



## PENGARUH PELAPISAN STEELGUARD TERHADAP DEFORMASI PERMANEN CAMPURAN ASPAL AC-WC

Ardianto Tri Pradityo<sup>1\*</sup>, Vita Vidyaning Viarsami<sup>2</sup>, Gita Nur Aisyah<sup>1</sup>, Kevin Hutama Syahputra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung, Indonesia

Surel: [ardianto.tri@polban.ac.id](mailto:ardianto.tri@polban.ac.id)

### ARTIKEL INFO

Kata Kunci:

Steelguard, AC-WC, deformasi permanen, hamburg wheel tracking

Keywords:

Steelguard, AC-WC, permanent deformation, hamburg wheel tracking

### ABSTRACT

*Permanent deformation is a common type of distress that occurs on pavement surfaces due to the inability of the pavement structure to withstand repeated traffic loading. This type of damage leads to irreversible changes in the pavement surface, such as rutting and surface irregularities, which can compromise both driving comfort and road safety. To address this issue, innovative surface treatment solutions are needed to enhance pavement performance and service life. One such solution is SteelGuard, a polymer-modified asphalt surface coating specifically designed to repair minor surface damage. SteelGuard can be applied using spray techniques or brushed directly onto existing pavement surfaces. The research method involved two combinations of test specimens, namely asphalt concrete wearing course (AC-WC) with and without SteelGuard coating. To analyze the effect of the SteelGuard layer on permanent deformation resistance, tests were conducted using a Hamburg Wheel Tracking (HWT) under wet conditions at two temperatures, 28°C and 45°C. The analysis compared wheel passes, rut depth, Stripping Inflection Point (SIP), Number of Passes to Failure ( $N_f$ ), and performance behavior during creep and stripping conditions between the two specimen combinations. The experimental results indicate that AC-WC mixtures treated with a SteelGuard coating exhibit improved resistance to permanent deformation. This improvement is evidenced by a reduction in rut depth and enhancements in other performance parameters. Based on these findings, SteelGuard is considered effective in improving the durability and functional performance of pavement surfaces, thereby contributing to longer service life and improved roadway conditions for users.*

DOI: [10.58499/jatan.v42i2.1393](https://doi.org/10.58499/jatan.v42i2.1393) diterima: 11 Juni 2025; direvisi: 08 Oktober 2025; disetujui: 09 November 2025

### PENDAHULUAN

Lapisan permukaan pada perkerasan lentur merupakan komponen struktural yang sangat penting karena berfungsi untuk menahan beban vertikal yang berulang akibat lalu lintas kendaraan. Selain itu, lapisan ini juga harus mampu memberikan permukaan yang kedap air, memiliki stabilitas tinggi, serta menunjukkan ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan dan lalu lintas selama umur layan perkerasan (Huang 2004). Lapisan permukaan berperan dalam distribusi tegangan ke lapisan di bawahnya dan menjadi garda terdepan, baik terhadap pengaruh cuaca maupun gaya gesek dari roda kendaraan (Asphalt Institute 2007). Umumnya, lapis permukaan menggunakan bahan pengikat aspal yang memungkinkan terbentuknya struktur perkerasan yang fleksibel tetapi kuat (Kennedy, McGennis, and Anderson 1990).

Salah satu kerusakan utama yang sering terjadi pada lapisan permukaan perkerasan lentur adalah deformasi permanen atau *rutting*, yaitu alur pada jejak roda yang terbentuk secara perlahan akibat beban berulang (Brown and Cross 1992). *Rutting* biasanya terjadi akibat kegagalan struktural atau deformasi

plastis pada campuran aspal yang tidak cukup stabil menahan beban lalu lintas (Sousa, Pais, and Monismith 1994). Fenomena ini tidak hanya menurunkan kenyamanan berkendara, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan serta mempercepat kerusakan lanjutan pada perkerasan jika tidak segera ditangani (Molenaar 2003).

Strategi penanganan terhadap kerusakan deformasi permanen sangat penting untuk memperpanjang umur layan perkerasan dan mengoptimalkan investasi infrastruktur jalan. Penanganan dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu dari dalam campuran dan dari permukaan. Pendekatan dari dalam campuran dilakukan dengan cara memodifikasi aspal menggunakan bahan aditif seperti polimer, serat, atau bahan limbah industri yang telah terbukti meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran (Airey 2004). Selain itu, pengoptimalan gradasi agregat juga berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi (Roberts et al. 1996). Sementara itu, pendekatan dari permukaan dilakukan dengan menambahkan lapisan pelindung yang tidak hanya berfungsi sebagai penghalang terhadap



kerusakan lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan ketahanan mekanis perkerasan terhadap *rutting* (Hicks and Scholz 2003).

Salah satu teknologi terbaru dalam pelapisan permukaan perkerasan adalah *SteelGuard*, yaitu suatu material pelapis tipis permukaan (*very thin overlay*) berbasis modifikasi polimer yang dikembangkan untuk memperbaiki kerusakan minor dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen. *SteelGuard* diaplikasikan langsung di atas permukaan eksisting dengan metode penyemprotan atau penguasaan, serta telah terbukti secara efektif memperkuat daya tahan terhadap alur melalui mekanisme peningkatan modulus kekakuan lapisan permukaan (PT Shell Bitumen Indonesia 2021). Evaluasi visual dan mekanistik terhadap kinerja lapisan *SteelGuard* menunjukkan bahwa aplikasi teknologi ini mampu membangun kembali profil permukaan yang hilang, menyegel permukaan terhadap penetrasi air dan serangan lingkungan, serta meningkatkan kualitas kenyamanan berkendara (Badan Penelitian Jalan Nasional 2022).

