

ANALISIS PENENTUAN STABILITAS DINAMIS MENGUNAKAN *HAMBURG WHEEL TRACKING DEVICE* PADA CAMPURAN ASPAL BETON YANG MENGANDUNG ASPAL MODIFIKASI POLIMER

Arie Rizky Dwitama

Prodi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132
aridwitamaaa@gmail.com

Eri Susanto Hariyadi¹

Prodi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132
erish@ftsl.itb.ac.id

Abstract

Dynamic Stability is a parameter that shows the performance of asphalt against permanent deformation. This parameter is usually obtained from the Wheel Tracking Machine (WTM) test according to the General Specifications of Bina Marga 2018. The purpose of this study is to obtain dynamic stability parameters using the Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD) which is equivalent to the WTM results using an asphalt concrete containing polymer modified bitumen. From this research, it is known that asphalt concrete mixture containing polymer modified bitumen is more resistant to permanent deformation than PEN 60/70 bitumen. In addition, it can also be seen that the time for testing the HWTD for 2.5 hours – 3 hours is equivalent to a test time of 45 minutes – 60 minutes on the WTM which produces dynamic stability values. This HWTD test time range applies to testing asphalt that are resistant to high temperatures with a fairly long creep time zone.

Keywords: Hamburg Wheel Tracking Device, Wheel Tracking Machine, Dynamic Stability, Polymer Modified Bitumen

Abstrak

Stabilitas Dinamis adalah parameter yang menunjukkan kinerja dari campuran beraspal terhadap deformasi permanen. Parameter ini biasanya didapat dari pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter stabilitas dinamis dengan menggunakan alat Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD) yang setara dengan hasil WTM tersebut dengan menggunakan campuran aspal beton yang mengandung aspal modifikasi polimer. Dari penelitian ini diketahui bahwa campuran aspal beton yang mengandung aspal modifikasi polimer lebih tahan terhadap deformasi permanen dari pada aspal PEN 60/70. Selain itu, dapat juga diketahui waktu untuk pengujian alat Hamburg Wheel Tracking Device selama 2.5 jam – 3 jam adalah setara dengan waktu pengujian selama 45 menit – 60 menit pada alat Wheel Tracking Machine yang menghasilkan nilai parameter stabilitas dinamis. Rentang waktu pengujian HWTD ini berlaku untuk pengujian campuran beraspal yang tahan terhadap suhu tinggi dengan daerah waktu rangkai yang cukup panjang.

Kata Kunci: *Hamburg Wheel Tracking Device, Wheel Tracking Machine, Stabilitas Dinamis, Aspal Modifikasi Polimer*

¹ Corresponding author: erish@ftsl.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Dalam perkerasan jalan, banyak hal yang harus diperhatikan dalam kinerja suatu perkerasan, salah satunya adalah akan terjadinya deformasi permanen dari suatu perkerasan jalan tersebut. Deformasi permanen pada campuran aspal adalah suatu kerusakan yang terjadi pada permukaan perkerasan yang berbentuk alur akibat perkerasan berdeformasi plastis.

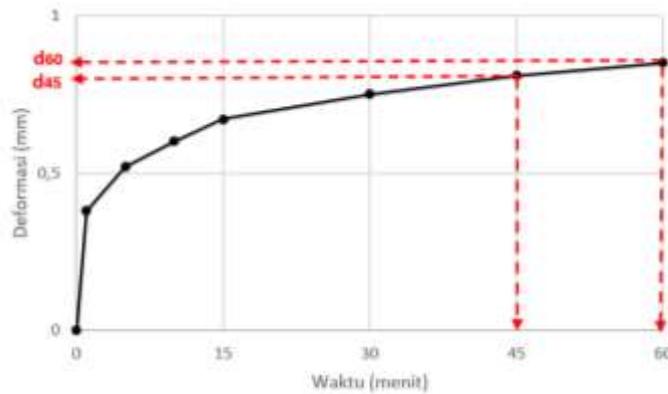
Untuk mengetahui nilai deformasi permanen dalam suatu perkerasan jalan pada skala laboratorium, biasanya digunakan pengujian simulatif menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* sesuai dengan spesifikasi Japan Road Association (JRA, 1989) yang biasa digunakan di Indonesia, terlihat dari beberapa pengujian dan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di Indonesia terutama alat yang tersedia di balai-balai penelitian seperti di BinteK Jatan Kementerian PUPR untuk pengujian deformasi permanen menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* (Suardjana, 2015). Alat *Wheel Tracking Machine* ini akan mengeluarkan beberapa parameter yang merupakan hubungan antara jumlah lintasan dan deformasi, kecepatan deformasi dan juga total deformasi yang terjadi

