

EVALUASI KINERJA *RUTTING* HOT MIX ASPHALT

Hery Awan Susanto, Gandjar Pamudji, dan Bagyo Mulyono

Departemen Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman

Email: hery.susanto@unsoed.ac.id

Abstrak: Salah satu jenis kerusakan jalan adalah *rutting* (deformasi). *Rutting* merupakan kerusakan struktural jalan yang dapat mengganggu kenyamanan berlalu lintas. *Rutting* adalah faktor penting yang harus diperhatikan dalam campuran beraspal. Penyebab dari deformasi adalah regangan geser yang terjadi pada struktur perkerasan lentur. Pada penelitian ini, perilaku deformasi perkerasan lentur dievaluasi melalui pengujian simulasi di laboratorium dengan menggunakan alat Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD) dan Scaled Accelerated Load Simulator Device (SALSD). Korelasi dari dua jenis pengujian simulasi dianalisa untuk mendapatkan nilai faktor konversi (FI) dengan mempertimbangkan parameter temperatur, kecepatan pengujian, frekuensi representatif dan modulus dinamik dari campuran Hot Mix Asphalt (HMA). Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya korelasi *rutting* antara HWTD dan SALSD pada temperatur yang berbeda. Faktor konversi HWTD ke SALSD sebesar 0,93. Dari hasil analisis dapat disimpulkan pula bahwa peningkatan nilai *rutting* material HMA menyebabkan berkurangnya efektivitas faktor konversi diantara kedua pengujian tersebut.

Kata kunci: *Rutting, Hamburg Wheel Tracking Device, Scaled Accelerated Load Simulator Device, faktor konversi*

RUTTING PERFORMANCE EVALUATION OF HOT MIX ASPHALT

Abstract: One type of road damage is *rutting* (deformation). *Rutting* is a road structural damage that can interfere with traffic comfort. *Rutting* is an important factor to consider in asphalt mixtures. The cause of deformation is the shear strain that occurs in flexible pavement structures. In this study, the deformation behavior of flexible pavements was evaluated through simulation testing in the laboratory using the Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD) and the Scaled Accelerated Load Simulator Device (SALSD). The correlation of the two types of simulation testing is analyzed to obtain the conversion factor (FI) value by considering the parameters of temperature, test speed, representative loading frequency and dynamic modulus of the Hot Mix Asphalt (HMA) mixture. The results of this study indicate a *rutting* correlation between HWTD and SALSD at different temperatures. The conversion factor of HWTD to SALSD is 0.93. From the analysis, it can also be concluded that the increase in the *rutting* value of the HMA material causes a reduction in the effectiveness of the conversion factor between the two tests.

Keywords: *Rutting, Hamburg Wheel Tracking Device, Scaled Accelerated Load Simulator Device, conversion factor*

PENDAHULUAN

Salah satu jenis kerusakan jalan yang dominan adalah deformasi permanen atau *rutting*. *Rutting* yang terjadi dapat menyebabkan gangguan pada pengoperasian kendaraan dan meningkatkan resiko kecelakaan lalu lintas. Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk mengamati mekanisme terjadinya *rutting* dalam campuran aspal beton. Pada tahap awal terjadinya *rutting* dikarenakan konsolidasi akibat beban lalu lintas permulaan. Selanjutnya aspal beton akan mengalami deformasi permanen seiring dengan meningkatnya beban lalu lintas (Huang, 2017; Walubita et al., 2013). Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui perilaku *rutting* aspal beton agar dapat mengembangkan kemampuan ketahanan terhadap *rutting*. Terdapat dua metode untuk mengevaluasi ketahanan *rutting*, yaitu melalui pengujian simulasi dengan beban berjalan dan melalui pengujian fundamental properti mekanis seperti sifat viskoelastis dan viskoplastis (Gibson et al., 2012; Im, 2012). Pengujian simulasi dilakukan dengan mengaplikasikan beban roda kendaraan sebagai beban berulang baik di laboratorium maupun di lapangan. Pengujian simulasi di laboratorium menggunakan beberapa alat seperti: French *Rutting* Device (FRD), UK Wheel Tracking Device (UKWTD), Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD), dan Asphalt Pavement Analyzer (APA) (Gabet et al., 2011; Wang et al., 2016). Pengujian skala laboratorium dengan beban roda berjalan yang lebih realitis adalah menggunakan Third-Scale Model Mobile Load Simulator (MMLS3) dan Heavy Vehicle Simulator (HVS) (Lee et al., 2015; Khan et al., 2013).