Selain itu, *SteelGuard* juga memperlihatkan performa baik dalam ketahanan terhadap sinar ultraviolet, gesekan ban, goresan, dan serangan kimia ringan, menjadikannya sebagai alternatif solusi yang berkelanjutan bagi jaringan jalan perkotaan dengan volume lalu lintas tinggi (Junaidi and Wirawan 2023). Aplikasi lapisan *SteelGuard* diharapkan mampu menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan performa lapisan permukaan jalan beraspal, khususnya dalam menghadapi beban lalu lintas yang berat dan berulang. Untuk mendukung harapan tersebut, diperlukan pendekatan berbasis aspek mekanistik dan kuantitatif guna menggambarkan kinerja lapisan secara lebih menyeluruh (Susanto, Nugroho, and Lestari 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas aplikasi lapisan *SteelGuard* secara komprehensif melalui serangkaian pengujian laboratorium. Dalam penelitian ini, evaluasi kinerja lapisan *SteelGuard* terhadap deformasi permanen dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter utama hasil pengujian *Hamburg Wheel Tracking* (HWT), yaitu kedalaman alur (*rut depth*), *Stripping Inflection Point* (SIP), *Number of Passes to Failure* ( $N_f$ ), serta kemiringan kurva pada kondisi *creep* dan *stripping*. Parameter-parameter tersebut dipilih karena mampu menggambarkan secara kuantitatif perilaku deformasi plastis dan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat kelembaban (*moisture damage*) selama pembebanan berulang. Nilai *rut depth* menunjukkan tingkat keparahan deformasi yang terjadi, sedangkan SIP dan  $N_f$  merepresentasikan ketahanan struktural campuran terhadap proses kerusakan progresif. Adapun kemiringan pada kondisi *creep* dan *stripping*

digunakan untuk menilai laju terjadinya deformasi pada masing-masing fase pembebahan. Melalui analisis parameter-parameter tersebut, efektivitas lapisan *SteelGuard* dalam meningkatkan kinerja campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) terhadap deformasi permanen dapat diamati secara lebih komprehensif.

## HIPOTESIS

Hipotesis utama dalam penelitian ini adalah bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dibandingkan dengan campuran AC-WC tanpa lapisan *SteelGuard*.

## METODOLOGI

### Spesifikasi dan Aplikasi Lapisan *SteelGuard*

*SteelGuard* merupakan pelapis tipis berbasis aspal termodifikasi polimer yang berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis dan memperbaiki kerusakan ringan pada lapisan perkerasan. Material ini diaplikasikan dalam bentuk cair berwarna hitam pekat, baik di laboratorium maupun di lapangan, pada permukaan campuran AC-WC yang telah dipadatkan dan dibersihkan dari debu atau partikel lepas untuk memastikan daya rekat optimal. Di laboratorium, aplikasi dilakukan dengan menggunakan metode penguasaan (*brushing method*), sedangkan di lapangan menggunakan penyemprotan (*spray coating*) dengan alat semprot bertekanan tinggi (*high-pressure spray*). Ketebalan lapisan yang digunakan adalah  $1,5 \pm 0,2$  mm untuk aplikasi laboratorium, setara dengan ketebalan lapangan 0,8–2,0 mm sesuai rekomendasi pabrikan. Setelah diaplikasikan, lapisan dikeringkan selama 24 jam pada suhu ruang ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) untuk memastikan proses pengikatan dan pembentukan film berlangsung sempurna. Aplikasi *SteelGuard* umumnya dilakukan pada perkerasan lentur dengan kondisi struktural baik, terutama pada jalan perkotaan dan jalan nasional dengan lalu lintas sedang hingga tinggi. Lapisan ini efektif dalam memperkuat lapisan aus, menekan deformasi permanen, melindungi dari kerusakan akibat air dan oksidasi, serta memperpanjang umur layan jalan tanpa perombakan struktural menyeluruh.

### Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian terdiri dari dua kombinasi campuran, berikut adalah kombinasi campuran untuk benda uji:

- Campuran aspal (*Plain*)  
Campuran ini adalah campuran aspal AC-WC biasa tanpa adanya tambahan lapisan *Coating*.
- Campuran aspal (*Plain*) + lapisan *SteelGuard*

Campuran ini adalah campuran aspal AC-WC yang ditambahkan lapisan *Coating SteelGuard* di atas lapisan campurannya.

Pada pengujian kinerja deformasi permanen, benda uji dibuat menggunakan cetakan silinder dengan diameter 6 inci. Benda uji dengan kadar aspal yang sudah didapatkan dari pengujian *Marshall* sebelumnya dipadatkan dengan menggunakan alat *Superpave Gyratory Compactor*. Benda uji dipadatkan dengan kondisi rongga udara dalam campuran (VIM) target sebesar  $7,0 \pm 2,0\%$  atau  $93,0 \pm 2,0\%$  dari kepadatan maksimum,  $G_{mm}$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) sebesar  $2.301 \text{ kg}/\text{m}^3$  (AASHTO 2014), berat target 2,5 kg dan tinggi target 6 cm.

### Pengujian Kinerja Deformasi Permanen

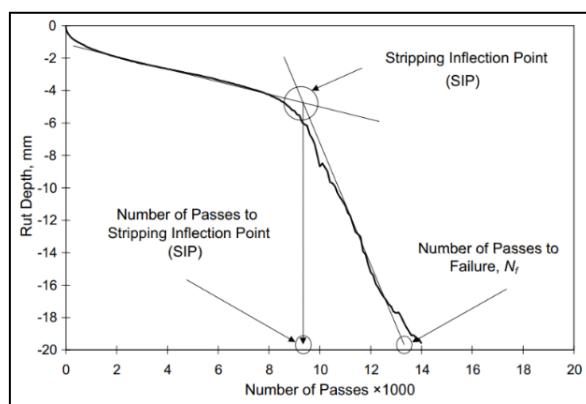
Pengujian deformasi permanen pada campuran aspal dilakukan menggunakan alat HWT. Alat ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal terhadap deformasi plastis dan pengaruh kelembapan, dengan menyimulasikan kondisi lalu lintas, suhu, dan keberadaan air yang menyerupai kondisi aktual di lapangan (Qin et al. 2021). HWT dinilai sangat efektif karena mampu menggabungkan pengujian terhadap deformasi plastis sekaligus ketahanan terhadap kerusakan akibat kelembapan dalam satu prosedur uji (Cao, Liu, and Wang 2020).