Namun dalam perkembangan terakhir penelitian mengenai deformasi permanen, alat *Wheel Tracking Machine* (WTM) ini diperbarui dengan adanya alat yang juga menguji deformasi permanen yang bernama *Hamburg Wheel Tracking* (Tsai, 2016). Namun alat ini belum banyak digunakan untuk pengujian di Indonesia, dikarenakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device* ini baru tersedia di Laboratorium Rekayasa Jalan dan Lalu Lintas di Institut Teknologi Bandung, alat ini dapat menguji lebih lanjut deformasi pada perkerasan jalan untuk jumlah lintasan yang lebih besar dari 20.000 lintasan. Karena Spesifikasi di Indonesia masih menggunakan parameter stabilitas dinamis menggunakan WTM pada campuran beraspal modifikasi polimer, maka perlu dilakukan penelitian bagaimana parameter stabilitas dinamis ini dapat diperoleh dengan menggunakan *Hamburg Wheel Tracking Device* (HWTD).

TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas Dinamis

Stabilitas Dinamis (*dynamic stability*) adalah hubungan antara jumlah lintasan dan deformasi yang terjadi pada pengujian dengan alat *wheel tracking machine* (WTM), dan digunakan juga sebagai parameter ketahanan material terhadap deformasi permanen (Suarjana, 2015). Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium dalam ruangan dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Hasil pengujian didasarkan pada hubungan antara nilai deformasi dan waktu seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Deformasi dan Waktu

Berdasarkan JRA 1980, nilai Stabilitas Dinamis (DS) dan Laju Deformasi (RD) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$DS = 21 \times 2 \times \frac{t_{60} - t_{45}}{d_{60} - d_{45}} \quad (1)$$

$$RD = \frac{d_{60} - d_{45}}{t_{60} - t_{45}} \quad (2)$$

dimana:

d_{45} = Deformasi pada saat pengujian berjalan 45 menit (mm)

d_{60} = Deformasi pada saat pengujian berjalan 60 menit (mm)

t_{45} = waktu pengujian selama 45 menit

t_{60} = waktu pengujian selama 60 menit

Berdasarkan British Standard EN 12697 – 22 :2003 juga diperkenalkan konsep stabilitas dinamis sesuai persamaan 1 dengan menggunakan istilah *Wheel Tracking Slope* (WTS) sesuai persamaan berikut.

$$WTS_{air} = \frac{d_{1000} - d_{5000}}{5} \quad (3)$$

dimana:

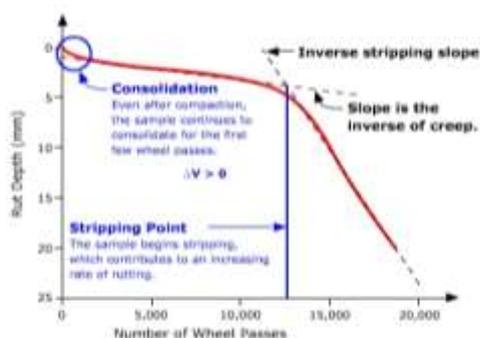
WTS_{air} = *wheel tracking slope* (mm/1000 siklus beban)

D_{1000}, d_{5000} = Kedalaman *rutting* setelah 5000 *load cycles* atau 10000 *load cycle*

Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD)

Hamburg Wheel Tracking Device yang merupakan sebuah alat pengujian simulatif pada perkerasan jalan yang dikeluarkan oleh Matest Italy yang merupakan alat untuk menguji nilai deformasi dari sebuah sampel campuran beraspal mengacu kepada spesifikasi EN 12697–22:2003 atau AASHTO T324:2017.

Hasil pengujian HWTD dapat dibuat grafik nilai deformasinya terhadap jumlah lintasan atau waktu, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Terdapat tiga zona dalam grafik HWTD ini, yaitu zona konsolidasi, zona rangkak (*creep*) dan zona pengelupasan (*stripping*) yang ditandai masing-masing berupa kurva dengan garis singgung tertentu. Perpotongan garis singgung *creeping* dan *stripping* disebut *Stripping Inflection Point* atau SIP (AASHTO, 2017).



