

## Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi Nano Zeolit terhadap Karakteristik Marshall Campuran Beraspal Panas HRS-WC

**Eva Wahyu Indriyati\***

Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, Email: indriyati.eva@gmail.com

**Bambang Sugeng Subagio**

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, E-mail: 0205Bbsugengs@gmail.com

**Harmein Rahman**

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, E-mail: rahmanharmein@gmail.com

**Sony Sulaksono Wibowo**

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, E-mail: sonysww@gmail.com

### Abstrak

Penggunaan material nano merupakan metode perbaikan sifat aspal yang sedang banyak dikembangkan saat ini. Material nano memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang berbeda dengan sifat aslinya, serta menunjukkan sensitifitas terhadap temperatur tinggi, daktilitas tinggi, dan luas permukaan yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan aspal modifikasi nano zeolit terhadap karakteristik marshall campuran beraspal panas HRS-WC. Material nano zeolit yang digunakan pada penelitian ini disintesis dari zeolit alam dari deposit Gunungkidul, Jawa Tengah. Sedangkan aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70 produksi Pertamina. Aspal ini kemudian dimodifikasi dengan menambahkan material nano zeolit ke dalam aspal pen 60/70 dengan variasi kadar penambahan nano zeolit sebesar 0,1%, 0,2% dan 0,3%. Penggunaan aspal modifikasi nano zeolit sebagai material pengikat pada campuran beraspal panas HRS-WC dapat menurunkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) jika dibandingkan dengan campuran beraspal panas HRS-WC menggunakan aspal pen 60/70. Selain itu, penggunaan aspal modifikasi nano zeolit dapat meningkatkan nilai stabilitas, kepadatan, dan VFA. Sedangkan nilai VIM dan VMA mengalami penurunan pada campuran beraspal panas HRS-WC menggunakan aspal modifikasi nano zeolit. Dari tinjauan nilai flow dan MQ, penggunaan aspal modifikasi nano zeolit menghasilkan campuran yang memiliki kekakuan lebih besar dibandingkan campuran beraspal panas HRS-WC menggunakan aspal pen 60/70.

**Kata-kata Kunci:** Campuran beraspal panas, karakteristik Marshall, material nano, zeolit alam.

### Abstract

Nano materials are currently being widely used to modify asphalt. Nanomaterials have physical, chemical and biological properties that are different from their original properties, and show sensitivity to high temperatures, high ductility and large surface areas. This research aims to determine the effect of using nano zeolite modified asphalt on the marshall characteristics of HRS-WC hot mix asphalt. The nano zeolite material used in this research was synthesized from natural zeolite from Gunungkidul, Central Java. Meanwhile, the asphalt used is asphalt pen 60/70 produced by Pertamina. This asphalt was then modified by adding nano zeolite material to asphalt pen 60/70 with varying percentages of nano zeolite addition of 0.1%, 0.2% and 0.3%. The use of nano zeolite modified asphalt as a binding material in the HRS-WC hot mix asphalt can reduce the Optimum Asphalt Content (OAC) compared to the HRS-WC hot mix asphalt using asphalt pen 60/70. In addition, the use of nano zeolite modified asphalt can increase the stability, density and VFA values. Meanwhile, the VIM and VMA values decreased in the HRS-WC hot mix asphalt using nano zeolite modified asphalt. From a review of the flow and MQ values, the use of nano zeolite modified asphalt produces a mixture that has greater stiffness than the HRS-WC hot asphalt mixture using asphalt pen 60/70.