Walaupun dalam pengujian simulasi tidak mempertimbangkan parameter fundamental material aspal beton, hasil pengujian ketahanan *rutting* dari beberapa sampel aspal beton menunjukkan efektifitas hasil kinerja *rutting* yang baik. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menguji ketahanan *rutting* dari campuran aspal beton dengan menggunakan berbagai alat Wheel Tracking Device (WTD). Pada pengujian sampel Hot Mix Asphalt (HMA) dalam kondisi kering menggunakan HWTD menunjukkan bahwa nilai *rutting* sama dengan yang terjadi di lapangan (Chaturabong dan Bahia, 2017). Pengujian *rutting* dengan alat UKWTD terhadap campuran aspal beton menunjukkan adanya korelasi yang tinggi antara *rutting* yang terjadi di laboratorium dan di lapangan (Radhakrisnan et al., 2017). Pengujian *rutting* menggunakan APA

menunjukkan bahwa campuran aspal modifikasi memiliki ketahanan *rutting* yang lebih baik dibandingkan dengan campuran aspal beton standard (Wang et al., 2017). Sementara itu, hasil dari penelitian yang lain menunjukkan bahwa agregat jenis basal memiliki kemampuan ketahanan *rutting* yang lebih baik dibandingkan dengan agregat jenis kapur dalam campuran aspal beton (Al-Khateb et al., 2013).

Dengan efektifitas dan kemudahan dalam pengoperasian WTD, maka WTD telah banyak digunakan oleh departemen transportasi di beberapa negara sebagai standar dalam mengevaluasi terjadinya *rutting* dalam campuran aspal beton. Bahkan ada yang menggunakan WTD sebagai spesifikasi pada tahap desain material untuk mengoptimalkan ketahanan *rutting* dalam campuran aspal beton (Schram dan William, 2013). Pada saat ini terdapat beberapa tipe WTD dengan sistem pengoperasian yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian sebelumnya tentang pengujian *rutting* dengan APA, FRD, dan HTWD menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara nilai *rutting* dari ketiga alat tersebut dengan nilai *rutting* di lapangan (Suh dan Cho, 2014). Selanjutnya penelitian lain mengevaluasi nilai *rutting* menggunakan APA dan UKWTD dengan hasil menunjukkan bahwa pengujian nilai *rutting* dengan APA berjalan lebih lambat dibandingkan dengan UKWTD (Hussan et al., 2017). Bagaimanapun juga, penelitian-penelitian yang dilakukan pada saat ini hanya terbatas pada melaporkan hasil perbandingan dengan menggunakan beberapa pengujian WTD. Namun tidak ada satupun penelitian yang mencoba menghubungkan korelasi nilai *rutting* dari hasil beberapa pengujian WTD. Setiap WTD memiliki perbedaan dalam kondisi pengujian, seperti: beban yang diterapkan, kecepatan pengoperasian, dan temperatur yang berpengaruh kepada perbedaan respon mekanis dari aspal beton, sehingga hasil dari masing-masing WTD tidak dapat dibandingkan satu sama lain secara langsung.

Oleh karena itu, tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengembangkan sebuah kerangka analisis dalam menyelidiki faktor konversi (FI) dari hasil pengujian WTD yang berbeda. Pengujian HTWD dan SALSD dilakukan untuk mendapatkan hubungan korelasi *rutting* antara dua pengujian tersebut. Dari hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SALSD mampu digunakan untuk mensimulasikan beban

roda berjalan dengan kondisi kecepatan dan temperature tertentu (Yang et al., 2018).

MATERI DAN METODE

Campuran HMA didesain dengan menggunakan prosedur Asphalt Institute MS-2 (Buncher dan Anderson, 2014). Sampel HMA direncanakan untuk menerima beban dengan lalu lintas tinggi, sehingga ditumbuk sebanyak 75 kali sesuai dengan standar Marshall. Material penyusun HMA terdiri dari aspal HMA-20 dan agregat yang diperoleh dari sungai. Hasil pengujian desain campuran HMA, gradasi agregat, dan karakteristik aspal ditunjukkan dalam

Tabel 1. Semua sampel pengujian diperoleh dari aspal mixing plant (AMP).

Pengujian terhadap campuran HMA dimulai dengan melakukan pengujian modulus dinamik.

Dua jenis pengujian simulasi kinerja meliputi HWTD dan SALSD dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan *rutting* dari campuran HMA. Selanjutnya nilai modulus dinamik pada masing-masing kondisi pengujian dianalisis untuk mendapatkan nilai faktor konversi (FI) diantara hasil dua pengujian tersebut.

Modulus Dinamis HMA

Modulus dinamik HMA ditentukan melalui pengujian uniaxial compression dengan menggunakan MTS Table Top 858 dengan pengkondisian sampel selama pengujian menggunakan temperatur chamber sesuai dengan ASTM D 3497-79 (ASTM, 2003). Sampel HMA dibuat dengan diameter 100 mm dan tinggi 150 mm. Target rongga udara sampel sebesar 4±0,5% dengan tujuan untuk mensimulasikan kondisi rongga udara HMA di lapangan setelah terjadinya konsolidasi akibat beban awal lalu lintas.

