

## Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Dari Campuran Lataston Gradasi Senjang (HRS-WC) Dengan Bahan Aspal Modifikasi Starbit E-55

**Christ Andy Vic Sinuhaji**

Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Indonesia, E-mail: [andyvic.sinuhaji@gmail.com](mailto:andyvic.sinuhaji@gmail.com)

**Bambang Sugeng Subagio**

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Indonesia, E-mail: [bsugengs@si.itb.ac.id](mailto:bsugengs@si.itb.ac.id)

**Harmein Rahman**

Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Indonesia, E-mail: [rahmanharmein@gmail.com](mailto:rahmanharmein@gmail.com)

### Abstrak

Kriteria kerusakan dalam suatu perkerasan lentur adalah retak leleh dan deformasi permanen. Deformasi dapat terjadi pada lapisan subgrade maupun lapisan beraspal. Deformasi pada lapisan beraspal terjadi akibat beban berlebih dan temperatur perkerasan tinggi. Penambahan polimer merupakan salah satu cara dalam memodifikasi aspal guna memperbaiki sifat reologi aspal. Penggunaan aspal modifikasi diharapkan dapat memberikan kinerja perkerasan yang lebih baik. Studi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja Lataston lapis aus gradasi senjang dengan menggunakan aspal modifikasi Starbit E-55, dengan metoda pengujian eksperimental di laboratorium. Nilai Modulus Resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen menjadi indikator kinerja dari kedua jenis campuran. Hasil pengujian laboratorium memberikan nilai Modulus Resilien yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan teoritis, serta menunjukkan adanya peningkatan nilai Modulus Resilien dari campuran beraspal yang menggunakan aspal modifikasi Starbit E-55 dibandingkan aspal Pen 60/70. Peningkatan ini terjadi pada seluruh temperatur pengujian, yaitu sebesar 10%, 6% dan 37,5%. Hasil pengujian Wheel Tracking menunjukkan campuran aspal modifikasi Starbit E-55 memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70, ditinjau dari nilai total deformasi, Stabilitas Dinamis dan Laju Deformasi. Untuk hasil pengujian pada temperatur 60°C, total deformasi yang terjadi pada kedua jenis campuran Lataston lapis aus gradasi senjang menunjukkan bahwa kurva alur telah mencapai tahap ketiga, dimana campuran telah mengalami kegagalan.

**Kata kunci:** Modulus Resilien, Deformasi Permanen, Starbit E-55, HRS-WC.

### Abstract

Failure criteria in a flexible pavement are fatigue and permanent deformation. Deformation may occur in both subgrade and asphalt layer. Generally, deformation that occurs in the asphalt layer is caused by overload and high pavement temperature. Addition of polymers is one of several solution to improve asphaltic rheological properties. Using polymer modified bitumen is expected to improve pavement performance. This aim of the study is to observe the performance of gap graded Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) by using polymer modified asphalt Starbit E-55, with experimental testing method in laboratory. Resilient modulus and resistance to permanent deformation become the performance indicators of both mixed types. The results of the laboratory test provide a greater value of resilient modulus than the results of theoretical calculations, and also showed an increase in resilient modulus value of asphalt mixture using polymer modified asphalt Starbit E-55 than asphalt Pen 60/70. This increase occurs at all temperatures, which is 10%, 6% and 37,5%. Result of Wheel Tracking Test showed that asphalt mixture using polymer modified asphalt Starbit E-55 have a greater resistance to permanent deformation than asphalt Pen 60/70, in terms of the total deformation value, dynamic stability and rate of deformation. For 60°C test temperature, total deformation occurring in both mixed types of gap graded Hot Rolled Sheet Wearing Course showed that rutting curve has reached the tertiary stage, where asphalt mixtures has failed.

**Keywords:** Resilient Modulus, Permanent Deformation, Starbit E-55, HRS-WC.

### 1. Pendahuluan

Ciri khas dari campuran Lataston gradasi senjang adalah memiliki rongga campuran yang besar, dengan kandungan

aspal yang tinggi, dimana kekuatan campuran ini sangat tergantung kepada suspensi mortar, yang dibentuk oleh agregat halus, filler dan aspal. Penggunaan agregat halus yang mencapai 80% akan meningkatkan fleksibilitas campuran sehingga

memiliki ketahanan kelelahan yang baik, dan menghasilkan permukaan perkerasan yang halus. Disamping itu, campuran ini memiliki kelemahan terhadap kerusakan deformasi permanen. Beberapa faktor yang menjadi penyebab kerusakan ini antara lain beban lalu lintas, perancangan campuran, faktor lingkungan, dan sebagainya.

Dalam rangka meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan deformasi permanen, maka aspal memegang peranan penting dalam meningkatkan kinerja campuran. Penggunaan aspal modifikasi polimer merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan. Aspal Modifikasi Starbit E-55 adalah sebuah produk dari aspal konvensional yang dimodifikasi dengan bahan polimer elastomer *Styrene-Butadiene-Styrene* dan bahan tambahan lainnya untuk meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi permanen pada temperatur tinggi tanpa merugikan sifat aspal pada temperatur lainnya. Penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 pada campuran Lataston gradasi senjang dapat meningkatkan nilai Modulus Resilien serta ketahanan terhadap deformasi permanen dari campuran beraspal panas.

