

Pengaruh Nano Silika Terhadap Nilai Karakteristik Aspal Pen 60/70

Angga Wibowo^{1†}, Karica Maulidina Hakim¹, Siegfried Syafier¹
¹Teknik Sipil, Universitas Langlangbuana, Indonesia

†korespondensi: anggawibowo999@gmail.com

ABSTRACT

Roads are very important because they help the economy of a region grow. Many roads are still poorly designed and constructed, especially in Indonesia. One way to improve the quality of asphalt is to add additives. One material that could make asphalt more valuable and be used as an additive is nanomaterial. This test was done to learn about pen 60/70 asphalt with 2% and 4% nano silica additives. The test uses an experimental research method. It involves testing in the laboratory. The results of testing pen 60/70 asphalt with 2% and 4% nano silica additives showed an increase in values for penetration, softening point, flash point, viscosity, and specific gravity, and a decrease in values for ductility, solubility, and oil weight loss (TFOT).

Keywords: Pen 60/70 Asphalt, Nano silica, Characteristics, Pavement

ABSTRAK

Jalan merupakan salah satu infrastruktur yang sangat penting karena sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Tidak meratanya pembangunan infrastruktur jalan dan banyaknya jalan rusak akibat kualitas material yang buruk masih menjadi masalah yang umum ditemui, khususnya di Indonesia. Penambahan bahan tambah (additive) merupakan salah satu cara untuk menaikkan nilai mutu aspal. Salah satu bahan yang berpotensi untuk menaikkan nilai aspal dan menjadi bahan tambah (additive) adalah Nano Material. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika 2% dan 4%. Metode yang dilakukan dalam pengujian ini adalah metode penelitian kuantitatif eksperimen dengan melakukan pengujian di Laboratorium. Hasil pengujian karakteristik aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika 2% dan 4% menunjukkan peningkatan nilai untuk penetrasi, titik lemek, titik nyala, viskositas, dan berat jenis serta menunjukkan penurunan nilai untuk daktilitas, kelarutan dan kehilangan berat minyak (TFOT).

Kata Kunci: Aspal Pen 60/70, Nano silika, Karakteristik, Perkerasan jalan

PENDAHULUAN

Aspal terbuat dari bahan alam sehingga sangat mudah mengalami proses pelapukan oleh cuaca yang bisa menyebabkan terjadinya penurunan mutu. Penambahan bahan tambah (Additive) merupakan salah satu cara untuk menaikkan nilai mutu aspal.

Bahan tambah merupakan bahan tambahan di luar bahan utama pembentuk perkerasan lentur khususnya Laston (Lapisan Aspal Beton) yang akan dicampurkan sehingga dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap mutu campuran.

Nano material adalah salah satu bahan yang berpotensi untuk dijadikan bahan tambah karena mampu mempercepat proses konstruksi dan membuat struktur menjadi lebih kuat. Di beberapa negara nano material sudah banyak dikembangkan sebagai bahan tambah. Salah satu nano material yang dapat digunakan adalah nano silika (1).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (2) menjelaskan bahwa Silika adalah senyawa oksida (SiO₂) yang memiliki daya tahan terhadap suhu, stabilitas termal yang tinggi, dan daya tahan kimia terhadap jenis asam juga basa. Dengan melakukan penambahan

material berupa nano silika yang bertujuan sebagai modifikasi aspal sehingga menghasilkan peningkatan yang signifikan terhadap kinerja *antiaging* dan retak lelah, salah satu sumber silika yaitu dari pasir kuarsa (3).

Pasir kuarsa bangka dipilih sebagai nano silika karena pasir kuarsa memiliki kandungan 98,75% silika (SiO₂) sehingga menjadi acuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan nano silika sebagai bahan tambah pada aspal terhadap nilai karakteristik aspal (4).

Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang bersifat viskoelastis maka dari itu aspal akan melunak dan mencair apabila dipanaskan pada suhu tertentu dan kembali membeku jika suhu menurun. Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai (5):

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat

dan antara aspal dengan bahan pengikat itu sendiri.

