	gram	55.957	gram
Berat piknometer + aspal	41.977	gram	44.592	gram
Berat air	(c) 11.451	gram	11.365	gram
Isi aspal	(b - c) 10.769	ml	13.938	ml
Berat jenis A = berat aspal / isi aspal = 1.037 gram/ml				
Berat jenis B = berat aspal / isi aspal = 1.036 gram/ml				

Tabel 4. 11 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70 dan Nano zeolite 5% dan 7%

H. Berat Jenis pada 25 °C				
	Benda Uji Pen 60/70 + Nano zeolite 5%		Benda Uji Pen 60/70 + Nano zeolite 7%	
Piknometer (A)	29.0990	g	29.0927	g
Piknometer + Air (B)	56.5915	g	57.2430	g
Piknometer + benda uji (C)	48.7550	g	48.7324	g
Piknometer + benda uji + air (D)	56.6923	g	57.166	g
Berat Jenis = $\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$ =	1.005		0.9961	

Tabel 4. 12 Hasil Uji Berat Jenis Pada Aspal Pen 60/70 dan Nano zeolite 1%

H. Berat Jenis pada 25 °C				
	Benda Uji Pen 60/70		Benda Uji Pen 60/70 + Nano zeolite 1%	
Piknometer (A)	30.1571	g	30.2826	g
Piknometer + Air (B)	53.4840	g	58.4510	g
Piknometer + benda uji (C)	44.0872	g	49.4095	g
Piknometer + benda uji + air (D)	53.9901	g	59.1209	g
Berat Jenis = $\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$ =	1.0377		1.0363	



Gambar 4. 12 Perbandingan Hasil Pengujian Berat Jenis

Berdasarkan temuan uji berat jenis pada Tabel 4.10. aspal pen 60/70 didapatkan nilai berat jenis sebesar 1,037 gram/ml, Tabel 4.11 aspal nano zeolite dengan kadar 1% sebesar 1,0363 gram/ml, Tabel

4.12 kadar nano zeolite 5% sebesar 1,005 gram/ml, tabel 4.13 kadar *nano zeolite* 7 % sebesar 0,9961 gram/ml. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai berat jenis pada aspal pen.60/70 dan aspal *nano zeolite* dengan kadar 7% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga yang memiliki nilai minimal 1.0 dan Spesifikasi Khusus Interim 2018 dengan nilai maksimal 1.0.

Salah satu cara untuk menentukan berat jenis suatu benda adalah dengan mengukurnya dalam kaitannya dengan massa jenisnya dalam air. Semakin rendah konsentrasi minyak mineral dan partikel aspal, semakin tinggi berat jenisnya, dan semakin baik kualitas aspalnya.

4.2.8 Hasil Pengujian TFOT

Pengujian TFOT merupakan pengujian yang dilakukan dengan cara memanaskan aspal secara berulang. Dalam pengujian ini, terdapat tiga langkah: penurunan berat, penetrasi, dan penentuan daktilitas.

Sebagai ukuran perubahan kinerja aspal akibat penurunan berat, uji TFOT (Loss in Weight) menghitung persentase kehilangan minyak setelah pemanasan berulang.



Gambar 4. 13 Pengujian TFOT Kehilangan Berat

Tabel 4.16. Hasil Uji TFOT Kehilangan Berat Pada Aspal
Pen 60/70

Pen 60/70				
	A		B	
Berat Cawan + Aspal	106,122	gram	102,431	gram
Berat Cawan Kosong	46,928	gram	43,126	gram
Berat Aspal (a)	59,186	gram	59,285	gram
Berat Sebelum Pemanasan	106,122	gram	102,431	gram
Berat Sesudah Pemanasan	106,114	gram	102,411	gram
Kehilangan Berat (b)	0,008	gram	0,02	gram
atau $b/a \times 100 \%$	0,0013%		0,0033%	