## 2. Program Penelitian

### 2.1 Karakteristik aspal Pen 60/70

Aspal Pen 60/70 yang merupakan aspal konvensional pada perkerasan beraspal di Indonesia dijadikan acuan dalam penelitian ini, sehingga dapat diamati peningkatan kinerja dari campuran beraspal yang ditinjau dari nilai Modulus Resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen. Aspal Pen 60/70 produksi Pertamina memiliki sifat fisik seperti Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik aspal Pen 60/70 Pertamina

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi, 25°C (dmm)	60-70	66
2	Softening Point, °C	≥48	50
3	Specific Gravity	1	1,042
4	Daktilitas (cm)	≥100	>100

### 2.2 Karakteristik aspal modifikasi starbit E-55

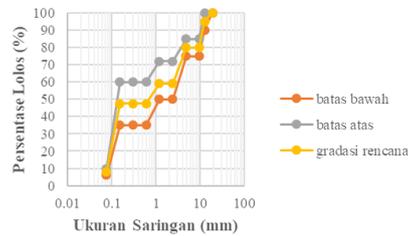
Aspal modifikasi Starbit E-55 adalah produk yang dihasilkan dengan memodifikasi aspal Pen 60/70 Pertamina, yang akan diamati seberapa signifikan peningkatan kinerja campuran beraspal yang dihasilkan. Aspal modifikasi Starbit E-55 memiliki sifat fisik seperti Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik aspal modifikasi Starbit E-55

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi, 25°C (dmm)	>40	50
2	Softening Point, °C	≥54	56,5
3	Specific Gravity	1	1,046
4	Daktilitas (cm)	≥100	>100

## 2.3 Gradasi campuran

Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran lapis tipis aspal beton gradasi senjang (HRS-WC), dengan batas bahan gradasi senjang alternatif 3. Untuk HRS-WC yang benar-benar senjang, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600mm).



Gambar 1. Gradasi rencana campuran HRS-WC

## 2.4 Perhitungan modulus resilien campuran

Resilien modulus atau modulus kekakuan dari suatu campuran beraspal didefinisikan sebagai rasio dari tegangan terhadap regangan dengan waktu pembebanan dan temperatur yang diberikan. Sama halnya dengan modulus kekakuan campuran, modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ) juga dipengaruhi oleh waktu pembebanan dan temperatur. Dalam memprediksi besarnya nilai modulus kekakuan aspal ini, ada dua cara yang dapat digunakan, yaitu nomogram Van der Poel dan persamaan Ullidtz. Prediksi nilai  $S_{bit}$  dengan menggunakan nomogram Van der Poel, dilakukan dengan menarik garis dimulai dari nilai frekuensi (Hz) ataupun waktu pembebanan yang diberikan (detik) sehingga memotong perbedaan temperatur yang diperoleh dari pengurangan temperatur titik lembek dengan temperatur yang diamati (°C), garis ini berhenti tepat pada garis penunjuk nilai indeks penetrasi. Akhir dari garis ini akan menunjukkan nilai dari modulus kekakuan aspal yang diamati. Alternatif lain adalah menggunakan persamaan dari Per Ullidtz, dengan penggunaan yang lebih sederhana, hanya saja terdapat tiga persyaratan yang harus dipenuhi.

Nilai modulus kekakuan aspal ini merupakan data masukan utama dalam perhitungan Modulus Resilien campuran beraspal. Dalam menentukan nilai ini dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium dengan alat UMATTA, serta dapat diprediksi dengan perhitungan teoritis menggunakan persamaan Shell (Heukelomp dan Klomp, 1964) dan metoda Nottingham (Brown, 1980). Heukelomp dan Klomp mengembangkan persamaan berikut ini dengan bantuan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Van der Poel.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left[ \left( 1 + \frac{2,5}{n} \right) \times \left( \frac{C'_v}{1-C_v} \right) \right]^n \quad (1)$$

dengan:

$$n = 0,83 \times \log \frac{4 \times 10^4}{S_{hit}} \quad (2)$$

$$C'_v = \frac{C_v}{[0,97 + 0,01 (100 - (\sqrt{V_g} - \sqrt{V_b}))]} \quad (3)$$

$$C_v = \frac{V_g}{(V_g + V_b)} \quad (4)$$

$C_v$  = konsentrasi volume agregat

$V_g$  = persen volume dari agregat (%)

$V_b$  = persen volume dari aspal (%)

Dalam memprediksi nilai modulus kekakuan campuran, Brown melakukan penyederhanaan dari formula Ullidtz sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left[ 1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA^n}{n \times (VMA - 3)} \right] \quad (5)$$

dengan:

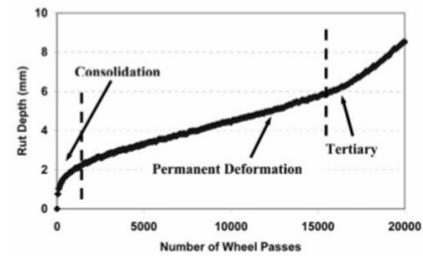
$$n = 0,83 \times \log \left[ \frac{4 \times 10^5}{S_{bit}} \right] \quad (6)$$

VMA = rongga dalam mineral campuran (12% ≤ VMA ≤ 30%)

Brown dan Burton (1984) dalam penelitian selanjutnya mengatakan bahwa nilai modulus aspal ( $S_{bit}$ ) dibawah 5 MPa, maka tidak ada korelasi antara  $S_{mix}$  dan  $S_{bit}$ , sedangkan untuk nilai modulus aspal ( $S_{bit}$ ) diatas 5 MPa, maka setiap nilai  $S_{bit}$  akan memberikan satu nilai  $S_{mix}$ . Disamping persyaratan nilai  $S_{bit}$  dan VMA, penggunaan persamaan Nottingham juga dapat digunakan apabila VIM minimal sebesar 3%.