Penggunaan HWT dalam penelitian ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang lebih komprehensif dibandingkan alat uji standar Jepang, yaitu *Wheel Tracking Tester* (WTS) sesuai standar JIS A 1159. Pengujian menggunakan WTS umumnya dilakukan dalam kondisi kering dengan batas maksimum sekitar 5.000 lintasan (*passes*) sehingga hanya dapat menampilkan fase deformasi awal (*creep*) tanpa terlihat adanya fase kerusakan akibat kelembapan (*stripping slope*). Sementara itu, HWT memungkinkan pengujian hingga 10.000 – 20.000 *passes* dalam kondisi

basah dengan genangan air sehingga mampu menggambarkan dua fase deformasi secara jelas, yaitu *creep slope* dan *stripping slope*. Perbedaan ini menjadikan HWT lebih representatif dalam mengevaluasi ketahanan campuran aspal terhadap deformasi jangka panjang dan pengaruh kelembapan secara simultan. Dengan demikian, HWT dianggap lebih sesuai digunakan dalam penelitian ini untuk menilai efektivitas lapisan *SteelGuard* dalam meningkatkan ketahanan deformasi permanen pada campuran aspal beton aus (AC-WC).

Dalam pengujian ini digunakan dua variasi temperatur, yaitu  $28^\circ\text{C}$  dan  $45^\circ\text{C}$ . Temperatur  $28^\circ\text{C}$  merepresentasikan kondisi standar laboratorium, sedangkan temperatur  $45^\circ\text{C}$  digunakan untuk mensimulasikan kondisi lapangan dengan suhu tinggi yang umum terjadi di Indonesia. Pemilihan rentang temperatur ini mengacu pada standar AASHTO T 324 (2014), yang merekomendasikan suhu pengujian antara  $40$ – $50^\circ\text{C}$  untuk mengevaluasi ketahanan deformasi permanen pada kondisi tropis. Pengujian dilakukan dengan batas maksimum 10.000 lintasan roda (*passes*) sebagai kapasitas alat, sedangkan kedalaman alur maksimum 20 mm ditetapkan sebagai batas kegagalan (*failure limit*) campuran dalam pengujian.

Analisis data hasil uji HWT dilakukan dengan memplot kedalaman alur (*rut depth*) terhadap jumlah lintasan roda (*wheel passes*) untuk setiap sampel uji. Grafik yang dihasilkan dari pengujian ini memberikan gambaran visual mengenai perilaku deformasi permanen campuran aspal selama proses pembebahan berulang. Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh dua segmen kurva yang merepresentasikan kondisi deformasi plastis awal dan kerusakan akibat kelembapan (*moisture damage*) (AASHTO 2014). Plot khas dari *output* yang dihasilkan oleh HWT ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Sumber: AASHTO T 324-1 (2007)  
Gambar 1. Kurva HWT dengan Parameter Uji

Dua segmen tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan garis lurus pada setiap bagian stabil, yaitu:

- a. bagian pertama (*creep slope*), yang menggambarkan laju deformasi awal sebelum terjadinya kerusakan *stripping*,
  - b. bagian kedua (*stripping slope*), yang menunjukkan laju deformasi setelah terjadinya kerusakan akibat kelembapan.

Dari setiap bagian tersebut diperoleh nilai kemiringan (*slope*) dan intersep, yang kemudian digunakan untuk menghitung parameter kinera perkerasan fleksibel, yaitu:

- a. *Creep slope*: laju deformasi plastis awal,
  - b. *Stripping slope*: laju deformasi akibat kerusakan *stripping*,
  - c. *Stripping Inflection Point (SIP)*: titik transisi antara deformasi awal dan awal terjadinya *stripping*.

Nilai SIP dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

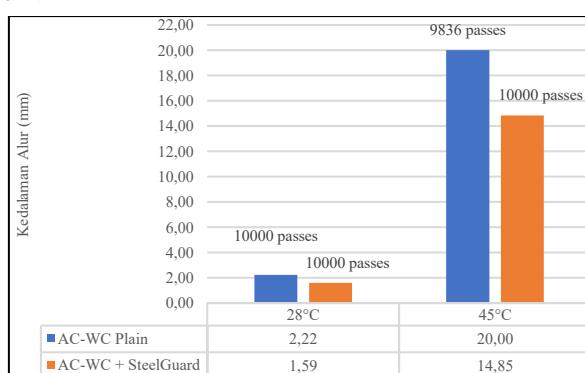
$$SIP = \frac{Intercept_{second} - Intercept_{first}}{slope_{first} - slope_{second}} \dots \dots \dots (1)$$

### Keterangan:

SIP = Stripping Inflection Point (jumlah lintasan roda saat peralihan terjadi)

*Intercept&Slope<sub>first</sub>* = intersepsi dan kemiringan pada bagian pertama kurva (*green slope*)

*Intercept&Slope<sub>second</sub>* = intersepsi dan kemiringan pada bagian kedua kurva (*creep slope*)



Gambar 2. Perbandingan Kedalaman Alur terhadap Temperatur

Berdasarkan grafik di atas, diketahui bahwa pada semua variasi temperatur, kedalaman alur benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih pendek dibandingkan dengan benda uji AC-WC *Plain*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen pada campuran AC-WC, baik pada kondisi suhu sedang maupun suhu tinggi. Peningkatan ketahanan ini disebabkan oleh adanya lapisan pelindung *SteelGuard* yang berfungsi memperkuat ikatan antaragregat di permukaan campuran sehingga deformasi plastis akibat beban berulang dapat

Selain itu, kedalaman maksimum alur yang diizinkan dalam pengujian ini adalah 20 mm. Jika nilai tersebut tercapai sebelum titik SIP, campuran dianggap mengalami kegagalan terhadap deformasi permanen sesuai dengan kriteria AASHTO (AASHTO 2014).