Gambar 2. Kurva HWTD

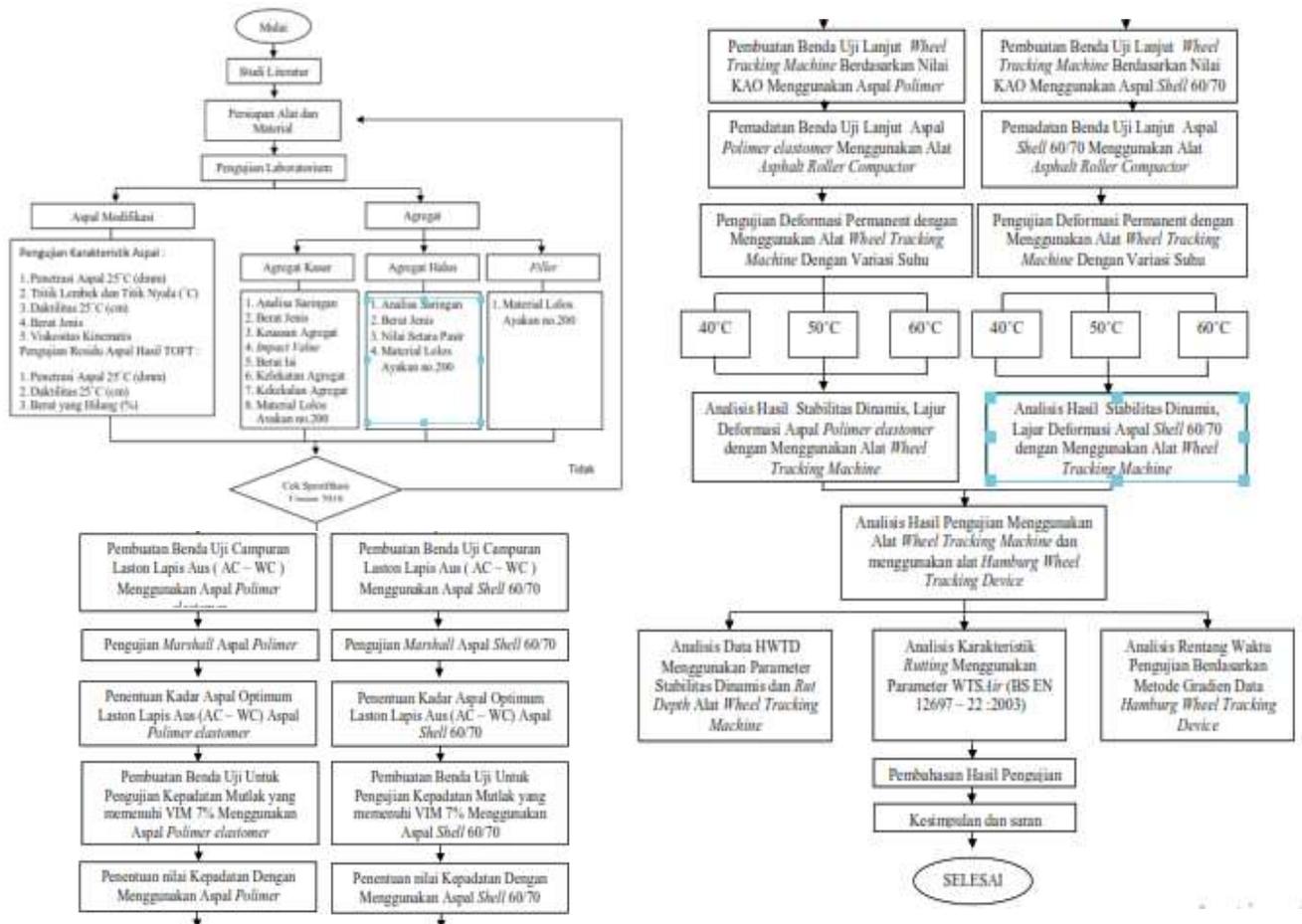
Perbandingan alat HWTD terhadap alat *Wheel Tracking Machine* (WTM) yang menghasilkan nilai stabilitas dinamis sesuai persamaan (1) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan WTM dengan HWTD