**Keywords:** Asphalt mixture, Marshall characteristic, nano material, natural zeolite.

\* Penulis Korespondensi: indriyati.eva@gmail.com

## 1. Pendahuluan

Campuran beraspal pada konstruksi jalan akan mengalami penurunan kinerja seiring dengan berjalannya umur rencana. Penurunan kinerja jalan disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah iklim, genangan air pada permukaan jalan, kelembaban udara, UV, oksidasi, dan kualitas aspal yang tidak baik (Tauste et al, 2018). Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kinerja aspal adalah memodifikasinya dengan menambahkan material lainnya. Beberapa material dapat digunakan sebagai material modifikasi aspal, salah satunya adalah zeolit. Zeolit merupakan salah satu sumber daya alam Indonesia yang mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi bahan unggulan yang bernilai komoditas tinggi. Salah satu kandungan dominan dalam material zeolit adalah silika. Silika, jika digunakan dalam campuran beraspal, akan memperbaiki beberapa kinerja campuran beraspal. Gunarto dkk (2019) melakukan penelitian tentang penggunaan silika pada campuran beraspal, dan menyimpulkan bahwa penambahan silika sebesar 3% pada campuran AC-BC akan meningkatkan nilai stabilitas sebesar 10% dibandingkan dengan campuran tanpa silika.

Penambahan zeolit berukuran mikro ke dalam aspal memungkinkan terjadinya penggumpalan, karena zeolit tidak mampu tersebar merata ke dalam aspal. Oleh karena itu, penggunaan material zeolit berukuran nano menjadi alternatif untuk mengurangi kemungkinan terjadinya penggumpalan dalam aspal modifikasi. Material nano didefinisikan sebagai material dengan ukuran antara 1 – 100 nm. Berdasarkan penelitian terdahulu, sifat fisik, kimia dan biologi material nano sangat berbeda dengan sifat aslinya. Menurut Alavi, dkk (2020), penerapan bahan nano juga dapat meningkatkan viskoelastisitas campuran, meningkatkan kinerja suhu tinggi, dan meningkatkan ketahanan campuran terhadap penuaan, kelelahan, dan kerusakan akibat kelembapan. Secara lebih detail, Yao et al. (2016) membandingkan penggunaan material mikro dan nano sebagai material modifikasi campuran aspal. Material mikro yang digunakan adalah carbon microfiber, sedangkan salah satu material nano yang digunakan adalah nanosilika. Dari hasil pengujian deformasi permanen dihasilkan bahwa campuran beraspal dengan penambahan 6% nanosilika menghasilkan kedalaman deformasi permanen yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran beraspal dengan 4% carbon microfiber pada *loading cycles* yang sama.

Ahmadzadegan et al (2021) membandingkan penggunaan zeolit sintesis dalam dua bentuk, yaitu nanozeolit dan granular zeolit. Hasil pengujian *tensile strength* menunjukkan bahwa sampel yang dimodifikasi dengan nanozeolit memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang dimodifikasi dengan granular zeolit. Selain itu, nanozeolit memberikan pengaruh yang lebih besar pada kedalaman *rutting* dibandingkan dengan granular zeolit yang berukuran lebih besar. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi karakteristik campuran beraspal

panas dengan material nano, khususnya nano zeolit. Campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course* (HRS-WC) sesuai spesifikasi Bina Marga. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal pen 60/70 untuk campuran beraspal konvensional (campuran kontrol) dan aspal modifikasi nano zeolit untuk campuran beraspal modifikasi nano zeolit. Parameter yang ditinjau adalah karakteristik Marshall, baik volumetrik maupun non volumetrik.

### 1.1 Material Nano

Material nano didefinisikan sebagai material dengan dimensi antara 1 – 100 nm. Berdasarkan penelitian terdahulu, material nano memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang sangat berbeda dengan sifat aslinya. Selain itu, diketahui bahwa material nano menunjukkan sensitifitas terhadap temperatur tinggi, daktilitas tinggi, luas permukaan yang besar, dan ketahanan terhadap regangan yang tinggi (Li et al., 2017).