### 2.5 Perhitungan modulus resilien campuran

Ghazi Al-Khateeb dan Imad Basheer melakukan penelitian terhadap keakuratan dari model matematika sederhana untuk mensimulasikan perilaku alur berdasarkan dari pengujian terhadap 8 jenis campuran beraspal panas dengan menggunakan *Hamburg Wheel Tracking Device* (WTD). Dari pengujian Hamburg WTD, campuran beraspal mengalami tiga tahap alur selama pengujian, seperti Gambar 2. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Zhou, Scullion dan Sun (2004) yang menyarankan penggunaan model tiga tahap untuk menggambarkan hubungan antara regangan permanen dan jumlah siklus pembebanan dimana model tahap pertama adalah *trendline* power, tahap kedua diasumsikan linier dan model tahap ketiga adalah eksponensial. Tahap pertama atau primer disebut tahap konsolidasi atau pematatan dimana campuran beraspal yang telah dipadatkan mengalami pematatan lebih lanjut karena pembebanan vertikal yang diterapkan melalui roda baja. Tahap kedua yang mengikuti pematatan campuran disebut sebagai tahap deformasi permanen dimana campuran beraspal mengalami deformasi permanen karena terimbas oleh pembebanan vertikal dan gaya geser yang dihasilkan. Tahap ketiga atau kelelahan yang merupakan tahap dimana campuran beraspal telah menunjukkan kerusakan yang nyata karena efek kombinasi dari kerentanan kelembaban dan alur. Pada tahap ini dapat digambarkan bahwa perkerasan beraspal sudah tidak memiliki kemampuan struktural dan fungsional (*failure*).

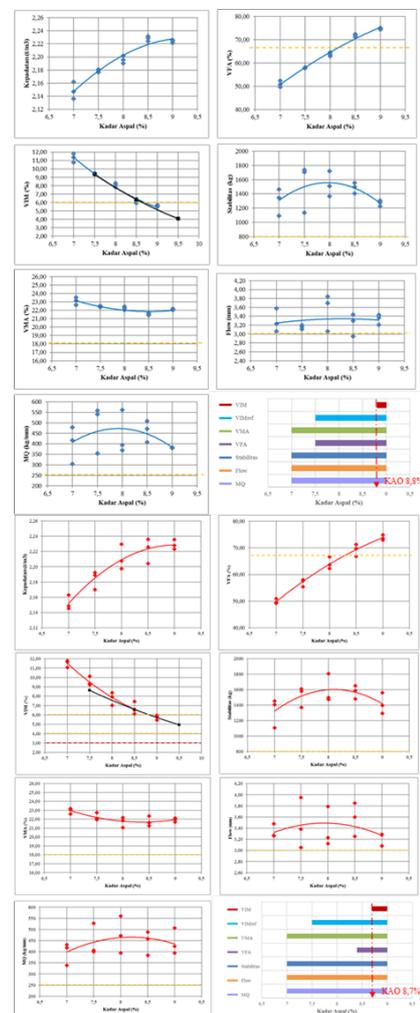


Gambar 2. Tiga tahap deformasi permanen dari campuran beraspal (Al-Khateeb dan Basheer, 2009)

## 3. Hasil pengujian

### 3.1 Pengujian marshall

Beberapa parameter yang digunakan dalam analisa volumetrik seperti VIM, VMA, VFA dan  $VIM_{Ref}$  diperoleh dari hasil pengujian Marshall. Dalam penentuan Kadar Aspal Optimum, seluruh parameter analisa volumetrik beserta parameter stabilitas, pelelehan dan Marshal Quotient akan dipertimbangkan dan dianalisa. Parameter Marshall dari kedua jenis campuran beraspal seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. parameter-parameter dalam penentuan kadar aspal optimum

Penentuan KAO dari kedua jenis campuran beraspal pada batas bawah, dari rentang seluruh parameter yang memenuhi persyaratan, hal ini dikarenakan kurva stabilitas dari kedua campuran yang sudah menurun, di lain sisi, nilai VIM baru memenuhi persyaratan. Dari pengujian kepadatan membal, tidak terdapat perbedaan signifikan dari hasil  $VIM_{Ref}$  dan  $VIM_{Mf}$  yang diperoleh, sehingga nilai  $VIM_{Ref}$  yang masih berada di atas nilai  $VIM_{Ref}$  minimum yang dipersyaratkan (min 3%), sehingga pada penelitian ini, pendekatan kepadatan membal pada campuran HRS-WC gradasi senjang tidak memberikan pengaruh dalam penentuan KAO. Gradasi senjang menyebabkan sulitnya mencapai VIM yang dipersyaratkan.

### 3.2 Pengujian perendaman Marshall

Pengujian perendaman Marshall dilakukan pada benda uji dengan Kadar Aspal Optimum. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh air, yang ditandai dengan hilangnya ikatan antara aspal dan butiran agregat. Hasil pengujian seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian perendaman Marshall

Jenis campuran	KAO (%)	Stabilitas standar (kg)	Stabilitas 24jam (kg)	IKS (%)
Pen 60/70	8,8	1387	1327	95,67
Starbit E-55	8,7	1503	1477	98,27
Spesifikasi	-	> 800	-	> 90

### 3.3 Pengujian modulus resilien

Benda uji pada pengujian Modulus Resilien dipersiapkan pada kondisi Kadar Aspal Optimum, dimana pengujian dilakukan dengan alat UMATTA, dengan temperatur pengujian 25°C, 35°C, dan 45°C.