Parameter	WTM	HWTD
Bentuk Alat		
Ukuran Spesimen Roda	300 mm x 300 mm x 50 mm Karet	400 mm x 305 mm x 120 mm Karet
Tekanan Permukaan Parameter Input Tes	6,4 ± 0,15 kg/cm ² 1260 passes, 2520 bolak balik 42 ± 1 rounds per minute	705±4.5 N (158 lb±1,0 lb) 10000 passes 50 ± 5 passes per minute
Spesifikasi	<i>Japan Road Association</i> 1980	British Standard EN 12679:2003; AASHTO T 324:2017

METODOLOGI PENELITIAN

Campuran Laston sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mengandung aspal modifikasi Colflex70[®] digunakan pada penelitian ini. Kinerjanya kemudian dibandingkan dengan Laston aspal pen 60/70 baik diuji dengan HWTD maupun WTM.

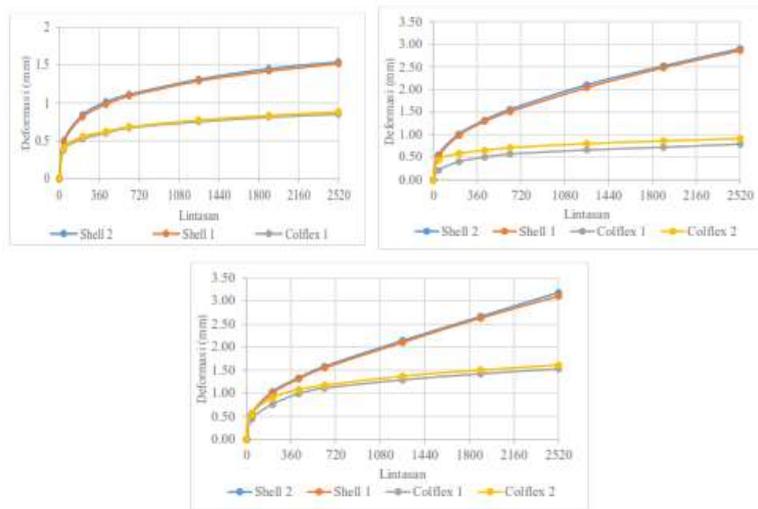


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

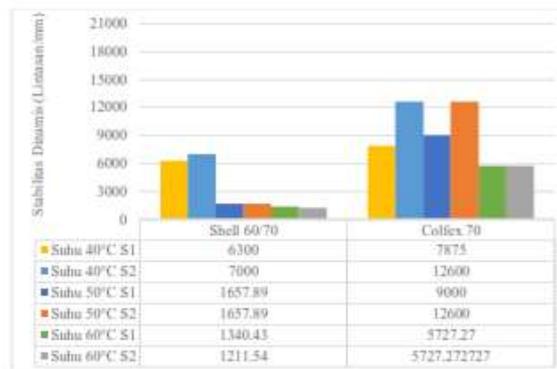
DATA DAN ANALISIS

Pengujian *Wheel Tracking Machine*

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa campuran yang menggunakan aspal modifikasi *Polimer* menghasilkan nilai deformasi yang lebih rendah dari pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aspal Modifikasi Polimer lebih bisa menahan terjadinya deformasi dan meningkatkan kekuatan campuran untuk terjadinya penurunan pada campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban berulang yang diberikan selama pengujian.



Gambar 4. Hasil Pengujian Wheel Tracking Machine



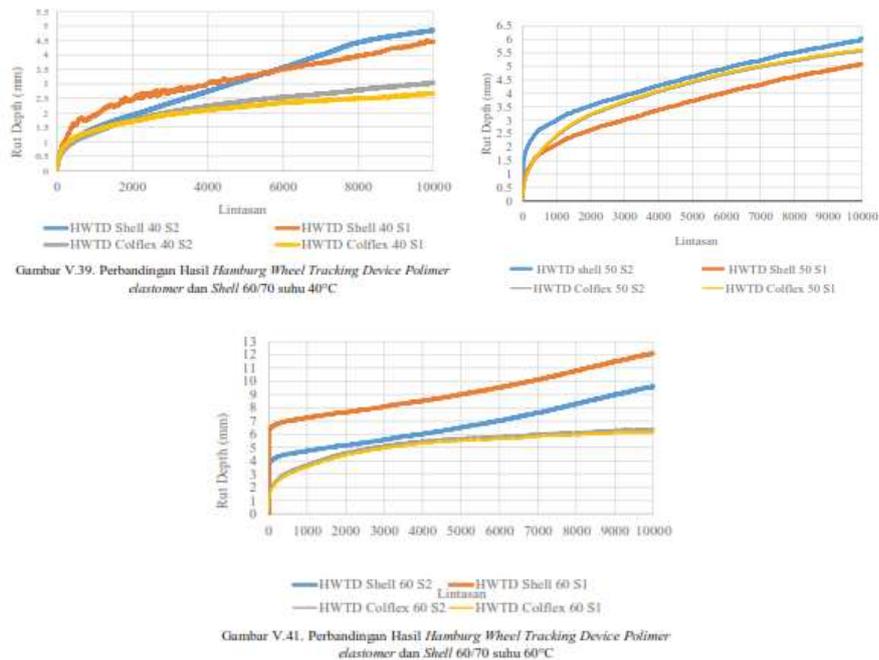
Gambar 5. Perbandingan nilai Stabilitas Dinamis