Menurut Yang, dkk (2013), pada sifat aspal dan campuran aspal, material nano mempunyai manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan *storage stability* pada aspal modifikasi polimer
2. Meningkatkan ketahanan terhadap penuaan UV
3. Mengurangi kerentanan kelembaban di bawah air, salju, dan *deicers*
4. Memperbaiki sifat campuran aspal pada suhu rendah
5. Meningkatkan ketahanan perkerasan aspal
6. Menghemat energi dan biaya
7. Mengurangi pemeliharaan

Secara lebih detail, Santos (2020) mencatat bahwa pada campuran beraspal:

1. Modifikasi dengan nanosilika menunjukkan ketahanan mekanis yang lebih baik dan ketahanan terhadap *moisture damage* yang lebih tinggi dibandingkan dengan material nano lain. Efek modifikasi ini akan meningkat seiring dengan peningkatan persentase material nano yang digunakan, tetapi hal ini tidak layak secara ekonomi.
2. Modifikasi dengan *nanoclay* tergantung pada jenis *nanoclay* yang digunakan (mentah atau organik). Penggunaan jenis modifikasi ini harus ditentukan dengan hati-hati agar mendapatkan kinerja yang baik dengan persentase paling rendah yang memungkinkan.
3. Modifikasi dengan *nanoiron* memberikan perbaikan yang sangat penting pada kinerja mekanis campuran beraspal modifikasi. Dengan menggunakan persentase rendah, jika efektif, modifikasi ini kompetitif.
4. Modifikasi material nano juga memberikan indikasi yang masuk akal mengenai durabilitas (sifat yang lebih baik dalam kondisi penuaan) campuran beraspal.

Sintesis atau pembentukan material nano dapat dilakukan dengan berbagai teknik. Secara umum, metode sintesis material nano dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kategori, yaitu metode *top-down* dan metode *bottom-up*. Metode *top-down* dilakukan dengan cara memecah padatan menjadi partikel-partikel kecil berukuran nano. Sintesis partikel nano dengan metode *top-down* ini merupakan sintesis secara fisik (Setiawan dkk, 2018).

Penggunaan material nano dalam campuran perkerasan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Ameri et al. (2016) menggunakan carbon nanotube (CNT) untuk memodifikasi aspal. **Gambar 1** menunjukkan gambar SEM aspal yang mengandung 1,5% CNT. Gambar tersebut menunjukkan bahwa CNT tersebar dengan baik di dalam aspal tanpa terjadi penggumpalan bahkan pada kadar maksimum CNT yang digunakan pada penelitian tersebut.

## 1.2 Zeolit

Zeolit merupakan kristal alumina silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah berbentuk kerangka tiga dimensi, bersifat asam dan mempunyai pori yang berukuran molekul (Atikah, 2017). Dilihat dari jenisnya, kelompok mineral zeolit terbagi menjadi 2 yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis. Zeolit alam merupakan zeolit yang terbentuk sebagai proses geologi yang terjadi di alam, sedangkan zeolit sintesis merupakan zeolit hasil dari reaksi kimia (Wozuk et al, 2017). Alonso et al (2013) membandingkan penggunaan zeolit alam dari Kuba dan zeolit sintetik pada campuran beraspal hangat, dan menyimpulkan bahwa kedua jenis zeolit tersebut memiliki kinerja yang hampir sama.

Zeolit merupakan salah satu sumber daya alam Indonesia yang mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi bahan unggulan yang bernilai komoditas tinggi. Deposit zeolit banyak terdapat di Indonesia, tersebar hampir di semua pulau. Namun deposit yang sudah diteliti dan ditambang sebagian besar terdapat di Pulau Jawa dan Sumatera (Suwardi, 2005). Salah satu zeolit yang mulai banyak diteliti adalah zeolit dari deposit Gunungkidul. Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Gunungkidul pada tahun 2008 menyatakan bahwa zeolit di Kabupaten Gunungkidul memiliki potensi sebesar 60.104.372 m<sup>3</sup> dan telah ditambang sebesar 150.000 m<sup>3</sup> sehingga tersisa deposit cadangan sebesar 59.954.372 m<sup>3</sup> (Kase, 2018).