### 3.4 Pengujian wheel tracking

Benda uji pada pengujian *Wheel Tracking* dipersiapkan pada kondisi Kadar Aspal Optimum, dimana pengujian dilakukan dengan alat WTM, dengan temperatur

Tabel 4. Hasil pengujian Modulus Resilien dengan alat UMATTA

Jenis campuran	KAO	Temperatur pengujian	Total deformasi horisontal	Beban puncak	Standar deviasi Modulus Resilien	Coefficient Variant Modulus Resilien	Modulus Resilien
	(%)						
Pen 60/70	8,8	25	12,84	2012	44,08	2,65	1663
		35	37,27	1265	10,48	2,91	360
		45	76,53	1101	2,32	1,53	152
Starbit E-55	8,7	25	11,44	1999	44,30	2,41	1839
		35	35,11	1272	9,58	2,51	382
		45	55,68	1107	0,99	0,47	209

pengujian 27°C, 45°C, dan 60°C, dan metoda pengujian mengacu kepada JRA 1980.

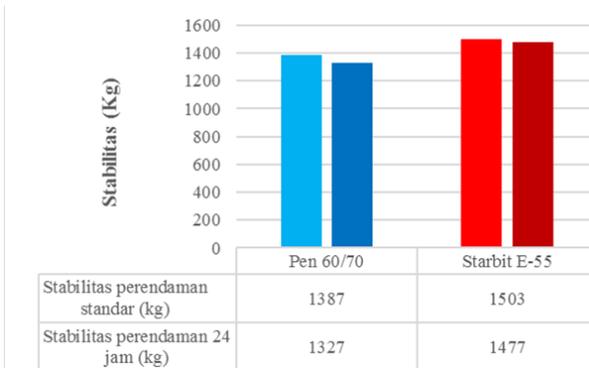
## 4. Analisis Data

### 4.1 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah kondisi dimana seluruh parameter Marshall telah memenuhi persyaratan pada spesifikasi umum Bina Marga edisi 2010 revisi 3. Kadar Aspal Optimum yang diperoleh dari kedua campuran beraspal panas tidak jauh berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan polimer pada aspal modifikasi Starbit E-55 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penambahan volume. Nilai KAO akan berbanding lurus dengan kadar aspal efektif, dan tebal film aspal.

Film aspal yang tipis akan menyebabkan campuran getas dan rentan terhadap masalah keawetan, sedangkan film aspal yang terlalu tebal akan menyebabkan rentan terhadap *rutting*. Ketebalan film berkisar antara 7-9 mikron akan menghasilkan kondisi yang terbaik antara workability dan ketahanan terhadap alur. Film aspal dibawah 6 mikron serta diatas 10 mikron harus dihindari (NCHRP, report 673).

### 4.2 Perendaman Marshall



Gambar 4. Hasil pengujian perendaman Marshall

Tabel 5. Hasil pengujian *wheel tracking*

Waktu (menit)	Jumlah siklus	Temperatur pengujian 27°C		Temperatur pengujian 45°C		Temperatur pengujian 60°C	
		Deformasi (mm)					
		Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70	Starbit E-55
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	21	0,30	0,26	0,94	0,65	1,31	0,91
5	105	0,46	0,44	1,48	0,90	2,56	1,52
10	210	0,58	0,52	1,80	1,01	3,65	1,95
15	315	0,63	0,58	2,01	1,08	4,66	2,27
30	630	0,70	0,65	2,48	1,20	8,14	3,19
45	945	0,78	0,71	2,80	1,27	12,48	4,48
60	1260	0,83	0,74	3,09	1,33	17,00	6,56
Deformasi plastis awal (mm)		0,63	0,62	1,93	1,09	-	-
Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)		12600	21000	2172,4	10500	139,4	302,9
Laju Deformasi (mm/menit)		0,0033	0,0020	0,0193	0,0040	0,3013	0,1387

Tabel 6. Hasil perhitungan kadar aspal efektif, tebal film aspal dan penyerapan aspal dari kedua jenis campuran pada kondisi KAO

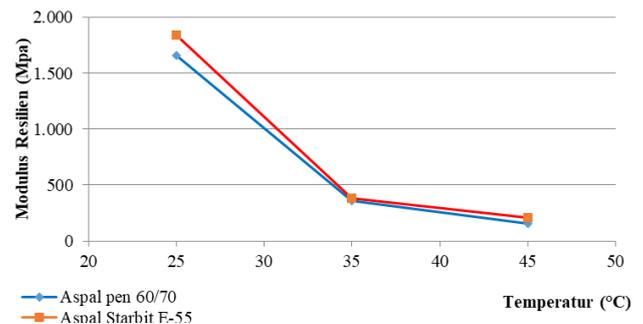
Jenis campuran	KAO (%)	Kadar aspal efektif	Tebal film aspal (µm)	Penyerapan aspal (%)
Pen 60/70	8,8	8,79	6,441	1,392
Starbit E-55	8,7	8,69	6,352	1,542
Spesifikasi	-	> 800	-	> 90

Dari hasil perendaman Marshall terlihat bahwa campuran HRS-WC gradasi senjang memiliki ketahanan terhadap air yang baik, karena nilai IKS yang lebih besar dari 90%. Tingginya penggunaan agregat halus yang mencapai 80% menghasilkan campuran kedap air (*impermeability*), dan memiliki film aspal yang tebal. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari kedua campuran.