2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Penelitian ini menggunakan jenis aspal minyak yang terbentuk dari residu proses pemisahan atau pemurnian zat-zat (destilasi) minyak mentah bumi (bensin, solar, minyak tanah, dsb). aspal ini masih lunak yaitu mempunyai penetrasi sekitar 300. Setelah melalui proses pemanasan aspal yang dicampur dengan udara atau gas (semi blown) baru diperoleh aspal penetrasi 60/70 dan aspal keras (*asphalt cement*) jenis lainnya.

Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Direktorat Jenderal Bina Marga Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2 terdapat ketentuan untuk aspal keras yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Ketentuan Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Aspal Pen 60/70	Tipe I Aspal Pen 60/70	Tipe II Aspal Elastomer Sintesis	Tipe III Aspal Modifikasi	
					PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0.1 mm)	61	60-70	Min.40	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 1.0 kPa, (°C)	-	-		70	76

No.	Jenis Pengujian	Aspal Pen 60/70	Tipe I Aspal Pen 60/70	Tipe II Aspal Elastomer Sintesis	Tipe III Aspal Modifikasi	
					PG70	PG76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	338.75	300	300	3000	
4	Titik Lembek (°C)	49.7	48	48	Dilpaorkan	
5	Daktalitas pada 25°C, (cm)	140	100	100	-	
6	Titik Nyala (°C)	324	232	232	230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	99.8	99	99	99	
8	Berat Jenis	1.03	1	1	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	-	-	2.2	2.2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	-	2			
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :						
11	Berat Yang Hilang (%)	0.019	0.8	0.8	0.8	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 2.2 kPa, (°C)	-	-		70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	-	54	54	54	54
14	Daktalitas pada 25°C (cm)	-	50	-	50	25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100C dan tekanan 2.1 Mpa						
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 5000 kPa, (°C)	-	-		31	34

Sumber : (6)

Nano Silika

Silika adalah senyawa oksida (SiO₂) yang memiliki daya tahan terhadap suhu, stabilitas termal yang tinggi, dan daya tahan kimia

terhadap jenis asam juga basa (2). Material silika umumnya dapat diperoleh dari proses alami maupun buatan. Silika buatan biasanya dihasilkan dari proses kimia, sedangkan silika alam didapatkan dari bahan alam seperti pasir

kuarsa atau melalui proses sintesis bahan alam seperti sekam padi, dan lainnya. Perubahan nano silika dari pasir silika Bangka mengandung sebanyak 98,75% SiO₂ seperti yang tertera pada Tabel 2 untuk kandungan mineral pada SiO₂ (4).

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak sumber daya pasir silika dan yang

paling terkenal adalah pasir silika yang berasal dari Bangka dan pasir silika Tuban. Pasir kuarsa biasanya ditemukan dengan ukuran butiran yang bervariasi, mulai dari butiran yang sangat halus (0.06 mm) hingga butiran kasar (2 mm). Pasir kuarsa yang merupakan salah satu sumber silika sangat berpotensi untuk dijadikan nano material.

Tabel 2: Komposisi dan Kandungan Mineral dalam Pasir Kuarsa

Komposisi	Kandungan Mineral
SiO ₂	55.30-99.87%
Fe ₂ O ₃	0.01-9.14%
Al ₂ O ₃	0.01-19.00%
TiO ₂	0.01-0.49%
CaO	0.01-3.24%
MgO	0.01-0.26%
K ₂ O	0.01-17.00%