## 1.3 Penggunaan Zeolit dalam campuran beraspal

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk mengidentifikasi penggunaan zeolit pada campuran beraspal, baik zeolit alam maupun sintesis. Pada skala modifikasi aspal, Dubravsky et al (2015) menggunakan zeolit alam sebagai material modifikasi aspal. Hasilnya menunjukkan bahwa aspal modifikasi zeolit memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan titik lembek yang lebih besar dibandingkan dengan aspal tanpa zeolit. Sentosa, dkk (2019) menambahkan zeolit sintesis Asphamin® pada campuran beraspal hangat. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa penambahan aditif zeolit sebesar 0,3% dengan suhu pencampuran sebesar 30°C lebih rendah menghasilkan campuran beraspal hangat

dengan karakteristik Marshall yang masih memenuhi persyaratan. Sedangkan pada penelitian Mohammed et al (2020) ditunjukkan bahwa penambahan zeolit sintesis pada campuran beraspal hangat dapat memperbaiki ketahanan terhadap *rutting*. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata nilai kedalaman *rutting* pada campuran beraspal hangat dengan penambahan 5% zeolite sintesis lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman *rutting* pada campuran beraspal panas, dengan perbedaan sekitar 4,79 mm.

Penggunaan nano-zeolit dapat secara signifikan meningkatkan kinerja pengikat aspal termasuk indeks penetrasi, titik lembek, dan modulus kompleks serta meningkatkan ketahanan alur campuran aspal (Wozuk dkk, 2019). Ahmadzadegan et al (2021) membandingkan penggunaan zeolit sintesis dalam dua bentuk, yaitu nano zeolit dan granular zeolite. Hasil pengujian *tensile strength* menunjukkan bahwa sampel yang dimodifikasi dengan nano zeolit memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang dimodifikasi dengan granular zeolite. Selain itu, nano zeolit memberikan pengaruh yang lebih besar pada kedalaman *rutting* dibandingkan dengan granular zeolit. Perbedaan kinerja pada material yang dimodifikasi dengan material nano dibandingkan dengan material granular atau berukuran mikro ini disebabkan karena adanya dispersi fisik material nano dalam aspal dan reaksi kimia antara material nano dan aspal (Yao et al, 2016).

## 2. Material dan Metodologi

### 2.1 Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pen 60/70 produksi Pertamina. Hasil pengujian karakteristik dasar aspal ditunjukkan pada **Tabel 1**.

### 2.2 Agregat

Penelitian ini menggunakan agregat yang berasal dari PT. Sambas Wijaya Kabupaten Purbalingga. **Tabel 2** menunjukkan karakteristik dasar agregat yang digunakan.

### 2.3 Zeolit

Material zeolit yang digunakan merupakan zeolite alam dari deposit Gunung Kidul Jawa Tengah. Material zeolit yang diperoleh dari produsen kemudian diproses menjadi material berukuran nano. Sintesis material

**Tabel 1. Karakteristik dasar aspal**

Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
<b>Aspal</b>		
Penetrasi pada 25°C 100 gram, 5 detik (0,1 mm)	66.4	60-70
Viskositas dinamis 60°C (Pa.S)	166.94	160-240
Titik lembek (°C)	57.5	Min. 48
Daktilitas pada 25°C (cm)	>100	Min. 100
Berat jenis	1.05	Min. 1.0

Tabel 2. Karakteristik dasar material

Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
<b>Agregat</b>		
Abrasi agregat kasar 500 putaran	13%	Maks. 40%
Kelekatan agregat kasar terhadap aspal	100%	Min. 95%
Agregat halus lolos ayakan No. 200	8.39%	Maks. 10%
Penyerapan air agregat kasar	1.89%	Maks. 3%
Penyerapan air agregat halus	1.33%	Maks. 3%
Berat jenis agregat kasar	2.63	> 2.5
Berat jenis agregat halus	2.54	> 2.5

nano dilakukan dengan proses penyaringan dengan saringan No. 400. Hasil penyaringan tersebut menghasilkan material zeolit dengan ukuran rata-rata sebesar 316.4 nm, sehingga dapat dikategorikan dalam material nano. Kandungan senyawa dalam zeolit berdasarkan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kandungan senyawa dominan Zeolit