#### 4.3 Modulus resilien UMATTA

Pada Gambar 4 terlihat bahwa seiring dengan peningkatan temperatur pengujian, maka terjadi penurunan nilai Modulus Resilien. Hal ini menggambarkan bahwa dengan meningkatnya temperatur, maka terjadi pergeseran sifat aspal dari *viscous* menjadi *elastic*. Peningkatan temperatur pengujian dari 25°C menjadi 35°C, menghasilkan persentase penurunan nilai Modulus Resilien yang tidak terpaut jauh, sekalipun aspal Pen 60/70 masih lebih baik. Peningkatan temperatur pengujian dari 35°C menjadi 45°C, terdapat selisih persentase penurunan nilai Modulus Resilien mencapai 12%, campuran aspal modifikasi Starbit E-55 menghasilkan nilai Modulus Resilien yang lebih baik karena dipengaruhi oleh Indeks Penetrasi. Aspal dengan Indeks Penetrasi yang lebih tinggi (*low temperature susceptibility*) memiliki resiko kerusakan yang rendah terhadap perubahan temperatur, sebaliknya aspal dengan Indeks Penetrasi yang rendah (*high temperature susceptibility*) memiliki resiko yang

tinggi terhadap perubahan temperatur, seperti terjadinya retak pada temperatur rendah dan deformasi pada temperatur tinggi (Dachlan dan Sjahdanulirwan, 2012). Gambar 4 juga menunjukkan bahwa dari ketiga temperatur pengujian, nilai Modulus Resilien yang dihasilkan oleh campuran aspal modifikasi Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan campuran aspal Pen 60/70.

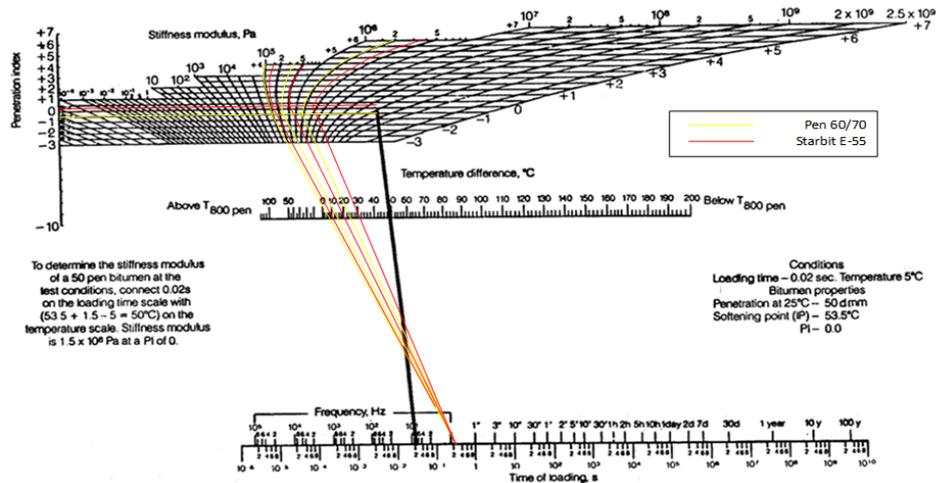


Gambar 5. Pengaruh temperatur terhadap nilai modulus resilien

#### 4.4 Prediksi Modulus Resilien dengan perhitungan teoritis

Dalam menentukan nilai modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ), maka digunakan nomogram Van der Poel. Persamaan Ullidtz tidak memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sehingga tidak digunakan dalam menentukan nilai modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ).

Dari prediksi nilai  $S_{bit}$  tersebut, selanjutnya dapat diprediksi nilai Modulus Resilien campuran dengan menggunakan persamaan Shell dan metoda Nottingham. Dari hasil perhitungan teoritis diperoleh nilai Modulus Resilien campuran hasil perhitungan teoritis lebih kecil dari nilai Modulus Resilien hasil pengujian UMATTA. Perbedaan nilai Modulus Resilien ini disebabkan oleh adanya perbedaan dari metode pendekatan yang digunakan oleh alat UMATTA serta persamaan



Gambar 6. Penentuan nilai Sbit dari nomogram Van der Poel

Nottingham dan Shell. Alat UMATTA menghitung modulus berdasarkan beban maksimum yang diberikan, dimensi benda uji, deformasi benda uji, dan asumsi nilai Poisson's Ratio. Persamaan Shell (Heukelom dan Klomp, 1964) memprediksi modulus kekakuan campuran berdasarkan nilai modulus kekakuan aspal, konsentrasi volume agregat, serta persentase volume dari agregat dan aspal. Sedangkan persamaan Nottingham (Brown, 1980) berdasarkan nilai kekakuan aspal dan kadar rongga udara dalam campuran. Faktor lain yang mungkin menyebabkan perbedaan nilai Modulus Resilien ini adalah tidak presisinya nilai  $S_{bit}$  yang didapat dari nomogram Van der Poel karena bentuk nomogram itu sendiri. Secara umum walaupun terdapat perbedaan, baik itu dari hasil pengujian Modulus Resilien dengan alat UMATTA maupun prediksi dengan persamaan Nottingham dan Shell, menghasilkan nilai Modulus Resilien yang semakin kecil ketika temperatur meningkat. Ketidaksesuaian inilah yang mewajibkan perlu adanya rasio terhadap hasil prediksi nilai Modulus Resilien dari perhitungan teoritis.