Tabel 1. (a) Desain campuran dengan kadar aspal optimum, (b) Gradasi agregat and (c) Karakteristik aspal

(a)

Jenis pengujian	Hasil uji	Spec. Req.	Standard
Binder content	4,7%		
Bulk specific gravity (25 °C)	2,386	-	
Specific weight (kg/m ³)	2386	-	
Stability (kgf)	1356	≥817	
Flow (0,25 mm)	11	8-14	
Air void (%)	4	3-5	
VMA (%)	13,4	≥13	
VFA (%)	70	65-75	
TSR (%)	88	≥75	

(b)

Sieve	Gradasi	Spec. Req.
37,5 mm (1-1/2 in)	-	-
25 mm (1 in)	100	100
19 mm (3/4 in)	98	90-100
12,5 mm (1/2 in)	77	-
9,5 mm (3/8 in)	60	56-80
4,75 mm (No.4)	46	35-65
2,36 mm (No.8)	33	23-49
1,18 mm (No.16)	25	-
0,6 mm (No.30)	18	-
0,3 mm (No.50)	12	5-19
0,15 mm (No.100)	8	-
0,075 mm (No. 200)	4,7	2-8

(c)

Pengujian	Hasil uji	Spec. Req.	Standard
Penetrasi (25°C, 100g, 5s, 0,1mm)	67	60-70	ASTM D5
Viskositas (60°C, cp)	981	1000±200	ASTM D2171
Viskositas (135°C, cp)	416	>150	ASTM D2170
PG (G*/sin δ)		70°C	AASHTO M320
PG (MSCR@VH Grade)		64°C	AASHTO M332

Kemudian empat buah *linear variable differential transformers* (LVDTs) dipasang pada sampel HMA untuk mengukur stress dan strain yang terjadi pada saat pengujian. Sampel diuji pada temperatur 15, 25, 40, dan 55 °C. Untuk masing-masing temperatur diterapkan frekuensi pengujian 25, 10, 5, 1, dan 0,1 Hz. Selanjutnya modulus dinamik pada masing-masing temperatur dan frekuensi

digunakan untuk membuat master kurva modulus dinamik. Kurva master modulus dinamik dibentuk berdasarkan konsep *time-temperature superposition* (TTS). Persamaan master kurva modulus dinamik adalah sebagai berikut:

$$\text{Log}|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1+e^{\eta-\gamma \log(f_r)}} \tag{1}$$

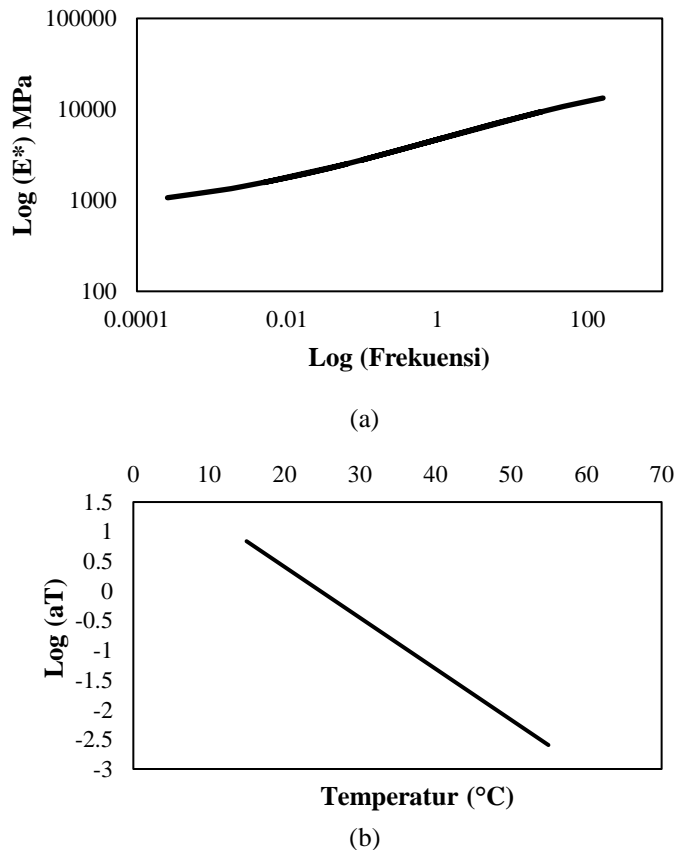
dimana $|E^*|$ = modulus dinamik; δ = logaritma minimum modulus dinamik; α = rentang logaritma modulus dinamik; η and γ =

parameter master kurva; and f_r = *reduced frekuensi* (Hz) dengan $f_r = f \cdot aT$, dimana f = frekuensi (Hz), aT = *shift* faktor temperatur.

Temperatur 25 °C dipilih sebagai temperatur referensi untuk kurva master modulus dinamik. Gambar 1 (a) menggambarkan kurva master modulus dinamik dan Gambar 1 (b) untuk *shift* faktor temperatur.