Senyawa	Proporsi
Silikon dioksida (SiO <sub>2</sub> )	76%
Aluminium oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	15.8%
Kalsium oksida (CaO)	3.09%
Besi (III) oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.91%
Kalium oksida (K <sub>2</sub> O)	1.52%

### 2.4 Penyiapan benda uji

Penelitian diawali dengan pencampuran nano zeolit ke dalam aspal pen 60/70 dengan persentase nano zeolit seperti pada **Tabel 4**. Persentase nano zeolit yang ditambahkan dihitung berdasarkan berat aspal. Pencampuran aspal pen 60/70 dan nano zeolit dilakukan pada suhu ± 150°C sambil diaduk terus menerus selama 30 menit.

Tabel 4. Persentase penambahan Nano Zeolit ke Aspal Pen 60/70

No	Kode Sampel	Proporsi Nano Zeolit (%)
1	AP	0%
2	AMZ-0.1	0.1%
3	AMZ-0.2	0.2%
4	AMZ-0.3	0.3%

Aspal modifikasi nano zeolit ini kemudian digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal panas HRS-WC dengan kadar aspal 7%, 7,5%, dan 8%. Material penyusun dipanaskan dan dicampurkan dengan suhu pencampuran dan dipadatkan dengan jumlah tumbukan 50 kali masing-masing sisi. Benda uji tersebut kemudian diuji untuk mengetahui karakteristik Marshallnya, baik karakteristik volumetrik maupun non volumetrik. **Gambar 1** menunjukkan benda uji campuran beraspal panas HRS-WC yang dibuat.



Gambar 1. Benda uji campuran beraspal panas HRS-WC

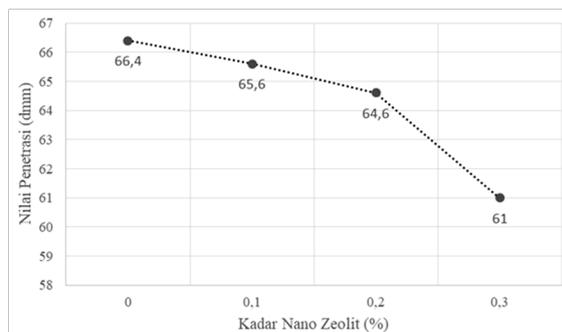
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Karakteristik fisik aspal modifikasi Nano Zeolit

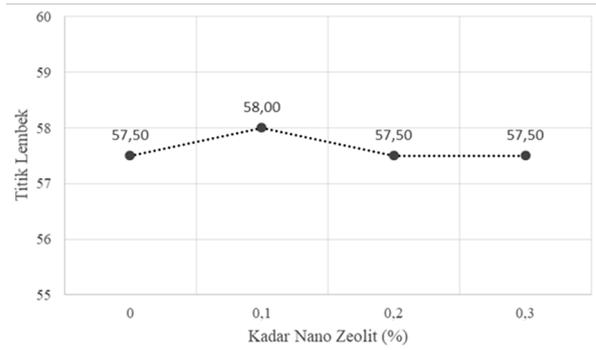
Penambahan nano zeolit ke dalam aspal pen 60/70 memberikan perubahan pada sifat reologi dasar aspal modifikasi. Pada tinjauan nilai penetrasi, penambahan nano zeolit menurunkan nilai penetrasi aspal modifikasi. Semakin besar jumlah nano zeolit yang ditambahkan menghasilkan aspal modifikasi dengan nilai penetrasi yang semakin rendah pula, seperti terlihat pada **Gambar 2**.

Sifat reologi dasar lain yang ditinjau adalah titik lembek. Penambahan nano zeolit ke dalam aspal pen 60/70 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai titik lembek, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**. Nilai titik lembek hanya sedikit berubah pada penambahan 0,1% nano zeolit, sedangkan pada penambahan 0,2% dan 0,3% nano zeolite nilai titik lembek tidak berubah dibandingkan dengan titik lembek aspal pen 60/70.