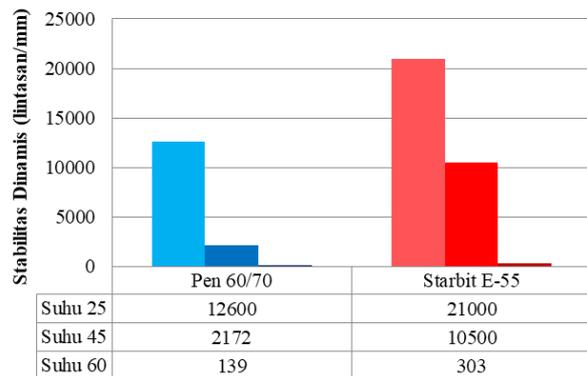
Tabel 7. Rasio nilai MR hasil UMATTA dan perhitungan teoritis

Jenis campuran	Temperatur (°C)	Nilai Modulus Resilien (MPa)			Rasio UMATTA/ Nottingham	Rasio UMATTA/ Shell
		UMATTA	Nottingham	Shell		
Pen 60/70	25	1663	449	607	3,71	2,74
	35	360	119	240	3,02	1,50
	45	152	37	107	4,09	1,42
Rata-rata					3,60	1,89
Starbit E-55	25	1839	818	852	2,25	2,16
	35	382	150	255	2,54	1,50
	45	209	55	126	3,80	1,66
Rata-rata					2,86	1,77
Rata-rata Rasio Keseluruhan					3,23	1,83

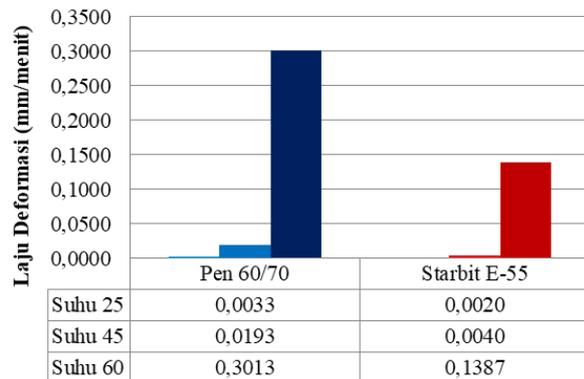
#### 4.5 Hasil percobaan wheel tracking

Hasil dari pengujian *Wheel Tracking* memberikan tiga data keluaran yaitu Stabilitas Dinamis, laju deformasi dan total deformasi yang terjadi, yang merupakan indikator dari ketahanan campuran terhadap deformasi. Stabilitas Dinamis adalah parameter yang menunjukkan berapa lintasan yang diperlukan untuk menghasilkan kedalaman

alur sedalam satu mm. Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa Stabilitas Dinamis dari campuran aspal modifikasi Starbit E-55 lebih baik dua kali dari campuran aspal Pen 60/70 terutama pada temperatur tinggi.

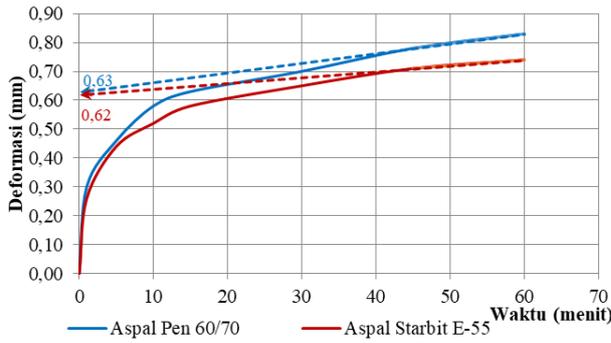


Gambar 7. Stabilitas dinamis kedua campuran beraspal

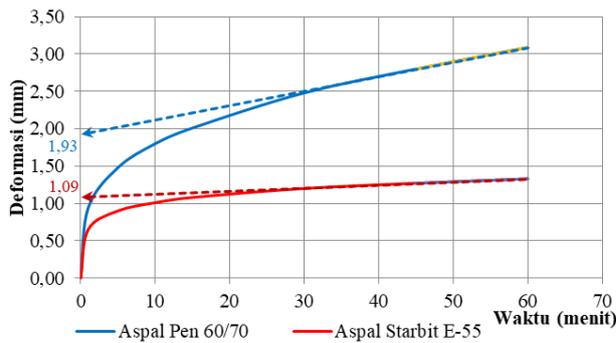


Gambar 8. Laju deformasi dari kedua campuran

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada temperatur 60°C campuran HRS-WC sangat rentan dengan terjadinya deformasi, hal ini terlihat dari tingginya laju deformasi yang terjadi untuk setiap menit pengujian. Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan total deformasi yang terjadi dan titik awal terjadinya deformasi permanen ( $d_0$ ) dari kedua campuran beraspal.