Pengujian HWTD

HWTD adalah pengujian laboratorium untuk mengevaluasi terjadinya *rutting* dan ketahanan kelembaban campuran HMA sesuai standar AASHTO T 324-167. Dalam penelitian ini, sampel HWTD berukuran 400 mm x 400 mm x 60 mm dicetak di laboratorium dengan menggunakan alat *rolling compactor*. Rongga udara sampel ditarget sebesar 7% ± 0,5% sesuai dengan spesifikasi dalam AASHTO 324-167 (AASHTO, 2017).



Gambar 1. (a) Master kurva modulus dinamik and (b) *shift* faktor temperatur

Sampel HWTD yang sudah jadi kemudian diuji dengan tekanan kontak 689 kPa menggunakan roda besi sebanyak 10.000 *cycles* (20.000 lintasan). Pengujian dilakukan dalam kondisi sampel kering dan terendam air pada temperatur 40 °C untuk mengetahui pengaruh air terhadap sampel (Gambar 2). Selama pengujian berlangsung, mesin akan mengukur kedalaman *rutting*. Setelah pengujian selesai, maka data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan nilai *stripping point* dari HMA.

Pengujian SALSD

Pengujian SALSD dilakukan di laboratorium dengan menggunakan roda ban karet berjalan pada dua lapisan struktur perkerasan. Pelat HMA berukuran panjang 1.200 mm, lebar 800 mm, dan tebal 30-100 mm dibuat dengan menggunakan alat *rolling compactor*. Rongga udara sampel pelat HMA sebesar $7 \pm 0,5\%$. Pelat karet ditempatkan di bawah lapisan HMA untuk mensimulasikan respon kombinasi lapisan *base* dan *subgrade*. Material properti dan tebal pelat karet ditentukan dengan pendekatan sistematis di laboratorium (Yang et al., 2018). Jenis roda kendaraan adalah ban karet tipe 5,00-8 (10PRTT) K610 HD KENDA dengan diameter

468 mm, lebar 140 mm, dan tekanan ban 827 kPa. Tekanan kontak antara roda ban kendaraan dengan perkerasan jalan sebesar 690 kPa. Kemudian servo hidrolik SALSD akan memberikan beban vertikal sebesar 3–10 kN. Kecepatan konstan sebesar 1,5 km/jam diaplikasikan untuk mensimulasikan kendaraan truck dengan kecepatan lambat, sehingga mampu menghasilkan 520 lintasan/jam. Temperatur lingkungan pengujian dengan SALSD dapat dikontrol dalam rentang 10-60 °C. Dalam penelitian ini sampel pelat HMA diuji dengan temperatur 40 °C (Gambar 3).

Frekuensi Beban Representatif

Hasil pengujian simulasi di laboratorium dari HWTD dan SALSD tidak dapat dibandingkan secara langsung satu dengan lainnya, karena masing-masing pengujian dilakukan pada beban, kecepatan, dan temperatur yang berbeda. Perbedaan beban frekuensi dan temperatur pengujian menghasilkan karakteristik mekanis campuran HMA yang berbeda pula. Hubungan antara beban frekuensi dengan modulus kekakuan HMA bisa dianalisis dengan metode ekivalen elastik linier (Losa dan Natale, 2012).



Gambar 2. Hamburg Wheel-Tracking Device



Gambar 3. SALSD dan sistem control temperatur

Viskoelastis HMA dengan berbagai parameter desain dianalisis dengan menggunakan viscoroute, dan korelasi modulus kekakuan dengan frekuensi dihitung dengan cara *back-calculation*. Frekuensi Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kecepatan kendaraan dengan tipe strain spektrum frekuensi. Analisis frekuensi representatif bisa dihitung dengan menggunakan persamaan (2)-(4). Karena penelitian ini bertujuan untuk mengukur *rutting*, maka modulus kekakuan HMA hanya ditinjau berdasarkan frekuensi pada sumbu-z.

$$f_x = 0,027 \cdot V \left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2b} \right) e^{-3,14 \cdot z + \alpha(T)} \tag{2}$$

$$f_y = 0,042 \left(\frac{V}{2a} \right) e^{-3,14 \cdot z + \beta(T)} \tag{3}$$

$$f_z = 0,043 \left(\frac{V}{2a} \right) e^{-2,65 \cdot z + \beta(T)} \tag{4}$$

$$\alpha(T) = 2,12 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 - 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 12,8 \cdot 10^{-2} \cdot T \tag{5}$$

$$\beta(T) = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 - 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 9,2 \cdot 10^{-2} \cdot T \tag{6}$$

dimana:

f_i = frekuensi di sumbu-i (Hz);

z = tebal lapisan HMA ($0,075 < z < 0,30$ m for f_x and f_y , $0,037 < z \leq 0,30$ m for f_z) (m);

$\alpha(T)$ = efek temperatur HMA (T, in °C) di sumbu-x;

$\beta(T)$ = efek temperatur HMA di sumbu- y dan sumbu-z;

$a = 0,5x$ panjang bidang kontak roda dengan lapisan HMA (m); dan

representatif dalam sumbu x, y, dan z dipengaruhi oleh kecepatan, dimensi jejak roda kendaraan, temperatur HMA, dan kedalaman titik pengamatan lapisan HMA.