Analisis dan Pembahasan

Analisis hasil pengujian dalam penelitian ini difokuskan pada perbandingan nilai deformasi permanen yang dihasilkan dari dua kombinasi campuran yang telah diuji. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi mana yang menunjukkan kinerja lebih baik dalam menahan deformasi plastis akibat beban berulang, baik dalam kondisi laboratorium maupun kondisi lapangan. Dengan demikian, hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kontribusi masing-masing kombinasi terhadap peningkatan daya tahan lapisan permukaan perkerasan fleksibel terhadap kerusakan deformasi permanen.

## HASIL DAN ANALISIS

## Hasil Pengujian HWT

Dari pengujian menggunakan alat HWT diperoleh hasil berupa hubungan antara temperatur dan kedalaman alur yang terbentuk pada permukaan campuran aspal. Grafik hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

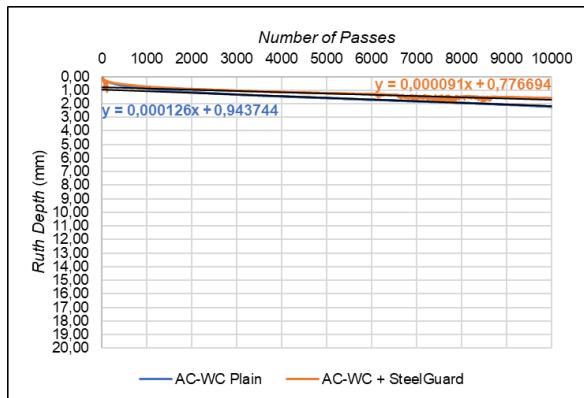
diminimalkan. Selain itu, lapisan *SteelGuard* juga berperan dalam mengurangi penetrasi air dan menjaga kestabilan termal lapisan aus, yang secara keseluruhan membantu memperlambat laju terbentuknya alur pada permukaan perkerasan. Dengan demikian, penggunaan *SteelGuard* terbukti efektif dalam memperbaiki kinerja struktural dan fungsional campuran aspal terhadap beban lalu lintas berulang.

## Hasil Analisis Pengujian HWT

Dari hasil pengujian menggunakan alat HWT didapatkan dua parameter, yaitu lintasan (*passes*) dan

kedalaman alur (*ruth depth*). Data pengujian dibuat ke dalam grafik dari hubungan antara jumlah lintasan terhadap kedalaman alur. Dari grafik tersebut dibuat garis lurus pada kemiringan kurva. Grafik tersebut ditunjukkan seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Pada hasil plot grafik di bawah, Gradien pertama adalah gradien ketahanan deformasi (*creep slope*) dan gradien kedua adalah gradien pengelupasan (*stripping slope*). Dari plot garis lurus didapatkan persamaan garis lurus.

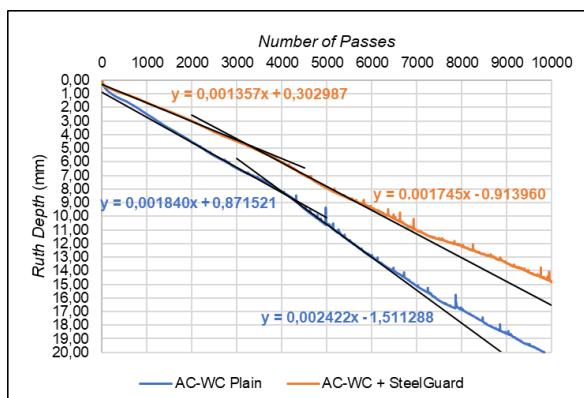


Gambar 3. Hasil Plot Garis HWT AC-WC (28°C)

Pada variasi temperatur 28°C didapatkan persamaan seperti pada Persamaan (2) dan Persamaan (3):

- a. AC-WC Plain  
Gradien kesatu (*creep slope*)

- b. AC-WC + *SteelGuard*  
 Gradien kesatu (*creep slope*)  
 $y = 0,000091x + 0,776694.....(3)$



Gambar 4. Hasil Plot Garis HWT AC-WC (45°C)

Pada variasi temperatur  $45^\circ\text{C}$  didapatkan persamaan seperti pada Persamaan (4), Persamaan (5), Persamaan (6), dan Persamaan (7):



Dari persamaan garis lurus di atas dapat dihitung parameter-parameter hasil pengujian HWT seperti pasca pemandatan (*Post Compaction*), SIP, lintasan SIP, kedalaman alur SIP, jumlah lintasan keadaan runtuh (*Number of Passes to Failure/N<sub>i</sub>*), kemiringan kondisi *creep* dan kemiringan kondisi *stripping*. Dari grafik di atas pada variasi temperatur 28°C hanya terjadi kondisi *creep* disebabkan oleh kemiringan garis *stripping* belum tercapai. Oleh karena itu, perhitungan parameter tersebut tidak bisa dihitung. Sementara itu, pada variasi temperatur 45°C terjadi kondisi *creep* dan *stripping*. Pada kondisi ini parameter tersebut dapat dihitung. Hasil perhitungan parameter HWT seperti pada Tabel 1. Dari tabel di atas dibuat perbandingan hasil perhitungan parameter ke dalam grafik.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Parameter HWT