Gambar 9. Total deformasi kedua campuran pada temperatur 27°C

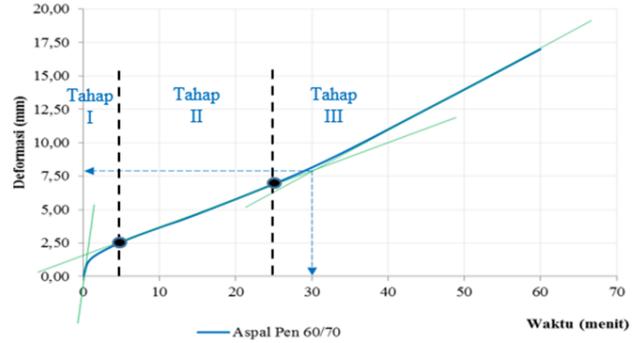


Gambar 10. Total deformasi kedua campuran pada temperatur 45°C

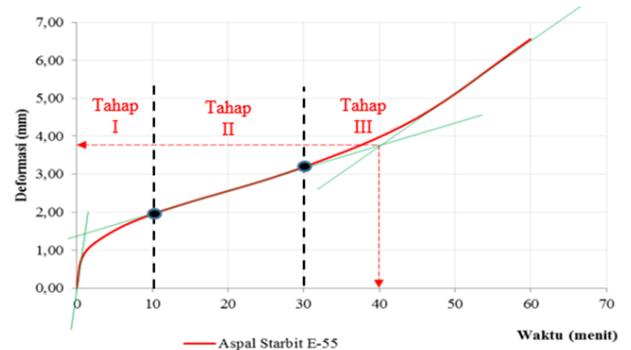
Kurva deformasi berbentuk lengkung dan berubah lurus, dan deformasi awal diperoleh dengan menarik garis singgung pada titik perubahan menit ke 45 dan 60 sampai memotong sumbu nilai deformasi, titik perpotongan tersebut disebut deformasi permanen awal ( $d_0$ ). Kedua jenis campuran memiliki ketahanan terhadap deformasi yang baik hingga temperatur 45°C.

Zhou, Scullion dan Sun (2004) menyarankan (dalam Al-Khateeb dan Basheer, 2009) penggunaan model tiga tahap untuk menggambarkan hubungan antara regangan permanen dan jumlah siklus pembebanan dimana model tahap pertama adalah *trendline* power, tahap kedua diasumsikan linier dan model tahap ketiga adalah eksponensial. Tahap pertama atau primer disebut tahap konsolidasi atau pemadatan dimana campuran beraspal yang telah dipadatkan mengalami pemadatan lebih lanjut karena pembebanan vertikal yang diterapkan melalui roda baja. Tahap kedua yang mengikuti pemadatan campuran disebut sebagai tahap deformasi permanen dimana campuran beraspal mengalami deformasi permanen karena terimbas oleh pembebanan vertikal dan gaya geser yang dihasilkan. Tahap ketiga atau kelelahan yang merupakan tahap dimana campuran beraspal telah menunjukkan kerusakan yang nyata karena efek kombinasi dari kerentanan kelembaban dan alur. Pada tahap ini dapat digambarkan bahwa perkerasan beraspal sudah tidak memiliki kemampuan struktural dan fungsional (*failure*).

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa kedua campuran HRS-WC pada temperatur 60°C sudah

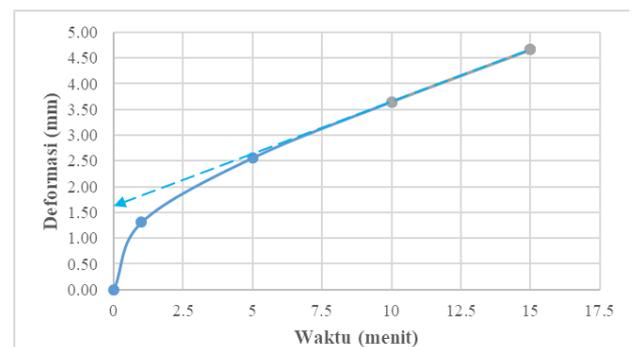


Gambar 11. Total deformasi campuran aspal Pen 60/70 pada temperatur 60°C

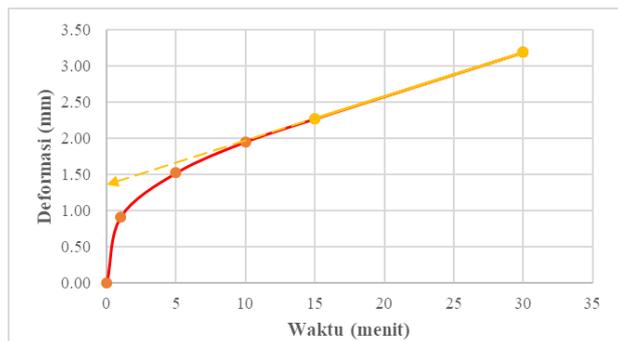


Gambar 12. Total deformasi campuran aspal modifikasi Starbit E-55 pada temperatur 60°C

mengalami kegagalan, karena total deformasi yang terjadi pada kedua campuran beraspal telah mencapai tahap ketiga (*tertiary stage*). Hal ini sangat mungkin terjadi karena campuran HRS-WC bergradasi senjang dan temperatur pengujian yang tinggi. Untuk beberapa tipe campuran dengan gradasi menerus dan seragam, tahap ketiga (*tertiary stage*) ini tidak dapat dicapai dengan jumlah lintasan roda yang tertentu. Hasil pengujian *Wheel Tracking* pada temperatur 60°C dari campuran HRS-WC gradasi senjang, perlu dilakukan penyesuaian dalam penentuan nilai deformasi permanen awal ( $d_0$ ) dari kedua jenis campuran. Hal ini perlu dilakukan karena kinerja campuran beraspal hanya berada pada tahap kedua (*secondary stage*).