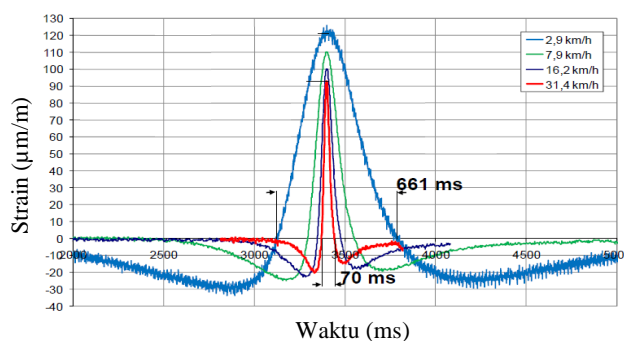
$b = 0,5x$ lebar bidang kontak roda dengan lapisan HMA (m).

Penentuan Temperatur Pengujian SALSD

Skala model telah didesain untuk menyelidiki hubungan antara SALSD dengan skala penuh di lapangan. Hasil pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa deformasi vertikal pada skala penuh dapat didekati dengan cara mengalikan deformasi vertikal skala model di laboratorium dengan *shift* vertikal. Model struktur perkerasan di laboratorium dalam pengujian SALSD terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan HMA dan karet neoprene sebagai lapisan *base*. Pengujian dengan SALSD dilakukan pada kecepatan kendaraan 1,5 km/jam, dan temperatur 40 °C, sementara kecepatan riil kendaraan dilapangan rerata 60 km/jam dengan temperatur 50 °C. Karena kecepatan pengujian di laboraorium lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan riil di lapangan, maka temperatur menjadi faktor penting dalam pengujian SALSD. Temperatur pengujian SALSD ditentukan dengan cara mengekuivalensikan modulus kekakuan HMA antara SALSD dan skala penuh.

Prosedur untuk menentukan temperatur SALSD adalah sebagai berikut:

1. Buat grafik master kurva modulus dengan temperatur untuk skala penuh.
2. Hitunglah frekuensi representatif skala penuh.



Gambar 4. Strain spektrum frekuensi dengan beban statis 3500 kg pada berbagai variasi kecepatan (Mollenhauer et al., 2009)

3. Tentukan modulus kekakuan skala penuh (E_p) berdasarkan frekuensi representatif menggunakan grafik master kurva modulus.
4. Pilihlah temperatur pengujian SALSD dengan cara trial and error.
5. Buatlah grafik master kurva modulus untuk dengan temperature trial pada langkah ke-4.
6. Hitunglah frekuensi representatif SALSD.
7. Tentukan modulus kekakuan SALSD (E_s) berdasarkan frekuensi representatif menggunakan grafik master kurva modulus.
8. Ulangi langkah ke-5 sampai ke-7 untuk mendapatkan temperatur SALSD dengan cara meminimalkan selisih antara E_p dan E_s .

Parameter kinerja SALSD meliputi *total compaction initial* (TCI), *total rut depth* (TD) pada akhir pengujian, dan *creep slope* (CS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian HWT

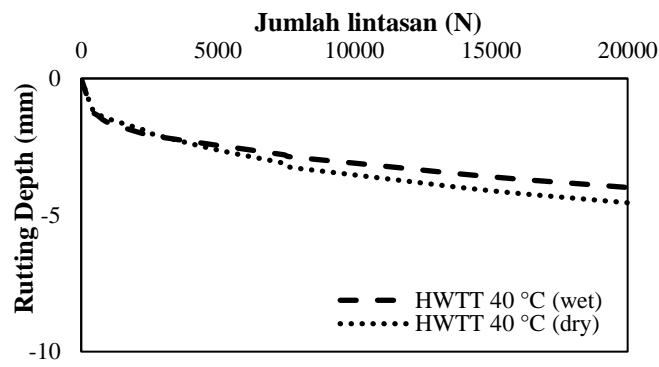
Pengujian HWT telah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan *rutting* dan *moisture damage* campuran HMA. Empat parameter meliputi TCI, TD, CS, SS, dan SIP hasil dari pengujian HWT dengan temperatur 40 °C pada kondisi *dry* dan *wet* ditampilkan dalam tabel 2. Dari grafik tersebut terlihat bahwa hasil TCI menunjukkan bahwa sampel memiliki kesamaan *rutting* setelah diaplikasikan beban 1.000 cycles. Total *rutting* yang terjadi pada kondisi *dry* lebih besar dibandingkan pada kondisi *wet*. Namun demikian nilai CS keduanya memiliki kesamaan nilai yang sangat mendekati. Pada kedua kondisi pengujian tersebut tidak terjadi SS dan SIP. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terjadinya nilai *rutting* yang besar pada campuran HMA tersebut.