Dari tinjauan sifat reologi dasar tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan nano zeolite ke dalam aspal pen 60/70 berpengaruh terhadap sifat fisik aspal modifikasi yang dihasilkan. Dari hasil pengujian penetrasi dan titik lembek mengindikasikan bahwa penambahan nano zeolit membuat aspal modifikasi menjadi lebih keras dibandingkan dengan aspal pen 60/70.



Gambar 2. Pengaruh penambahan nano zeolit terhadap nilai penetrasi



Gambar 3. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap titik lembek

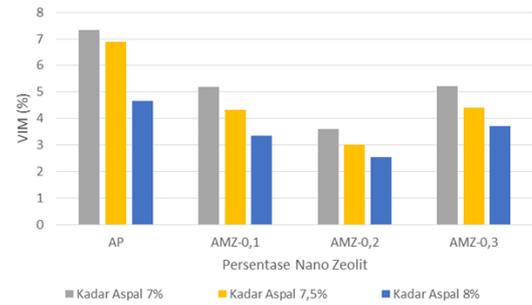
### 3.2 Karakteristik Marshall campuran beraspal dengan aspal modifikasi Nano Zeolit

Karakteristik Marshall yang ditinjau terdiri dari nilai stabilitas Marshall, nilai flow, berat isi atau kepadatan, persentase volume rongga antar agregat (*Void in Mineral Agregat/VMA*), persentase volume rongga dalam campuran (*Void in Mix/VIM*), dan persentase volume rongga terisi aspal (*Void in Filled with Asphalt/VFA*). Pengujian Marshall ini dilakukan pada benda uji campuran beraspal panas (HMA) *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) menggunakan variasi kadar aspal 7% sampai 8% dengan interval 0,5% dan jumlah benda uji masing-masing kadar aspal dibuat 3 (tiga) benda uji.

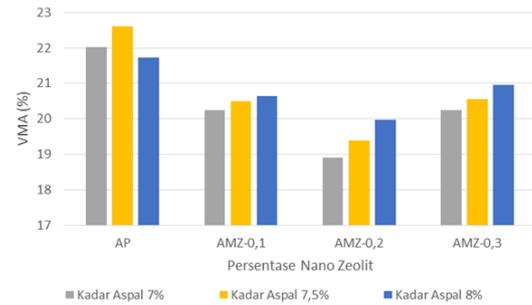
Dari tinjauan volumetrik, *void in mixture* (VIM) dan *void in mineral aggregate* (VMA) memiliki kecenderungan perubahan yang sama. Campuran beraspal konvensional memiliki nilai VIM dan VMA lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal modifikasi nano zeolit. Nilai VIM dan VMA campuran beraspal modifikasi nano zeolit semakin menurun seiring peningkatan kadar nano zeolit, namun meningkat pada penggunaan 0,3% nano zeolit. Namun berbeda dengan VFA, campuran beraspal modifikasi nano zeolit memiliki nilai VFA lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional, tetapi masih memenuhi spesifikasi. Nilai VFA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar nano zeolit, namun sedikit mengalami penurunan pada kadar 0,3% nano zeolit.

Penggunaan aspal modifikasi nano zeolit memberikan pengaruh pada sifat volumetrik campuran. Hal ini disebabkan karena aspal modifikasi mengandung butiran nano zeolite yang lebih besar dibandingkan dengan aspal pen 60/70. Kondisi ini akan berakibat pada berkurangnya jumlah aspal yang masuk ke dalam pori agregat, dan meningkatnya jumlah aspal yang mengisi rongga di antara agregat. Sehingga menyebabkan nilai VIM dan VMA berkurang dan nilai VFA meningkat pada campuran beraspal dengan aspal modifikasi nano zeolit. Pengaruh penggunaan aspal modifikasi nano zeolit terhadap nilai volumetrik campuran beraspal ditunjukkan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6.