Nano material adalah material yang memiliki struktur dengan ukuran dimensi yang sangat kecil yaitu sebesar 1-100 nm. Satu nanometer (nm) setara dengan satu per milyar kalinya 1 meter (1nm = 10⁻⁹m). Nano silika merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan besar, stabilitas fisikokimia dan stabilitas dalam mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, serta sifat elastisitas yang rendah (7). Dengan ditambahkan material nano silika untuk modifikasi aspal sehingga terjadinya peningkatan yang signifikan terhadap kinerja *antiaging* dan retak leleh (3). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh (8), yang mana dilakukan perbandingan modifikasi aspal dengan klasifikasi pen 35/50 menggunakan beberapa jenis nano material antara lain nano silika, nanozero valent iron dan nano bentonite yang masing-masing dalam kadar

4%. Dari hasil penelitian tersebut dihasilkan bahwa penambahan nano material yang menggunakan silika menghasilkan efek yang lebih baik dari nano material yang lain. Nano silika pada campuran aspal beton dinilai dapat meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan alur pada campuran beraspal. Dengan menggunakan nano silika sebagai substitusi filler pada campuran dengan variasi 1%, 2%, dan 3% dan dihasilkan rongga campuran lebih kecil jika dibandingkan campuran kontrol (9).

Pada penelitian ini menggunakan aspal dengan klasifikasi Pen 60/70 sebagai bahan utama. Aspal dalam konstruksi jalan sering tidak tersedia sebagai bahan pengikat untuk perkerasan jalan yang memenuhi persyaratan sehingga ketika kondisi suhu lingkungan meningkat jalan menjadi retak dan mengalami deformasi plastis terutama di daerah dengan

lalu lintas yang berat (10). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek dari modifikasi aspal pen 60/70 menggunakan nano silika.

METODE

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode penelitian kuantitatif eksperimen. Penelitian eksperimental adalah jenis penelitian yang dilakukan secara teratur, cermat, dan logis untuk mengendalikan suatu situasi. Adapun pengujian yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah menggunakan acuan-acuan berdasarkan SNI sebagai berikut:

1. Pengujian Penetrasi Aspal (SNI 2456:2011) (11)
2. Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 2434:2011) (12)
3. Pengujian Daktilitas (SNI 2432:2011) (13)
4. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 2433:2011) (14)
5. Pengujian Viskositas (SNI 7729: 2011) (15)
6. Pengujian Berat Jenis (SNI 2441: 2011) (16)
7. Pengujian Kelarutan (SNI 2438: 2015) (17)
8. Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal (TFOT) (SNI 06-2440-1991) (18)

Pengujian ini dilakukan di UPTD Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Provinsi Jawa Barat.

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pengujian ini yaitu:

A. Alat

1. Penetrometer
2. Termometer
3. *Saybolt viscosimeter with thermometer*
4. Pembakar gas atau kompor Listrik
5. Daktilometer
6. *Cleveland open cup*
7. Piknometer
8. Tabung penyaring dan pompa aspirator
9. Aluminium *tube*
10. *Oven*

B. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian yaitu Aspal pen 60/70 dan nano silika sebagai bahan tambahan atau bahan *additive* yang divariasikan berdasarkan tujuan pengujian.

Untuk kebutuhan gramasi bahan tambah nano silika tiap aspalnya dapat dilihat pada Tabel 3.