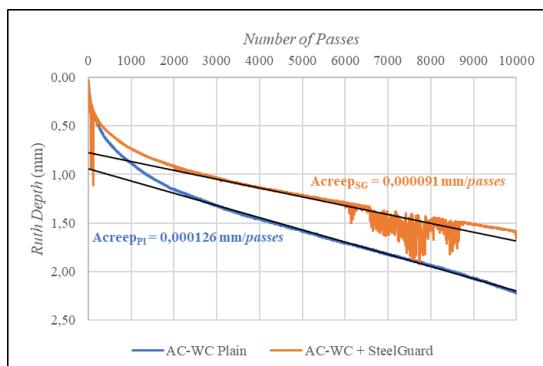
Variasi Temperatur		28°C		45°C	
Jenis Campuran		AC-WC Plain	AC-WC + SteelGuard	AC-WC Plain	AC-WC + SteelGuard
Hasil Pengujian	Lintasan Kedalaman (mm)	10.000 2,22	10.000 1,59	9.836 20,00	10.000 14,85
<b>Post Compaction (mm)</b>		0,94	0,78	0,87	0,30
<i>Stripping</i>	Lintasan Titik SIP (mm)	-	-	4,094	3,136
<i>Inflection Point (SIP)</i>	Kedalaman Alur (mm)	-	-	8,40	4,56
<b>Number of Passes to Failure (N<sub>f</sub>)</b>		-	-	8,882	11,985
Kemiringan n Grafik	Kondisi Creep Kondisi Stripping	0,000126 -	0,000091 -	0,001840 0,002422	0,001357 0,001745

Dari hasil persamaan garis di atas didapatkan kemiringan garis lurus pada setiap kondisi. Nilai kemiringan garis tersebut adalah turunan dari persamaan garis lurus *creep* dan *stripping*. Turunan dari persamaan tersebut merepresentasikan laju kedalaman alur yang dapat dinotasikan menjadi mm/*passes*. Hasil nilai laju kedalaman alur seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.

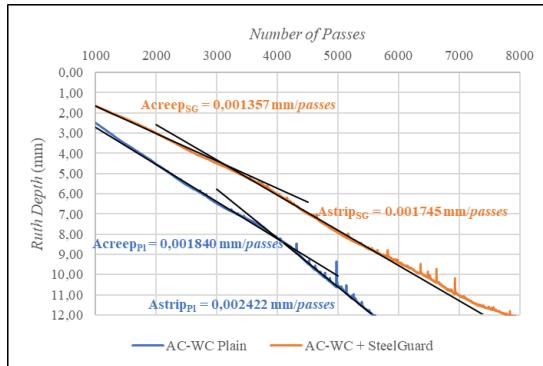
Dari Gambar 5 pada variasi temperatur 28°C hanya terjadi kondisi *creep* karena pada grafik tersebut kurva pengujian belum mencapai kondisi *stripping* yang ditandai dari hanya ada satu kemiringan pada kurva tersebut. Hasil perhitungan laju kedalaman alur pada kondisi *creep* pada benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih lambat dibandingkan dengan benda uji AC-WC

*plain*. Hal ini menandakan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat memperlambat laju kedalaman alur pada kondisi *creep* pada campuran AC-WC.

Dari Gambar 6 pada variasi temperatur 45°C terjadi kondisi *creep* dan *stripping* ditandai dari hanya ada dua kemiringan pada kurva tersebut. Hasil laju kedalaman alur pada kondisi *creep* pada benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih lambat dibandingkan dengan benda uji AC-WC *plain*. Hal ini menandakan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat memperlambat laju kedalaman alur pada kondisi *creep* dan *stripping* pada campuran AC-WC.



Gambar 5. Laju Kedalaman Alur Temperatur 28°C



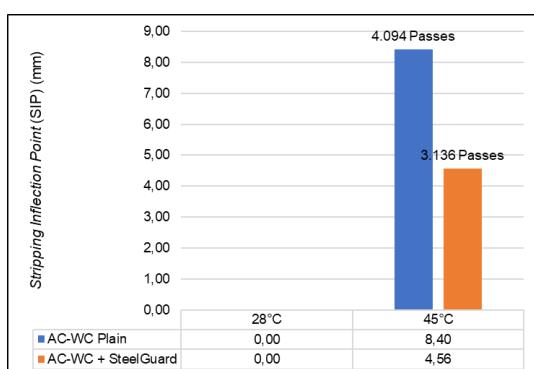
Gambar 6. Laju Kedalaman Alur Temperatur 45°C

### **Stripping Inflection Point (SIP)**

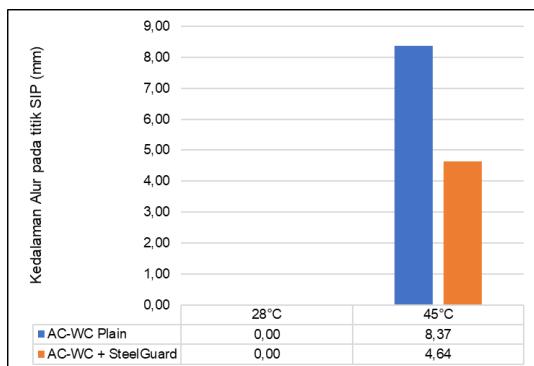
*Stripping Inflection Point* (SIP) adalah titik ketika campuran mulai mengalami *stripping*. Nilai ini didapatkan dari hasil perhitungan perpotongan dua garis lurus pada persamaan garis lurus pada kondisi *Creep* dan *Stripping* (AASHTO, 2014). Dari hasil perpotongan garis tersebut dapat dicari jumlah lintasan dan kedalaman alur pada titik SIP. Grafik hubungan antara temperatur dengan SIP dan grafik hubungan antara temperatur dengan kedalaman alur pada titik SIP dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Dari hasil grafik di bawah diketahui bahwa pada variasi temperatur 28°C belum masuk pada kondisi *stripping*, sedangkan pada variasi temperatur 45°C, nilai SIP benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih dangkal dan memiliki jumlah lintasan yang lebih