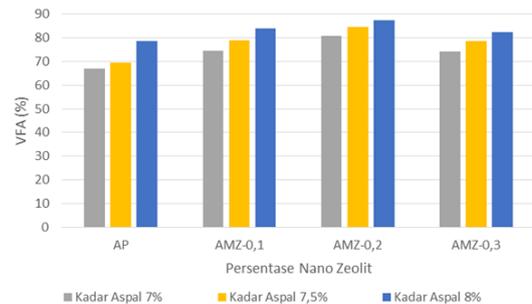
Rongga di dalam campuran (VIM) juga berhubungan dengan kepadatan campuran. Campuran yang memiliki VIM kecil akan menghasilkan kepadatan yang besar. Hal



Gambar 4. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap VIM



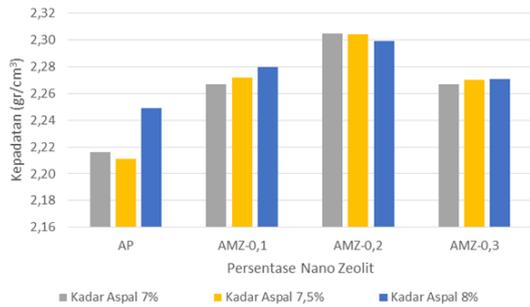
Gambar 5. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap VMA



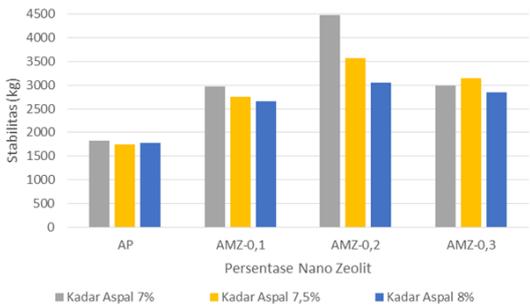
Gambar 6. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap VFA

ini dibuktikan dengan campuran beraspal modifikasi nano zeolit menghasilkan nilai kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kepadatan pada campuran beraspal konvensional. Kepadatan campuran beraspal modifikasi nano zeolit mencapai nilai tertinggi pada penggunaan nano zeolit sebesar 0,2%. Kepadatan campuran akan meningkat seiring peningkatan penggunaan nano zeolit sampai kadar 0,2%, kemudian menurun pada kadar nano zeolit 0,3%. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara persentase nano zeolit dan nilai kepadatan.

Pada kajian nilai stabilitas, penggunaan aspal modifikasi nano zeolit dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran beraspal dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional (tanpa nano zeolit). Berdasarkan Gambar 8, nilai stabilitas tertinggi sebesar 4484,3 kg dihasilkan oleh penggunaan aspal modifikasi nano zeolit 0,2%. Sedangkan pada campuran beraspal modifikasi nano zeolit 0,1% dan 0,3% perbedaan nilai stabilitas tidak terlalu signifikan, namun masih lebih besar dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional. Peningkatan nilai stabilitas ini juga



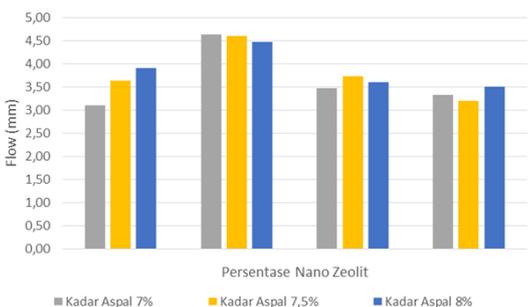
Gambar 7. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap kepadatan



Gambar 8. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap stabilitas

berpotensi akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap rutting.

Pengaruh penggunaan aspal modifikasi nano zeolit terhadap nilai *flow* ditunjukkan pada Gambar 9. Campuran beraspal modifikasi 0,1% nano zeolit memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional. Nilai *flow* terbesar adalah 4,63 mm yang terjadi pada penggunaan 0,1% nano zeolit dan kadar aspal 7%, dan terus menurun seiring dengan penambahan kadar nano zeolit.