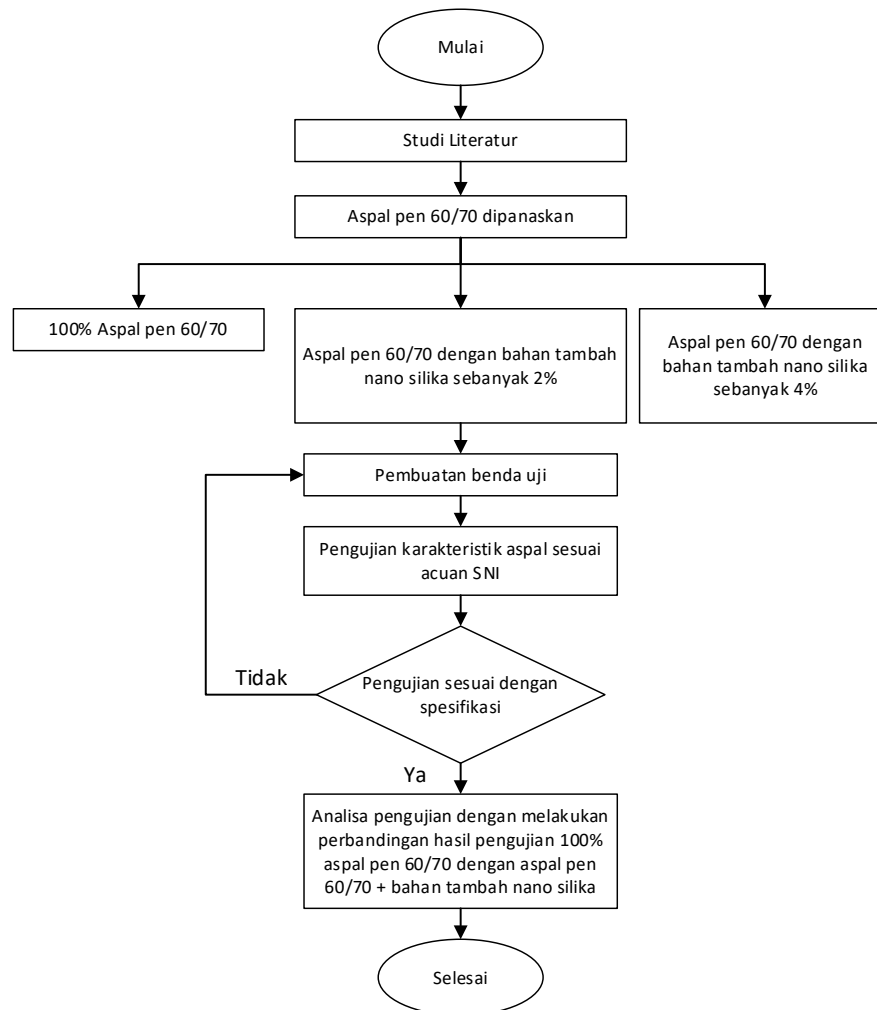
Tabel 3: Komposisi Aspal Pen 60/70 dan Bahan Tambah Nano Silika

Persentasi Nano Silika	Aspal Pen 60/70 (gram)	Bahan Tambah Nano Silika (gram)
Kadar Nano Silika 0%	689.5	0

Persentasi Nano Silika	Aspal Pen 60/70 (gram)	Bahan Tambah Nano Silika (gram)
Kadar Nano Silika 2%	690.19	13.8038
Kadar Nano Silika 4%	694.3	27.772

Sumber : Penulis,2024

Alur metode penelitian yang dilakukan disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1: Diagram Alir Pengujian Karakteristik Aspal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan prosedur pengujian sesuai dengan standar yang telah ditentukan, pada pengujian, dilakukan tiga variasi yaitu nano silika 0%, 2%, dan 4%.

Hasil Pengujian Penetrasi Aspal (SNI 2456:2011)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk menentukan angka penetrasi aspal, yang dilakukan dengan tembusnya jarum penetrasi standar yang dilakukan secara vertikal ke

dalam permukaan aspal. dalam satuan 0.1 mm pada suhu 25°C. Pengujian ini berguna untuk mengevaluasi konsistensi aspal.

Tabel 4: Perbandingan Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

	0% Nano Silika	2% Nano Silika	4% Nano Silika
Nilai Penetrasi	61	60.2	57.4

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan nilai pengujian penetrasi yang terdapat pada Tabel 4, pada aspal pen 60/70 tanpa bahan tambah nano silika sudah memenuhi syarat berdasarkan acuan Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu dengan nilai penetrasi berada di 60-70 mm. Aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% juga telah memenuhi syarat berdasarkan acuan Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai penetrasi sebesar 60.2 mm, namun untuk aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% menghasilkan penetrasi sebesar 57.4 mm yang berarti tidak sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk Aspal pen 60/70. Nilai 57.4

mm menunjukkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika 4% memiliki aspal yang lebih keras, karena semakin kecil nilai penetrasi yang dihasilkan maka semakin keras aspal yang dimiliki.

Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 2434:2011)

Pengujian titik lembek ini dilakukan agar dapat menunjukkan kecenderungan aspal untuk melunak saat suhu perkerasan jalan meningkat sehingga dapat berguna untuk menentukan jenis aspal yang dapat digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.

Tabel 5: Perbandingan Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

	0% Nano Silika	2% Nano Silika	4% Nano Silika
Nilai Titik Lembek	49.7°C	50.45°C	51°C

Sumber : Hasil Pengujian ,2024

Berdasarkan hasil pengujian titik lembek yang terdapat pada Tabel 5 yang telah dilakukan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% memiliki nilai titik lembek sebesar 49.7°C, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% memiliki nilai titik lembek sebesar 50.45°C, dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika

sebanyak 4% memiliki nilai titik lembek sebesar 51°C. Hasil dari seluruh pengujian sudah memenuhi acuan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu dengan nilai titik lembek $\geq 48^\circ\text{C}$.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa dengan ditamhkannya nano silika maka nilai titik lembek yang dihasilkan semakin

tinggi. Maka dengan menambahkan nano silika pada aspal dapat membuat aspal lebih tahan terhadap suhu yang panas dan dapat digunakan di daerah yang memiliki cuaca panas seperti daerah pantai.

Hasil Pengujian Daktilitas Aspal (SNI 2432:2011)

Tabel 6: Perbandingan Hasil Pengujian Daktilitas Aspal

	0% Nano Silika	2% Nano Silika	4% Nano Silika
Nilai Daktilitas	140 cm	133.75	132.75

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian daktilitas yang terdapat pada Tabel 6 menunjukkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% memiliki nilai daktilitas sebesar 140 cm, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% memiliki nilai daktilitas sebesar 133.75 cm dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% memiliki nilai daktilitas sebesar 132.75 cm. Nilai daktilitas yang dihasilkan dari ketiga varian telah memenuhi acuan standar

Pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C atau suhu lainnya dengan cara mengukur jarak rekahan aspal dalam cetakan saat patah setelah ditarik dengan kecepatan 50 mm per menit. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan aspal untuk meregang.

Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 100 cm.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan ditambahkan nano silika nilai daktilitas yang didapat semakin kecil atau pendek yang artinya menunjukkan bahwa aspal mudah putus ketika dilakukan penarikan.

Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 2433:2011)

Tabel 7: Perbandingan Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal

	Nano Silika 0%	Nano Silika 2%	Nano Silika 4%
Titik Nyala	324	328	332

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian titik nyala dan titik bakar yang terdapat pada Tabel 7, menunjukkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% memiliki nilai titik nyala sebesar 324°C, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% memiliki nilai titik nyala sebesar 328°C, dan aspal pen 60/70 dengan bahan

tambah nano silika sebanyak 4% memiliki nilai titik nyala sebesar 332°C.

Ketiga variasi ini sudah memenuhi acuan standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu dengan nilai titik nyala sebesar ≥ 232 °C. Dari hasil pengujian diketahui bahwa dengan ditambahkan nano silika membuat aspal menjadi lebih tahan terhadap suhu panas daripada aspal tanpa tambahan nano silika.

Pengujian titik nyala dilakukan agar dapat mengetahui suhu maksimum saat pemanasan agar aspal tidak mudah terbakar. Semakin tinggi titik nyala dan titik bakar yang dihasilkan maka semakin baik. Pengujian ini berpengaruh terhadap pelaksanaan

pencampuran aspal di lapangan agar menghindari bahwa kebakaran akibat suhu panas pada aspal.