Hasil Pengujian SALSD

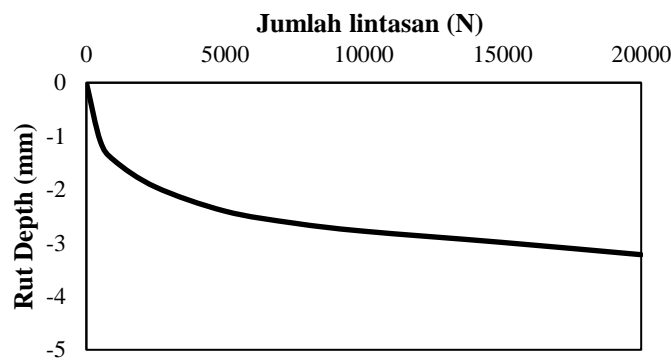
Pengujian SALSD adalah pengujian skala mendekati riil dilapangan dengan menggunakan sampel berbentuk slab untuk memodelkan *rutting* dari campuran HMA. Berdasarkan sifat viskoelastik material dari HMA, maka *rutting* yang terjadi pada pengujian SALSD bisa digunakan untuk memprediksi terjadinya *rutting* di lapangan dengan menggunakan *shift* faktor (Yang et al., 2018). Gambar 6 menunjukkan grafik kinerja *rutting* campuran HMA untuk pengujian SALSD dengan temperatur 40 °C pada kondisi *dry*. Parameter hasil pengujian SALSD meliputi TCI = 1,46 mm, TD = 3,22 mm, and CS = 7.500 cycles/mm. Pada pengujian SALSD tidak terjadi SS dan SIP. Hal ini mengindikasikan bahwa pada campuran HMA tersebut juga tidak terjadi *rutting* yang besar.

Modulus Dinamik HMA dalam Kondisi Pengujian Simulasi Berbeda

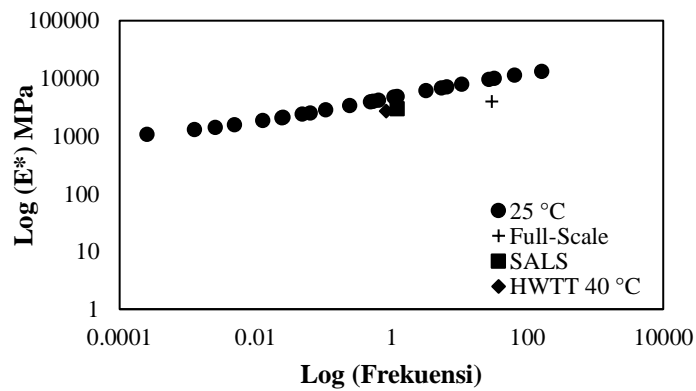
Gambar 7 menunjukkan modulus kekakuan campuran HMA untuk perkerasan kondisi skala penuh, pengujian SALSD, dan pengujian HWT. Dari master kurva modulus dinamik dapat ditentukan beban frekuensi representatif untuk masing-masing pengujian. Hasil analisis frekuensi representatif untuk masing-masing pengujian ditampilkan dalam Tabel 2. Kondisi perkerasan pada skala penuh menunjukkan nilai frekuensi representatif terbesar yaitu 29,81 Hz, sedangkan frekuensi representatif terkecil diperoleh dari pengujian HWT sebesar 0,84 Hz. Selanjutnya dari frekuensi representatif dapat ditentukan modulus kekakuan (Tabel 3). Modulus kekakuan terbesar diperoleh dari perkerasan skala penuh sebesar 4.051 MPa dan modulus kekakuan terkecil dari pengujian HWT sebesar 2.709 MPa.



Gambar 5. Hasil pengujian HWTD pada temperatur 40 °C



Gambar 6. Kinerja rutting SALSD pada temperatur 40 °C



Gambar 7. Modulus kekakuan berbagai jenis pengujian rutting (Full-Scale, SALSD, dan HWTD)

Tabel 2. Frekuensi representatif skala penuh, SALSD, dan HWTD

Skenario pengujian	V	A	Z	T	Frekuensi representatif
	(m/s)	(m)	(m)	(°C)	(Hz)
Full-Scale	16,67	0,11	0,05	55	29,81
SALSD	0,42	0,05	0,03	40	1,22
HWTD (40 °C)	0,28	0,05	0,03	40	0,84

Tabel 3. Modulus kekakuan HWTD and SALSD

Skenario pengujian	Modulus kekakuan (MPa)
Full-Scale	4.015
SALSD	2.939
HWTD 40 °C	2.709