Gambar 9. Pengaruh penambahan Nano Zeolit terhadap flow

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Aspal modifikasi nano zeolit mengalami peningkatan kekerasan aspal dibandingkan dengan aspal pen 60/70. Hal ini ditunjukkan dengan berkurangnya nilai penetrasi seiring dengan penambahan jumlah nano zeolit yang digunakan.

- Penggunaan aspal modifikasi nano zeolit pada campuran beraspal HRS-WC memberikan pengaruh positif pada beberapa karakteristik Marshall, diantaranya adalah stabilitas, kepadatan dan rongga terisi aspal. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya kekerasan aspal modifikasi dengan penambahan nano zeolit, sehingga mendukung peningkatan kinerja campuran beraspal.
- Berdasarkan pengujian Marshall, kadar optimum penggunaan nano zeolite sebagai material modifikasi aspal adalah sebesar 0,2%.

#### Daftar Pustaka

- Ahmadzadegan, F., and Sarkar, A., 2021, *Mechanical Properties of Warm Mix Asphalt-Stone Matrix 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.
- 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.
- Atikah, W.S., 2017, *Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil*, *Arena Tekstil*, Vol. 32 No. 1, 17 – 24.
- Dubravsky, M., and Mandula, J., 2015, *Modified Asphalt Binder with Natural Zeolite for Warm Mix Asphalt*, *Journal of Civil Engineering*, Vol. 10, Issue 2, 61 – 68.
- Gunarto, A., dan Suwarno, 2019, *Pemanfaatan Bubuk Silica terhadap Hasil Stabilitas dan Flow pada Laston AC-BC*, *Jurnal CIVILLA*, Vol 4 No 2, 284 – 289.
- Kase, R.M., 2018, *Karakterisasi Mineral Zeolit Kecamatan Gedangsari dan Sekitarnya, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta*, *Jurnal Teknologi Technoscientia*, Vol. 11 No. 1.
- Li, R., Xiao, F., Amirhanian, S., You, Z., and Huang, J., 2017, *Development of Nano Materials and Technologies on Asphalt Materials – A Review*, *Construction and Building Materials*, 143, 633 – 648.
- Mohammed, H.H., and Mustafa, A.N., 2020, *Evaluation of Warm Mix Asphalt Performance Involving Synthetic Zeolite*, *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, 737.
- Santos, L.P., and Crucho, J., 2020, *Special Issue on Nano-Modified Asphalt Binders and Mixtures to*

*Enhance Pavement Performance*, Applied Sciences, 10, 4187.

- Sentosa, L., Subagio, B.S., Rahman, H., and Yamin, R.A.. 2019, *Warm Mix Asphalt Mixture using Modified Asbuton Semi Extraction Modify and Synthetic Zeolite Additive*, MATEC Web of Conferences, 276.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F.W., dan Harjono., 2018, *Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down*, Indonesian Journal of Chemical Science, 7 (1), 43 – 49.
- Suwardi, 2005, *Zeolit Alam: Deposit dan Penggunaan di Bidang Pertanian*, Simposium Nasional ISSAAS: Ketahanan dan Keamanan Pangan, 10 – 20.
- Tauste, R., Moreno-Navarro, F., Sol-Sánchez, M., dan Rubio-Gámez, M. C., 2018, *Understanding the bitumen ageing phenomenon: A review*. Construction and Building Materials, 192, 593–609.
- Woszuk, A., Wr'obel, M., Franus, W., 2019, *Influence of Waste Engine Oil Addition on the Properties of Zeolite-Foamed Asphalt*, Materials, Vol. 12, No. 14, 2265.
- Woszuk, A., and Franus, W., 2017, *A Review of the Application of Zeolite Materials in Warm Mix Asphalt Technologies*, Applied Science, 7.
- Yang, J., and Tighe,S., 2013, *A review of advances of Nanotechnology in asphalt mixtures*, Procedia Social and Behavioral Sciences, Vol. 96, 1269 – 1276.
- Yao, H., and You, Z., 2016, *Effectiveness of Micro- and Nanomaterials in Asphalt Mixtures through Dynamic Modulus and Rutting Tests*, Journal of Nanomaterials.