Hasil Pengujian Viskositas (SNI 7729:2011)

Tabel 8: Perbandingan Hasil Pengujian Viskositas Aspal

	Nano Silika 0%	Nano Silika 2%	Nano Silika 4%
Nilai Viskositas	388.75 Cst	577.3 cSt	605.5 cSt

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian viskositas yang terdapat pada Tabel 8 dihasilkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% mempunyai nilai viskositas sebesar 388.75 cSt, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% mempunyai nilai viskositas sebesar 577.3 cSt dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% mempunyai nilai viskositas sebesar 605.5 cSt.

memenuhi acuan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu dengan nilai viskositas sebesar ≥ 300 cSt . maka dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa nilai viskositas pada aspal dengan bahan tambah nano silika lebih tinggi dan dapat meningkatkan kekentalan aspal. Kekentalan aspal sendiri akan berpengaruh terhadap kekuatan dan proses pencampuran dan penghamparan.

Seluruh variasi sampel mempunyai nilai viskositas yang cukup besar dan sudah

Hasil Pengujian Berat Jenis (SNI 2441:2011)

Tabel 9: Perbandingan Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

	Nano Silika 0%	Nano Silika 2%	Nano Silika 4%
Nilai Berat Jenis	1.033	1.049	1.06

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis yang terdapat pada Tabel 9 dihasilkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% mempunyai nilai berat jenis sebesar 1.033, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% mempunyai nilai berat jenis sebesar 1.049 dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% mempunyai nilai berat jenis sebesar 1.06

Seluruh variasi sampel mempunyai nilai berat jenis yang cukup besar dan sudah memenuhi acuan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu dengan nilai berat jenis sebesar ≥ 1.0 . maka dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa nilai berat jenis pada aspal dengan bahan tambah nano silika lebih besar, hal ini disebabkan dengan penambahan nano silika yang sangat halus menyebabkan distribusi partikel menjadi lebih rapat. Kerapatan yang

tinggi dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal sehingga dapat mengurangi kelelahan akibat beban yang tinggi.

Hasil Pengujian Kelarutan (SNI 2438:2015)

Tabel 10: Perbandingan Hasil Kelarutan Aspal Pen 60/70 dengan Aspal Modifikasi

	Nano Silika 0% (%)	Nano Silika 2% (%)	Nano Silika 4% (%)
Nilai Kelarutan	99,8	99,626	96,2

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian kelarutan yang terdapat pada Tabel 10 dihasilkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% mempunyai nilai kelarutan sebesar 99,8% dan telah memenuhi acuan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% mempunyai nilai kelarutan sebesar 99,626% dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% mempunyai nilai Kelarutan

sebesar 96,2%. Untuk aspal pen 60/70 dengan menggunakan bahan tambah nano silika sebesar 2% dan 4% hasil nilai pengujian kelarutan tidak memenuhi acuan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $\geq 99\%$. Hal ini dikarenakan sifat bahan tambah nano silika yang tidak dapat terlarut dalam pelarut apapun.

Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal (TFOT) (SNI 06-2440-1991)

Tabel 11: Perbandingan Hasil Kehilangan Berat Minyak Pada Aspal

	Nano Silika 0%	Nano Silika 2%	Nano Silika 4%
Kehilangan Berat Minyak	0.019%	0.016%	0.004%

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Berdasarkan hasil pengujian kehilangan berat minyak TFOT yang terdapat pada Tabel 11 dihasilkan bahwa aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 0% mempunyai nilai kehilangan berat minyak sebesar 0.019%, aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 2% mempunyai nilai kehilangan berat minyak sebesar 0.016% dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah nano silika sebanyak 4% mempunyai nilai kehilangan berat minyak sebesar 0.004%.

Seluruh variasi sampel mempunyai nilai kehilangan berat minyak (TFOT) yang cukup kecil dan sudah memenuhi acuan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu dengan nilai kehilangan berat minyak sebesar $\leq 0.8\%$. maka dari hasil pengujian dapat dinyatakan bahwa nilai kehilangan berat minyak (TFOT) pada aspal dengan bahan tambah nano silika lebih rendah.