Gambar 13. Penentuan  $d_0$  campuran aspal Pen 60/70 pada tahap kedua (*secondary stage*)



**Gambar 14. Penentuan  $d_o$  campuran aspal modifikasi Starbit E-55 pada tahap kedua (*secondary*)**

Pada temperatur pengujian  $60^{\circ}\text{C}$  dari campuran aspal Pen 60/70, untuk penentuan nilai deformasi permanen awal perlu dilakukan penyesuaian, karena deformasi yang terjadi pada campuran aspal Pen 60/70 ini telah mencapai tahap ketiga, sehingga tidak tepat untuk menarik garis singgung pada menit ke 45 dan 60. Dengan melihat tahap kedua yang merupakan tahapan terjadinya deformasi permanen, maka penentuan nilai deformasi permanen awal diperoleh dengan menarik garis singgung pada menit ke 10 dan 15 seperti Gambar 12 karena masih dalam batasan tahap kedua dan telah membentuk garis lurus.

Pada temperatur pengujian  $60^{\circ}\text{C}$  dari campuran aspal modifikasi Starbit E-55, untuk penentuan nilai deformasi permanen awal perlu dilakukan penyesuaian, karena deformasi yang terjadi pada campuran ini telah mencapai tahap ketiga, sehingga tidak tepat untuk menarik garis singgung pada menit ke 45 dan 60. Dengan melihat tahap kedua yang merupakan tahapan terjadinya deformasi permanen, maka penentuan nilai deformasi permanen awal diperoleh dengan menarik garis singgung pada menit ke 15 dan 30 seperti **Gambar 12** karena masih dalam batasan tahap kedua dan telah membentuk garis lurus.

## 5. Kesimpulan

1. Pendekatan kepadatan mutlak menghasilkan  $VIM_{Ref}$  dibawah  $VIM_{Mr}$ , tetapi  $VIM_{Ref}$  masih berada diatas syarat  $VIM_{Ref}$  minimal, sehingga  $VIM_{Ref}$  tidak memberikan pengaruh dalam penentuan KAO ( $3\% < VIM_{Ref} < VIM_{Mr}$ ). Gradasi senjang juga mengakibatkan sulitnya mencapai VIM yang dipersyaratkan.
2. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh dari kedua campuran beraspal panas tidak jauh berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan polimer pada aspal modifikasi Starbit E-55 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penambahan volume.
3. Indeks Kekuatan Sisa menunjukkan kedua campuran beraspal tidak peka terhadap pengaruh air karena tebalnya film aspal dalam campuran.

4. Penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 mampu meningkatkan nilai Modulus Resilien dari campuran HRS-WC gradasi senjang pada seluruh temperatur pengujian dibandingkan dengan campuran aspal Pen 60/70.
5. Hasil Modulus Resilien dari perhitungan teoritis menggunakan metoda Nottingham (Brown, 1980) dan metoda Shell (Heukelom dan Klomp, 1964) memberikan nilai  $S_{mix}$  yang lebih kecil dibandingkan hasil pengujian UMATTA. Guna penyetaraan kedua nilai ini, diperlukan rasio antara hasil UMATTA dan hasil teoritis.
6. Penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 dalam campuran HRS-WC gradasi senjang mampu meningkatkan Stabilitas Dinamis, memperlambat Laju Deformasi dan memberikan nilai total deformasi yang lebih kecil dibandingkan campuran HRS-WC gradasi senjang menggunakan aspal Pen 60/70. Ketiga output dari pengujian simulasi *Wheel Tracking* ini, menunjukkan bahwa penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 memberikan ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70.
7. Dari hasil pengujian *Wheel Tracking* pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ , deformasi yang terjadi pada campuran HRS-WC gradasi senjang telah masuk kategori tahap ketiga (*tertiary stage*), sehingga terlihat kerusakan yang nyata pada sampel pengujian. Hal ini menggambarkan bahwa kondisi struktural dan fungsional perkerasan telah mengalami kegagalan (*failure*).

## Daftar Pustaka

- Al-Khateeb, G., Basheer, I 2009, A three-stage rutting model utilising rutting performance data from the Hamburg Wheel Tracking Device (WTD), *Journal of Road & Transport Research*, Vol. 18 No. 3.
- Dachlan, T.A., Sjahdanulirwan, M 2012, Kajian pengaruh Modulus Resilien dan kepadatan membal terhadap kekuatan dan keawetan perkerasan beraspal panas, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- NCHRP 2011, A manual for design of hot mix asphalt with commentary, Report 673, Transportation Research Board, Washington DC.
- Sinuhaji, C.A 2017, Kinerja Modulus Resilien dan deformasi permanen dari campuran laston gradasi senjang (HRS-WC) dengan bahan aspal modifikasi Starbit E-55, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Subagio BS, Nirwan E., Rahman H., Comparison between Resilient Modulus and Dynamic Modulus of AC-BC Mixture using RAP Material, Proceeding MAIREPAV8 Conference (SCOPUS Index), Singapore, July 2016.

Zhou, F., Scullion, T., Sun, L 2004, Verification and modeling of three-stage permanent deformation behaviour of asphalt mixes, *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineering.