Tabel 4.17. Hasil Uji TFOT Kehilangan Berat Jenis Pada
Aspal Nano zeolite 1%

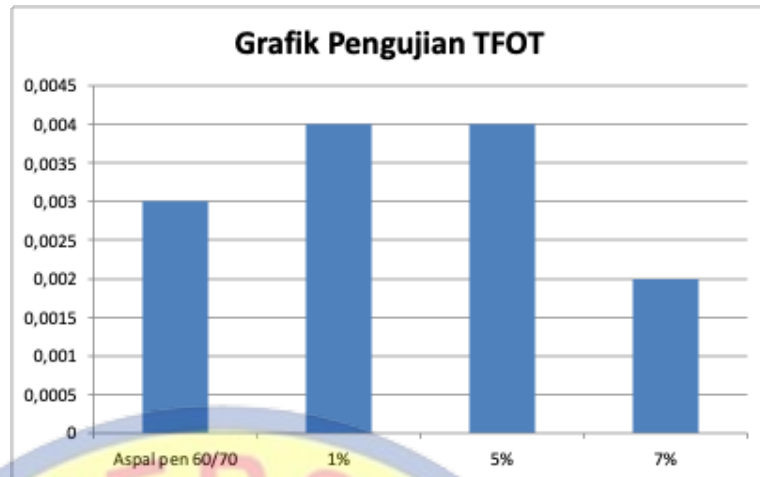
D. ☒ TFOT (Oven : 163 °C, 5 jam) / ☐ RTFOT (Oven : 163 °C, 85 menit)									
					Benda Uji 1		Benda Uji 2		
Berat wadah (A)					58.8041	g	85.7520	g	
Berat wadah + Benda Uji (B)					109.5605	g	147.1410	g	
Berat wadah + benda uji setelah oven (C)					109.558	g	147.1385	g	
Kehilangan berat = $\frac{B - C}{B - A} \times 100\%$					0.005	%	0.004	%	
					Rata-rata :		0.004	%	

Tabel 4.18. Hasil Uji TFOT Kehilangan Berat Jenis Pada
Aspal Nano zeolite 5%

D. ☒ TFOT (Oven : 163 °C, 5 jam) / ☐ RTFOT (Oven : 163 °C, 85 menit)									
					Benda Uji 1		Benda Uji 2		
Berat wadah (A)					86.9730	g	86.9710	g	
Berat wadah + Benda Uji (B)					138.0647	g	138.0763	g	
Berat wadah + benda uji setelah oven (C)					138.064	g	138.0759	g	
Kehilangan berat = $\frac{B - C}{B - A} \times 100\%$					0.002	%	0.001	%	
					Rata-rata :		0.002	%	

Tabel 4.19. Hasil Uji TFOT Kehilangan Berat Jenis Pada
Aspal Nano zeolite 7%

D. ☒ TFOT (Oven : 163 °C, 5 jam) / ☐ RTFOT (Oven : 163 °C, 85 menit)									
					Benda Uji 1		Benda Uji 2		
Berat wadah (A)					43.5099	g	85.8430	g	
Berat wadah + Benda Uji (B)					109.7605	g	147.2510	g	
Berat wadah + benda uji setelah oven (C)					109.758	g	147.2485	g	
Kehilangan berat = $\frac{B - C}{B - A} \times 100\%$					0.003	%	0.004	%	
					Rata-rata :		0.004	%	



Gambar 4. 14 Perbandingan Hasil Pengujian Berat Jenis

Berdasarkan temuan uji TFOT Kehilangan Berat yang terdapat di Tabel 4.16 aspal pen 60/70 mendapatkan nilai TFOT sebesar 0,003%, Tabel 4.17 dan tabel 4.18 aspal dengan kadar nano zeolite 1% dan 5% sebesar 0,004% dan Tabel 4.19 aspal dengan kadar nano zeolite 7% sebesar 0,002%. TFOT Kehilangan Berat yang dihasilkan pada aspal nano zeolite mengalami peningkatan daripada hasil dari aspal penetrasi 60/70. Nilai TFOT yang dihasilkan sudah memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi Khusus Interim 2018 dimana hasil uji TFOT yang didapatkan menghasilkan nilai maksimal $\leq 0.8\%$.

Aspal mengalami banyak siklus pemanasan dalam uji TFOT, setelah itu dilakukan pengujian tambahan untuk keuletan, kehilangan berat, dan penetrasi.

Uji kehilangan berat ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak minyak ringan yang hilang akibat adanya pemanasan berulang. Dikarenakan jika aspal memiliki minyak yang banyak maka akan berpengaruh terhadap kelekatan agregat.