Perbandingan hasil pengujian aspal untuk setiap jenis pengujian dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12: Perbandingan Hasil Pengujian pada Aspal

No.	Jenis Pengujian	Aspal Pen 60/70	Aspal Modifikasi Nano Silika		Tipe I Aspal Pen 60/70	Tipe II Aspal Elastomer Sintesis	Tipe III Aspal Modifikasi	
			2%	4%			PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0.1 mm)	61	60.2	57.4	60-70	Min.40	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 1.0 kPa, (°C)	-	-	-	-	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	338.75	577.3	605.5	300	300	3000	
4	Titik Lembek (°C)	49.7	50.45	51	48	48	Dilaporkan	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	140	134	132.75	100	100	-	
6	Titik Nyala (°C)	324	328	332	232	232	230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	99.8	99.626	96.2	99	99	99	
8	Berat Jenis (gram)	1.03	1.05	1.06	1	1	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	-	-	-	-	2.2	2.2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	-	-	-	2			
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :								
11	Berat Yang Hilang (%)	0.019	0.016	0.004	0.8	0.8	0.8	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 2.2 kPa, (°C)	-	-	-	-	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	-	-	-	54	54	54	54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	-	-	-	50	-	50	25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100C dan tekanan 2.1 Mpa								
	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/Sin) pada osilasi 10 rad/detik 5000 kPa, (°C)	-	-	-	-	-	31	34

Sumber : Hasil Pengujian,2024

Sebagai pembandingan terhadap penelitian sebelumnya yang memodifikasi campuran aspal beton dengan penambahan nano silika

dengan kadar 4%, berikut terlampir hasil penelitian yang dilakukan oleh (8) yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13: Hasil Pengujian Modifikasi Campuran Aspal pen 35/50

Campuran	Penetrasi 25°C (0.1mm)	Titik Lembek (°C)	Viskositas Dinamik	Berat Jenis (kg/m ³)

			(MPa.S)	
			135°C	
4% Nano Silika	25	59.3	1009	1041

Sumber : (8)

Berdasarkan Tabel 13 tersebut dapat dilihat hasil modifikasi campuran aspal pen 35/50 dengan 4% nano silika, di mana nilai penetrasi 25°C adalah 25 mm, titik lembek adalah 59.3°C, viskositas dinamik adalah 1009 MPa.S dan berat jenis adalah 1041 kg/m³.

Apabila dibandingkan hasil parameter penetrasi 25°C antara aspal pen 60/70 dengan aspal pen 35/50, nilai aspal pen 35/50 lebih kecil artinya aspal pen 35/50 lebih keras/kaku sehingga membutuhkan energi panas lebih untuk melelehkan aspal dan hal ini berbanding lurus dengan pengerjaan di lapangan serta biaya.

Untuk parameter titik lembek antara aspal pen 60/70 dengan aspal pen 35/50, nilai aspal pen 60/70 lebih kecil artinya aspal pen 60/70 tidak didesain untuk kondisi beban lebih tinggi atau temperatur tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian diketahui bahwa pada aspal pen 60/70 dengan menggunakan bahan tambah nano silika sebanyak 2% dan 4% menunjukkan adanya peningkatan pada titik lembek, titik nyala, viskositas dan berat jenis. Selain itu pada penambahan nano silika ini juga menunjukkan adanya penurunan pada penetrasi (menunjukkan aspal lebih keras), daktilitas, kelarutan serta kehilangan berat minyak