Faktor Konversi dalam Kondisi Pengujian Berbeda

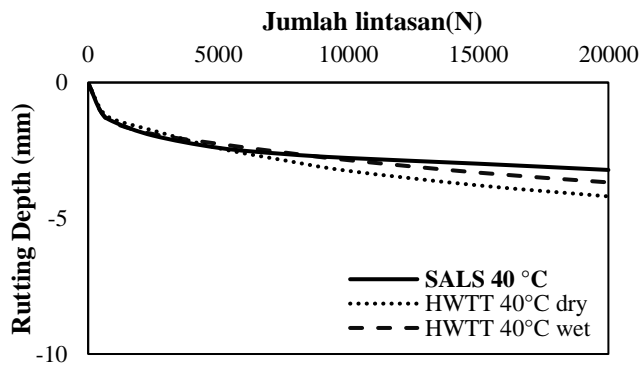
Rasio antara modulus kekakuan pada jenis dan kondisi pengujian yang berbeda dapat digunakan untuk menghitung faktor konversi pengujian seperti ditampilkan dalam Tabel 4. Rasio modulus kekakuan pengujian HWTD terhadap SALSD adalah 0,93, sedangkan rasio SALSD terhadap HWTD adalah 1,08. Nilai rasio ini selanjutnya bisa diaplikasikan dalam perbandingan nilai *rutting* dari dua jenis pengujian tersebut dengan cara mengalikan nilai rasio terhadap nilai *rutting*. Nilai rasio ini selanjutnya dinamakan dengan faktor konversi.

Gambar 8 menunjukkan SALSD sebagai *benchmark*, dan hasil *rutting* dari pengujian HWTD selanjutnya dikalikan dengan faktor

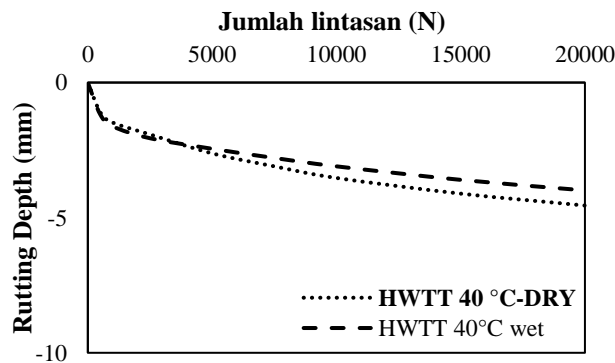
konversi 0,93 untuk dibandingkan dengan dengan hasil *rutting* dari pengujian SALSD. Dari hasil pengujian terlihat bahwa kesamaan *rutting* diperoleh antara SALSD dan HWTD sampai dengan 7500 *cycles* setelah diaplikasikan faktor konversi. Namun setelah 7.500 *cycles rutting* pada SALSD sedikit lebih kecil dibandingkan dengan HWTD. Hal ini dikarenakan oleh perilaku material HMA yang sudah tidak viskoelastik lagi akibat beban berlebih, sehingga efektifitas faktor konversi sudah berkurang. Sementara itu Gambar 9 menunjukkan perbandingan *rutting* setelah diaplikasikan nilai faktor konversi HWTD kondisi *dry* dan *wet*. Nilai *rutting* keduanya mendekati sama sampai pembebanan 4.000 *cycles*, dan setelahnya *rutting* HWTD kondisi *dry* sedikit lebih besar dibandingkan *wet*.

Tabel 4. Faktor konversi antara SALSD dan HWTD

Pengujian	SALSD	HWTD (40°C)
SALSD	1,00	0,93
HWTD (40°C)	1,08	1,00



Gambar 8. TD ekuivalen terhadap SALSD 40 °C



Gambar 9. TD ekuivalen terhadap HWTD 40 °C *dry*

SIMPULAN

Dalam pengujian ini sebuah *framework* dibuat untuk menentukan faktor konversi diantara dua pengujian *rutting* di laboratorium, yaitu HWTD dan SALSD. Pengujian modulus dinamik dilakukan terhadap campuran HMA dengan ukuran nominal maksimum agregat 19 mm. Master kurva modulus dinamik ditentukan berdasarkan campuran HMA dengan ukuran nominal maksimum agregat 19 mm. Selanjutnya modulus kekakuan yang dihitung untuk masing-masing pengujian HWTD dan SALSD dapat digunakan untuk menentukan faktor konversi dari dua hasil pengujian tersebut.

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus kekakuan SALSD adalah 2.939 MPa, dan HWTD 2.709 Mpa.
2. Faktor konversi HWTD ke SALSD adalah 0,93.