sedikit (lebih cepat *stripping*) dibandingkan dengan benda uji AC-WC Plain. Hal ini menandakan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat meningkatkan ketahanan terhadap *stripping* dilihat dari nilai kedalaman alur pada titik SIP yang lebih dangkal. Walaupun kondisi *stripping* terjadi lebih cepat, pada parameter laju kedalaman alur pada kondisi *stripping* penambahan lapisan *SteelGuard* lebih lambat yang membuat lapisan ini dapat menahan laju kedalaman alur pada kondisi *stripping*. Penambahan lapisan *SteelGuard* juga sejalan dengan konsep *film thickness*. Penambahan lapisan ini dapat menambahkan *film thickness* pada permukaan campuran sehingga lapisan tersebut mengalami peningkatan ketahanan terhadap *stripping* pada campuran AC-WC.



Gambar 7. Perbandingan *Stripping Inflection Point* (SIP) Terhadap Temperatur

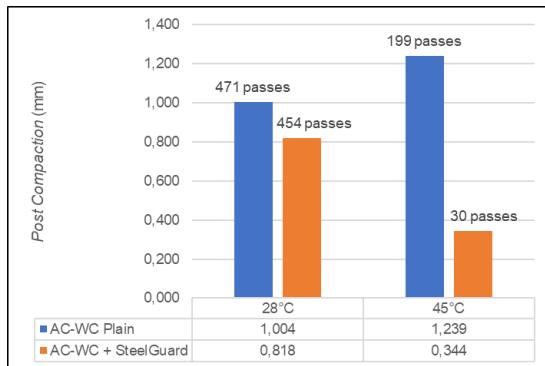


Gambar 8. Perbandingan Kedalaman Alur pada Titik SIP terhadap Temperatur

### **Post Compaction**

*Post compaction* adalah kedalaman deformasi pada kondisi pasca pemanasan di awal siklus pengujian. Nilai ini didapatkan dari hasil perhitungan persamaan garis *creep* yang berpotongan dengan garis

*post compaction*. Dari hasil perpotongan ini didapatkan nilai kedalaman *post compaction*. Grafik hubungan antara temperatur dan *post compaction* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan *Post Compaction* Terhadap Temperatur

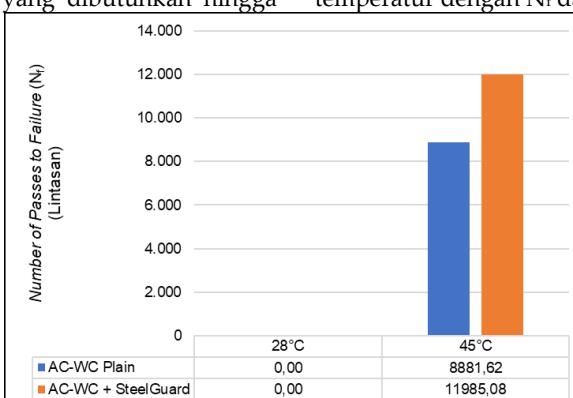
Dari hasil pengujian di atas diketahui bahwa pada variasi temperatur 28°C dan 45°C, nilai *post compaction* benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih pendek dibandingkan dengan benda uji AC-WC *Plain*. Walaupun *post compaction* terjadi lebih cepat, pada parameter laju kedalaman alur pada kondisi *creep* lebih lambat dibandingkan dengan benda uji AC-WC *Plain*. Hal ini menandakan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat meningkatkan ketahanan terhadap kedalaman deformasi pasca pemanasan pada awal siklus pengujian pada campuran AC-WC.

#### **Number of Passes to Failure ( $N_f$ )**

*Number of Passes to Failure ( $N_f$ )* adalah jumlah lintasan roda (*wheel passes*) yang dibutuhkan hingga

campuran aspal mencapai kondisi kegagalan struktural akibat deformed plastis yang berlebihan. Dalam konteks pengujian HWT, kegagalan ini didefinisikan sebagai saat kedalaman alur (*rut depth*) mencapai ambang batas tertentu, umumnya sebesar 20 mm, sebagaimana ditetapkan dalam standar AASHTO T 324 (AASHTO, 2014).

$N_f$  merupakan indikator penting dalam mengevaluasi umur layan campuran aspal karena mencerminkan jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan sebelum mengalami deformasi permanen kritis. Semakin tinggi nilai  $N_f$ , maka semakin baik performa struktural campuran dalam menghadapi *rutting* dan *stripping*. Grafik hubungan antara temperatur dengan  $N_f$  dapat dilihat pada Gambar 10.