(TFOT). Hasil perbandingan pengujian penambahan nano silika sebanyak 2% dan 4% menunjukkan ketika penggunaan nano silika terlalu banyak dapat menyebabkan aspal menjadi lebih keras dan kental sehingga jika diaplikasikan pada pengerjaan di lapangan membutuhkan suhu pemanasan yang lebih tinggi dan juga biaya yang lebih mahal. Sebagai pembanding hasil penelitian modifikasi campuran 4% nano silika aspal pen 60/70 dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan aspal pen 35/50, dimana nilai penetrasi 25°C pada aspal pen 60/70 lebih besar dan nilai titik lembek yang lebih kecil, artinya untuk aspal pen 60/70 tidak didesain untuk kondisi ekstrim seperti beban lebih tinggi atau temperature tinggi karena titik lembek yang kecil, namun dari nilai penetrasi dapat diketahui bahwa aspal pen 60/70 lebih lunak sehingga tidak membutuhkan energi panas lebih untuk melelehkan aspal dan dari segi biaya lebih murah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Prihatini E, Rusnardi Rahmat Putra. Kata Kunci: Nanomaterial, Abu Sekam Padi, Mortar, Kuat Tekan. 2021;8(3):175–84.
2. Katsuki H, Furuta S, Watari T, Komarneni S. Zsm-5 Zeolite/Porous Carbon Composite: Conventional-And Microwave-Hydrothermal Synthesis From Carbonized Rice Husk. Microporous Mesoporous Mater. 2005 Nov 1;86:145–51.

3. Yao H, You Z, Li L, Lee Ch, Wingard D, Yap Yk, Et Al. Rheological Properties And Chemical Bonding Of Asphalt Modified With Nanosilica. *J Mater Civ Eng*. 2013;25(11):1619–30.
4. Wahyudi A, Amalia D. Preparation Of Nano Silica From Silica Sand Through Alkali Fusion Process. *Indones Min J*. 2013;16(3):149–53.
5. Sukirman S. *Beton Aspal Campuran Panas*. 2016. 167 P.
6. Direktorat Jenderal Bina Marga. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/Se/Db/2018. 2018;(Revisi 2):1–1036.
7. Kalapathy U, Proctor A, Shultz J. A Simple Method For Production Of Pure Silica From Rice Hull Ash. *Bioresour Technol* [Internet]. 2000;73(3):257–62. Available From: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852499001273>
8. Crucho J, Neves J, Capitão S, Picado Santos L. Mechanical Performance Of Asphalt Concrete Modified With Nanoparticles: Nanosilica, Zero-Valent Iron And Nanoclay. *Constr Build Mater*. 2018 Aug 30;181:309–18.
9. Resentia Nk. Pengaruh Penambahan Nano Silika Terhadap Volumetrik Dengan Metode Pemadatan Marshall Dan Superpave Pada Campuran Beraspal Ac - Wc. *Fak Tek Jur Tek Sipil Dan Lingkung Inst Teknol Bandung*. 2023;30(1):71–8.
10. Hamsi S, Sipil Jt, Teknik F, Mataram U. Analisis Kinerja Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Menggunakan Aspal Modifikasi Gondorukem Analisis Kinerja Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc). 2025;
11. Badan Standardisasi Nasional. Sni 2432 Cara Uji Penetrasi Aspal. 2011.
12. Nasional Bs. Sni 2434 Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin Dan Bola (Ring And Ball). 2011.
13. Nasional Bs. Sni 2432 Cara Uji Daktilitas Aspal. 2011.
14. Badan Standardisasi Nasional. Sni 2433 Cara Uji Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Cleveland Open Up. Badan Stand Nas [Internet]. 2011;1–18. Available From: www.bsn.go.id
15. Sni 7729:2011. Sni 7729:2011 Cara Uji Viskositas Aspal Pada Temperatur Tinggi Dengan Alat Saybolt Furol. Jakarta Badan Stand Nas. 2011;
16. Badan Standardisasi Nasional. Sni 2441 Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras. Badan Stand Nas. 2011;
17. Badan Standardisasi Nasional. Sni 2438: 2015 Cara Uji Kelarutan Aspal. Jakarta Badan Stand Nas [Internet]. 2015;1–13. Available From: <http://sispk.bsn.go.id/sni/detailsni/9874>
18. Badan Standardisasi Nasional. Sni 06-2440-1991 Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak Dan Aspal Dengan Cara A. Sni 06-2440 1991. 1991;1–5.