4.2.9 Resume Pegujian

Dari hasil pengujian yang dilangsungkan pada aspal pen 60/70 dengan aspal yang sudah dicampur dengan nano zeolite alam maka penulis mendapatkan hasil pengujian dengan kesesuaian spesifikasi seperti berikut:

Tabel 4. 21. Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 dan Aspal *Nano zeolite*

No	Keterangan	Aspal Pen. 60/70 (SHELL)	Aspal Modifikasi				Satuan	Syarat Aspal Modifikasi	Keterangan
			1%	5%	7%				
1	Penetrasi	63,6	61,2	57,8	49,4		mm	Min.50	Tidak Masuk
2	Viskositas	348	370	625	740		eSt	Maks.2000	Masuk
3	Titik lembek	50	51	56	59		°C	Min.48	Masuk
4	Berat Jenis	1.037	1,037	1,005	0,9961		ml/gram	Maks.1.0	Tidak Masuk
5	Daktilitas	140	130	110	90		cm	Min.100	Tidak Masuk
6	Kelarutan	99,85	99,98	99,92	92,46		%	Min.99	Tidak Masuk
7	Titik nyala	319	315	330	338		°C	Min.232	Masuk
8	Stabilitas	-	-	-	-		°C	Maks. 2.2	Masuk
9	Kehilangan berat	0,0033	0,004	0,004	0,002		%	Maks. 0,8	Masuk
10	Penetrasi TFOT	59,4	56	55	54		mm	Min. 54	Tidak Masuk
11	Daktilitas TFOT	130	110	90	65		cm	Min. 50	Masuk
12	Keelastisan (ER)	-	-	-	-		cm	Min. 30	Masuk
13	Keelastisan (ER) TFOT	-	-	-	-		cm	Min. 30	Masuk

4.3 Pembahasan Kelebihan dan Kekurangan Aspal *Nano zeolite*

Aspal dengan penambahan nano zeolite menghasilkan nilai parameter yang lebih baik dan unggul daripada aspal pen 60/70. dengan penambahan *nano zeolite* memiliki nilai titik lembek yang tinggi sehingga aspal ini mempunyai durabilitas yang lebih baik terhadap temperatur yang lebih tinggi. Aspal dengan tambahan *nano zeolite* menghasilkan aspal yang lebih elastis sehingga dapat menjadikan aspal tidak mudah mengalami keretakan pada permukaan jalan, tidak mengakibatkan jalan bergelombang dan tidak mudah meleleh akibat temperatur yang mengalami kenaikan.

Pengaplikasian aspal *nano zeolite* cocok digunakan pada suatu daerah dengan cuaca yang sangat panas, seperti pada daerah yang berada dekat dengan pantai dan aspal *nano zeolite* cocok diterapkan pada jalan yang mempunyai beban lalu lintas yang berat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesudah melangsungkan analisis terhadap temuan yang didapat dari uji propertis aspal dengan bahan tambah *nano zeolite*, bisa disimpulkan bahwa:

1. Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan yaitu:

- Penetrasi: Terjadi penurunan nilai penetrasi seiring dengan peningkatan konsentrasi *nano zeolite*. Hal tersebut mengindikasikan aspal menjadi lebih keras dengan penambahan *nano zeolite*. Penurunan ini desirable karena dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi permanen (*rutting*). Penetrasi menurun dari 63,6 mm menjadi 49,4 mm saat kadar zeolit meningkat dari 0% ke 7% (suhu uji: 25°C). Artinya aspal menjadi lebih keras.
- Titik Lembek: Terjadi peningkatan titik lembek seiring dengan peningkatan konsentrasi nano zeolit. Peningkatan ini menunjukkan peningkatan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi, yang berarti aspal akan lebih stabil pada kondisi iklim panas dan mengurangi risiko bleeding, Titik lembek meningkat dari 50°C menjadi 59°C saat kadar naik, artinya lebih tahan suhu tinggi
- Daktilitas: Pada konsentrasi rendah (1%), daktilitas cenderung tetap tinggi. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi (5% dan 7%), terjadi penurunan daktilitas. Daktilitas menurun dari 140 cm ke 90 cm (aspal menjadi lebih kaku) penurunan ini perlu menjadi perhatian karena daktilitas yang rendah dapat membuat aspal lebih rentan terhadap retak fatik pada suhu rendah.
- Berat Jenis: Terjadi sedikit peningkatan berat jenis seiring dengan penambahan nano zeolit. Hal ini wajar mengingat nano zeolit memiliki berat jenis yang berbeda dengan aspal.
- Titik Nyala: Meningkat dari 319°C menjadi 338°C. Ini menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap suhu ekstrem