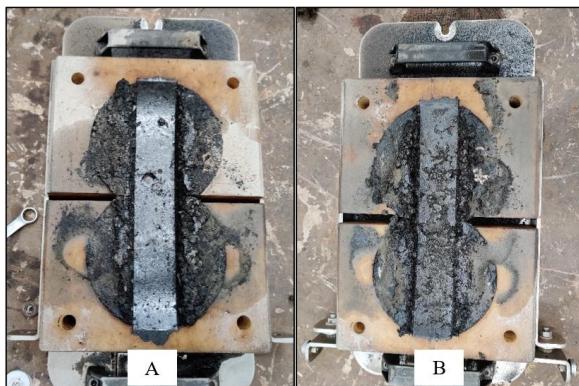
Gambar 10. Perbandingan *Number of Passes to Failure ( $N_f$ )* terhadap Temperatur

Dari hasil pengujian di atas diketahui bahwa pada variasi temperatur 45°C, nilai  $N_f$  benda uji AC-WC + *SteelGuard* lebih panjang dibandingkan dengan benda uji AC-WC *Plain*. Hal ini menandakan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat meningkatkan umur runtuh deformasi permanen pada campuran AC-WC.

pada benda uji yang tidak dilapisi *SteelGuard*, aspal terlihat mengalir ke permukaan (*bleeding*) yang membuat rongga yang ada dalam sistem campuran berubah dan menyebabkan campuran tidak dapat menahan deformasi secara optimal, sedangkan pada benda uji yang dilapisi *SteelGuard*, aspal tetap tertahan di dalam sistem campuran karena lapisan *SteelGuard* menutup pori-pori permukaan campuran yang membuat rongga di dalam campuran terjaga dan lebih stabil, penambahan lapisan ini dapat menahan deformasi lebih baik.

#### **Pengamatan Visual**

Terlihat dari hasil benda uji setelah dilakukannya pengujian dapat dilihat pada Gambar 11,



Gambar 11. Benda Uji HWT Variasi Temperatur 45°C (Kiri: AC-WC Plain, Kanan: AC-WC + SteelGuard)

### Rekapitulasi Analisis Hasil Penelitian

Hasil pengujian deformasi permanen menggunakan alat HWT dengan kondisi basah menunjukkan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen, meningkatkan ketahanan terhadap *stripping*, memperlambat laju kedalaman alur pada kondisi *creep* dan *stripping*, meningkatkan ketahanan

terhadap kedalaman deformasi awal dan meningkatkan umur runtuh deformasi permanen pada campuran AC-WC. Peningkatan ini sejalan dengan konsep *film thickness*. Penambahan lapisan ini dapat menambah *film thickness* pada permukaan campuran sehingga lapisan tersebut dapat meningkatkan ketahanan terhadap *stripping*. Rekap hasil pengujian deformasi permanen seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Deformasi Permanen

Parameter	Satuan	Kombinasi		Hasil	
		AC-WC Plain	AC-WC + SteelGuard	Selisih	Persentase
<b>Kedalaman Alur Pengujian</b>					
Temperatur 28°C	mm	2,22	>	1,59	0,63 28,38%
Temperatur 45°C	mm	20,00	>	14,85	5,15 25,75%
<b>Stripping Inflection Point (SIP) pada Temperatur 45°C</b>					
Stripping Inflection Point (SIP)	mm	8,40	>	4,56	3,85 45,76%
Kedalaman Alur pada titik SIP	mm	8,37	>	4,64	3,73 44,56%
Jumlah Lintasan pada titik SIP	passes	4094	>	3136	958 23,40%
Laju Kedalaman Alur pada titik SIP	mm/passes	0,002422	>	0,001745	0,000677 27,95%
<b>Laju Kedalaman Alur pada Kondisi Creep</b>					
Temperatur 28°C	mm/passes	0,000126	>	0,000091	0,000035 27,78%
Temperatur 45°C	mm/passes	0,00184	>	0,001357	0,000483 26,25%
<i>Post Compaction</i>					
Temperatur 28°C	mm	0,94	>	0,78	0,17 17,70%
Temperatur 45°C	mm	0,87	>	0,30	0,57 65,23%
<b>Number of Passes to Failure (N<sub>f</sub>)</b>					
Temperatur 45°C	passes	8.882	<	11.985	3103,46 34,94%

### PEMBAHASAN

Hasil pengujian HWT menunjukkan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* secara signifikan meningkatkan ketahanan campuran AC-WC terhadap deformasi permanen. Nilai *rut depth* yang dihasilkan pada semua variasi temperatur menunjukkan penurunan yang konsisten dibandingkan dengan campuran tanpa lapisan (*Plain*). Selain itu, parameter *Stripping Inflection Point (SIP)* dan *Number of Passes to Failure (N<sub>f</sub>)* pada campuran dengan lapisan *SteelGuard* menunjukkan peningkatan yang cukup besar, menandakan ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan akibat kelembapan dan deformasi plastis. Selama fase *creep*, laju pertambahan kedalaman alur

pada campuran berlapis *SteelGuard* lebih lambat, sedangkan pada fase *stripping*, penurunan kinerja terjadi dengan kecepatan yang lebih kecil dibandingkan campuran tanpa lapisan. Hal ini membuktikan bahwa *SteelGuard* mampu mempertahankan kekakuan dan daya lekat antarmuka pada kondisi beban berulang dan temperatur tinggi.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Qin et al. (2021) dan Cao, Liu, & Wang (2020) yang menyimpulkan bahwa pelapis berbasis polimer dapat meningkatkan ketahanan terhadap *rutting* dan memperlambat kerusakan akibat kelembapan. Hasil ini juga mendukung laporan Shell Bitumen (2021) yang mencatat pengurangan kedalaman alur hingga 30–50%

pada perkerasan berlapis *SteelGuard* dibandingkan dengan lapisan konvensional. Namun, dibandingkan dengan penelitian Suman S. dan Prasad B. (2019) dalam "Analysis and Implementation of Modified *SteelGuard* on Runway and Flexible Pavement", terdapat perbedaan dalam metode pengujian. Penelitian tersebut menggunakan Marshall Stability Test dan rutting test di lapangan, bukan HWT, tetapi hasilnya tetap menunjukkan peningkatan stabilitas dan penurunan deformasi. Perbedaan metode ini menunjukkan bahwa efektivitas *SteelGuard* dapat diamati melalui berbagai pendekatan, baik dalam kondisi laboratorium maupun dalam kondisi lapangan.