Secara keseluruhan dari hasil analisis menunjukkan bahwa setelah faktor konversi diaplikasikan, maka terlihat bahwa kinerja *rutting* antara SALSD dan HWTD memiliki kesamaan nilai. Ketika *rutting* bertambah besar, maka material HMA sudah tidak bersifat viscoelastik, sehingga faktor konversi menjadi kurang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khateeb, G.G., Khedaywi, T.S., Obaidat, T.I.A., dan Najib, A.M. 2013. Laboratory Study for Comparing *Rutting* Performance of Limestone and Basalt Superpave Asphalt Mixtures. *Journal Material Civil Engineering* 25 21–29. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000519.
- Buncher, M., dan Anderson, M. 2014. *MS-2 7th Edition*. Asphalt Mix Design Methods.
- Chaturabong, P., dan Bahia, H.U. 2017. Mechanisms of Asphalt Mixture *Rutting* in the Dry Hamburg Wheel Tracking Test and the Potential to be Alternative Test in Measuring *Rutting* Resistance. *Construction Building Material* 146 175–182. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.080.
- Gabet, T., Di Benedetto, H., Perraton, D., De Visscher, J., Gallet, T., Bańkowski, W., Olard, F., Grenfell, J., Bodin, D., dan Sauzéat, C. 2011. French Wheel Tracking Round Robin Test on a Polymer Modified Bitumen Mixture. RILEM TC 206-ATB, TG3: Mechanical Testing of Mixtures. *Material Structure Construction* 44 1031–1046. doi:10.1617/s11527-011-9733-x.
- Gibson, N., Qi, X., Shenoy, A., Al-Khateeb, G., Kutay, M.E., Andriescu, A., Stuart, K., Youthcheff, J., dan Harman, T. 2012. *Performance Testing for Superpave and Structural Validation*. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1224268>.
- Huang, Y. 2017. *Evaluating Pavement Response and Performance with Different Simulative Tests*. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. <http://hdl.handle.net/10919/78294>.
- Hussan, S., Kamal, M.A., Hafeez, I., dan Ahmad, N. 2017. Comparing and Correlating Various Laboratory *Rutting* Performance Tests. *International Journal Pavement Engineering*. 8436 1–12. doi:10.1080/10298436.2017.1402591.
- Im, S. 2012. *Characterization of Viscoelastic and Fracture Properties of Asphaltic Materials in Multiple Length Scales*. <http://digitalcommons.unl.edu/civilengdis/s/46>.
- Khan, S., Nagabhushana, M.N., Tiwari, D., dan Jain, P.K. 2013. *Rutting* in Flexible Pavement: An Approach of Evaluation with Accelerated Pavement Testing Facility. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 104 149–157. doi:10.1016/j.sbspro.2013.11.107.
- Lee, J., Kim, Y.R., dan Lee, J. 2015. *Rutting* Performance Evaluation of Asphalt Mix with Different Types of Geosynthetics using MMLS3. *International Journal Pavement Engineering* 16 894–905. doi:10.1080/10298436.2014.972916.
- Losa, M., dan Natale, A.D. 2012. Evaluation of Representative Loading Frequency for Linear Elastic Analysis of Asphalt Pavements. *Journal Transportation Research Board*. 2305 150–161. doi:10.3141/2305-16.
- Mollenhauer, K., Wistuba, M., dan Rabe, R. 2009. *Loading Frequency and Fatigue; In Situ Conditions & Impact on HMA Test Results, 2nd Work. Four Point Bending, Pais*. ISBN 978-9 261–276.
- Radhakrishnan, V., Chowdari, G.S., Reddy, K.S., dan Chattaraj, R. 2017. Evaluation of Wheel Tracking and Field *Rutting* Susceptibility of Dense Bituminous Mixes.

- Road Material Pavement* 1–21.
doi:10.1080/14680629.2017.1374998. Schram, S., dan Williams, R.C. 2013. *Evaluation of Bias in the Hamburg Wheel Tracking Device*. Final Report. Iowa Dep. Transp. RB00-010.
- Suh, Y.C., dan Cho, N.H. 2014. Development of a *Rutting* Performance Model for Asphalt Concrete Pavement Based on Test Road and Accelerated Pavement Test Data. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18 pages 165–171.
- Walubita, L.F., Lee, S.I., Zhang, J., Faruk, A.N.M., Nguyen, S., dan Scullion, T. 2014. *HMA Shear Resistance, Permanent Deformation, and Rutting Tests for Texas Mixes: Year-1 Report*. Technical Report 0-6744-1. Texas A&M University System, College Station, TX, USA.
- Wang, H., Fan, Z., dan Zhang, J. 2016. Development of a Full-Depth Wheel Tracking Test for Asphalt Pavement Structure: Methods and Performance Evaluation. *Advance Material Science Engineering* 1–8.
doi:10.1155/2016/1737013.
- Wang, H., Tan, H., Qu, T., dan Zhang, J. 2017. Effects of Test Conditions on APA *Rutting* and Prediction Modeling for Asphalt Mixtures. *Advance Material Science Engineering* 1–12.
doi:10.1155/2017/2062758.
- Yang, S.H., Huang, C.W., Sun, Y.N., dan Susanto, H.A. 2018. The Development of the Scaled Accelerated Loading Simulator Facility and Transfer Functions to the Full-Scale Pavement Using Theory of Similitude by Finite Element Analysis. *International Journal Pavement Research and Technology*. S1996-6814 1–56.
doi:10.1016/j.ijprt.2018.03.004.