- Viskositas: Naik pada suhu 135°C dari 348 cSt ke 740 cSt, artinya aspal menjadi lebih kental terjadi peningkatan viskositas aspal modifikasi. Peningkatan ini dapat mempengaruhi workabilitas (kemudahan pencampuran dan pemadatan) aspal di lapangan. Semakin tinggi viskositas, semakin sulit aspal untuk dicampur dan dipadatkan, sehingga mungkin memerlukan suhu pencampuran dan pemadatan yang lebih tinggi.
2. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, bisa disimpulkan bahwa penambahan *nano zeolite* pada aspal Pen 60/70 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik fisik aspal:
- Nano zeolit efektif dalam meningkatkan kekerasan (menurunkan penetrasi) dan meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi (meningkatkan titik lembek) aspal. Ini berpotensi meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi permanen.
 - Namun, penambahan *nano zeolite*, terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi (5% dan 7%), cenderung menurunkan daktilitas aspal, yang perlu dipertimbangkan terkait dengan ketahanan retak fatik.
 - Peningkatan viskositas juga perlu diperhatikan dalam proses pencampuran dan pemadatan di lapangan.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil ini, konsentrasi *nano zeolit* 1% atau 5% tampaknya memberikan keseimbangan yang lebih baik antara peningkatan kinerja dan retensi daktilitas yang memadai. Konsentrasi 7% mungkin membuat aspal terlalu kaku.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut seperti pengujian campuran beraspal (Hot Mix Asphalt/HMA): Meliputi Marshall *Stability*, *Flow*, VIM, VMA, untuk mengetahui kinerja aspal modifikasi dalam campuran.
3. Optimasi kondisi pencampuran (suhu dan durasi) antara aspal dan nano zeolite sangat penting untuk memastikan dispersi yang homogen dan performa optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- 03-6721-2002, S. (n.d.). Metode Pengujian Kekentalan Aspal Cair Aspal emulsi dengan Alat Saybolt.
- Agustinus, E. T. S. (2019). *Rekayasa Benefisiasi*. Jakarta: LIPI.
- Alonso, A., Tejada, E., Moreno, F., Rubio, M.C., dan Medel, E., 2013, A Comparative Study of Natural Zeolite and Synthetic Zeolite as An Additive in Warm Asphalt Mixes, *Materiales de Construcción*, 310, 195 – 217.
- Asphalt Modified with Nano Zeolite Material, *Journal of Testing and Evaluation*.
- Alavi, S.A.K., Tanzadeh, J., Tahami, S.A., Mirhosseini, A.F., 2020, Performance Evaluation of Hybrid Fibers and Nano-zeolite Modified Asphalt Micro-surfacing, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 48 No. 3.
- Atikah, W.S., 2017, Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil, *Arena Tekstil*, Vol. 32 No. 1, 17 – 24.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2008). *Modul Pengujian Laboratorium Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Furqon A., 2011, Pengaruh Metode Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Bahan Penurun Temperatur Campuran Beraspal Hangat, *Pusat Litbang Jalan dan Jembatan*, Bandung.
- Jones, R. O., Wolf, D., & Editors, M. K. (2006). *Materials Science Materials Science* (Vol. 32).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 3) Divisi 6*.
- Latifah, NA. 2010. *Prediksi Kinerja Campuran Asphalt Concrete dengan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Retona Blend 55*, Surabaya : Universitas Sebelas Maret.
- Melkisedek Paku Layuk. (2014). *Studi Kinerja Campuran Ac-Wc Menggunakan Bga-Asbuton Sebagai Bahan Pengikat*.
- SNI.03-4428-1997. (1997). Metode pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastik dengan cara setara pasir. *Pusjatan-Balitbang PU*, 1–10.
- SNI 03-1968-1990. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.

- SNI 03-1970-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.
- SNI 1969-2008. (2008). Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. *Standar Nasional Indonesia*, 20.
- Soedarsono, I. D. U. (1993). Kontruksi Jalan Raya, 144.
- Soenara, T. (2009). Percobaan Penggerusan Zeolite Tasikmalaya Dan Uji Kapasitas Tukar Kationnya Pada Setiap Ukuran Hasil Gerus, (September), 191–197.
- Spesifikasi Interim. 2018. SKh-1.6.26, *Aspal Nano zeolitePra-Campur*. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya. Perkerasan Jalan Lentur*. Bandung: NOVA.
- Sukirman, Silvia. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institute Teknologi Nasional.