Secara keseluruhan, hasil analisis parameter HWT menunjukkan bahwa lapisan *SteelGuard* tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis tetapi juga memperbaiki ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Keunggulan ini menjadikan *SteelGuard* sebagai solusi pelapis fungsional yang efektif untuk memperpanjang umur layan jalan. Meskipun demikian, penelitian ini masih terbatas pada kondisi laboratorium dengan variasi temperatur tertentu. Pengujian lanjutan di lapangan dengan variasi lalu lintas dan iklim yang berbeda perlu dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kinerja jangka panjang *SteelGuard* pada perkerasan lentur di Indonesia.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa penambahan lapisan *SteelGuard* pada campuran AC-WC secara signifikan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen. Hal ini ditunjukkan melalui penurunan kedalaman alur pada variasi temperatur 28°C dan 45°C, dengan persentase pengurangan masing-masing sebesar 28,38% dan 25,75% dibandingkan campuran tanpa lapisan (*plain*). Selain itu, hasil pengujian *Stripping Inflection Point* (SIP) menunjukkan bahwa lapisan *SteelGuard* dapat meningkatkan ketahanan terhadap *stripping* dan memperlambat laju kerusakan meskipun pada temperatur tinggi kondisi *stripping* terjadi lebih cepat. Pada aspek *post compaction*, nilai kedalaman alur lebih dangkal pada campuran dengan *SteelGuard*, dengan peningkatan ketahanan terutama pada temperatur 45°C. Sementara itu, nilai *Number of Passes to Failure* (N<sub>f</sub>) yang lebih tinggi pada campuran dengan *SteelGuard* menunjukkan bahwa lapisan ini mampu memperpanjang umur layan terhadap deformasi permanen. Secara visual, lapisan *SteelGuard* terbukti mampu menutup pori-pori permukaan campuran, menjaga kestabilan struktur, serta mempertahankan aspal dalam sistem campuran. Dengan demikian,

penerapan lapisan *SteelGuard* terbukti efektif dalam meningkatkan performa lapis permukaan perkerasan lentur terhadap beban lalu lintas berat dan berulang.

### Saran

Disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian lanjutan terhadap campuran AC-WC berlapis *SteelGuard* dengan metode uji *fatigue* (kelelahan material) untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai ketahanan jangka panjang lapisan perkerasan terhadap beban lalu lintas berulang. Uji *fatigue* akan memberikan informasi penting mengenai durabilitas struktur perkerasan dalam menghadapi tegangan dan regangan siklik, terutama pada kondisi suhu tinggi dan lingkungan ekstrem. Temuan dari pengujian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah mengenai efektivitas aplikasi *SteelGuard*, khususnya dalam konteks penggunaannya pada perkerasan jalan dengan tingkat beban lalu lintas tinggi dan frekuensi pembebatan yang intensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 2014. *AASHTO T 324: Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Airey, G. D. 2004. "Fundamental Binder and Practical Mixture Evaluation of Polymer Modified Bituminous Materials." *International Journal of Pavement Engineering* 5 (3): 163–176.
- Asphalt Institute. 2007. *MS-2 Asphalt Mix Design Methods*. Lexington, KY: Asphalt Institute.
- Badan Penelitian Jalan Nasional. 2022. *Evaluasi Kinerja Lapisan Pelindung SteelGuard pada Perkerasan Lentur Jalan Nasional*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Brown, E. R., and S. A. Cross. 1992. "A Study of Rutting in Asphalt Pavements." *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists* 61: 535–572.
- Cao, W., L. Liu, and H. Wang. 2020. "Evaluation of Moisture Damage and Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using the Hamburg Wheel Tracking Test." *Construction and Building Materials* 254: 119–126.
- Hicks, R. G., and T. V. Scholz. 2003. "Thin Surface Treatments to Reduce Rutting in Hot Mix Asphalt Pavements." *Transportation Research Record* 1832 (1): 85–92.
- Huang, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Junaidi, A., and I. Wirawan. 2023. "Kinerja Lapisan Pelindung Aspal Berbasis Polimer terhadap Ketahanan Lingkungan." *Jurnal Teknik Sipil Indonesia* 28 (2): 102–110.

- Kennedy, T. W., R. B. McGennis, and R. M. Anderson. 1990. *Modern Asphalt Pavement Design*. Washington, D.C.: NAPA Research and Education Foundation.
- Molenaar, A. A. A. 2003. "Mechanistic Analysis of Permanent Deformation in Asphalt Mixtures." *Journal of Transportation Engineering* 129 (6): 654–662.
- PT Shell Bitumen Indonesia. 2021. *Technical Report: Performance Evaluation of SteelGuard Polymer-Modified Asphalt Coating*. Jakarta: Shell Indonesia.
- Qin, Q., H. Li, and X. Zhang. 2021. "Comprehensive Evaluation of Asphalt Mixtures Using Hamburg Wheel Tracking and Moisture Susceptibility Tests." *International Journal of Pavement Research and Technology* 14 (2): 124–134.
- Roberts, F. L., P. S. Kandhal, E. R. Brown, D. Y. Lee, and T. W. Kennedy. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. 2nd ed. Lanham, MD: NAPA Research and Education Foundation.
- Sousa, J. B., J. Pais, and C. L. Monismith. 1994. "Mechanistic Interpretation of Permanent Deformation of Asphalt Mixtures." *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists* 63: 208–241.
- Suman, S., and B. Prasad. 2019. "Analysis and Implementation of Modified SteelGuard on Runway and Flexible Pavement." *International Journal of Engineering Research & Technology* 8 (6): 843–849.
- Susanto, H., D. Nugroho, and A. Lestari. 2024. "Pendekatan Mekanistik untuk Evaluasi Kinerja Lapisan Pelindung Aspal." *Jurnal Infrastruktur dan Material Jalan* 12 (1): 45–56.