Campuran dengan menggunakan aspal modifikasi polimer dapat menahan terjadinya deformasi yang lebih baik karena campuran memiliki sifat yang lebih kaku, ini dibuktikan dengan nilai penetrasi yang lebih kecil dibandingkan penetrasi aspal PEN 60/70. Nilai penetrasi berpengaruh terhadap ketahanan deformasi, dimana semakin rendah nilai penetrasi aspal maka aspal memiliki sifat yang keras dan kaku, sebaliknya apabila nilai penetrasi tinggi maka aspal memiliki sifat yang lembek. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, aspal modifikasi polimer memiliki nilai penetrasi yang lebih kecil dibandingkan penetrasi aspal PEN 60/70. Maka dari itu dengan semakin meningkatnya kekakuan aspal maka akan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, terbukti dari hasil pengujian deformasi yang dihasilkan dimana campuran menggunakan aspal PEN 60/70 mengalami penurunan deformasi lebih besar dibandingkan campuran menggunakan aspal polimer elastomer yang memiliki nilai penetrasi yang lebih kecil.

Selain parameter yang ditinjau dari karakteristik aspalnya sendiri, parameter *output Marshall* yang telah dilakukan juga mempengaruhi hasil deformasi yang terjadi pada pengujian ini.

Jika ditinjau lebih dalam, dapat dilihat dari nilai parameter stabilitas yang dihasilkan, dimana nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan ketahanan terhadap beban yang bisa ditahan dari suatu benda uji tersebut, dimana semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin tinggi beban yang bisa ditahan dari suatu benda uji, dapat dilihat pada pengujian ini, nilai stabilitas campuran dengan menggunakan aspal polimer elastomer menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan campuran menggunakan aspal PEN 60/70, dengan nilai stabilitas yang tinggi ini sangat mempengaruhi nilai deformasi yang terjadi, memengaruhi besarnya penurunan yang dapat terjadi, dimana nilai deformasi dengan stabilitas yang tinggi akan mengalami penurunan deformasi yang kecil dikarenakan benda uji dapat menahan tekanan atau bebanan yang lebih baik dari yang memiliki stabilitas yang lebih kecil.

Pengujian *Hamburg Wheel Tracking Device*



Gambar 6. Hasil Pengujian *Hamburg Wheel Tracking Device*

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu maka akan semakin besar penurunan yang terjadi atau semakin tinggi nilai deformasi yang dihasilkan, dilihat dari hasil yang telah didapatkan, campuran dengan menggunakan aspal polimer lebih memiliki ketahanan deformasi yang lebih tinggi, bisa dilihat dari 3 variasi suhu yang telah dilakukan pengujian, Campuran AC – WC menggunakan aspal polimer elastomer dapat dikatakan lebih baik dari campuran menggunakan aspal PEN 60/70 karena dengan penambahan polimer pada aspal dapat memperbaiki kinerja pada campuran tersebut

Analisis Data Hasil HWTD Menggunakan Parameter Stabilitas Dinamis

Pada Tabel 3 terlihat nilai stabilitas dinamis yang didapat dari pengujian *Hamburg Wheel Tracking Device* menggunakan nilai kemiringan garis secant dari dua titik pada waktu pengujian 2,5 jam dan 3 jam, sesuai persamaan 1.

Tabel 2. Rekapitulasi Percobaan Perhitungan Nilai Laju Deformasi dan Stabilitas Dinamis

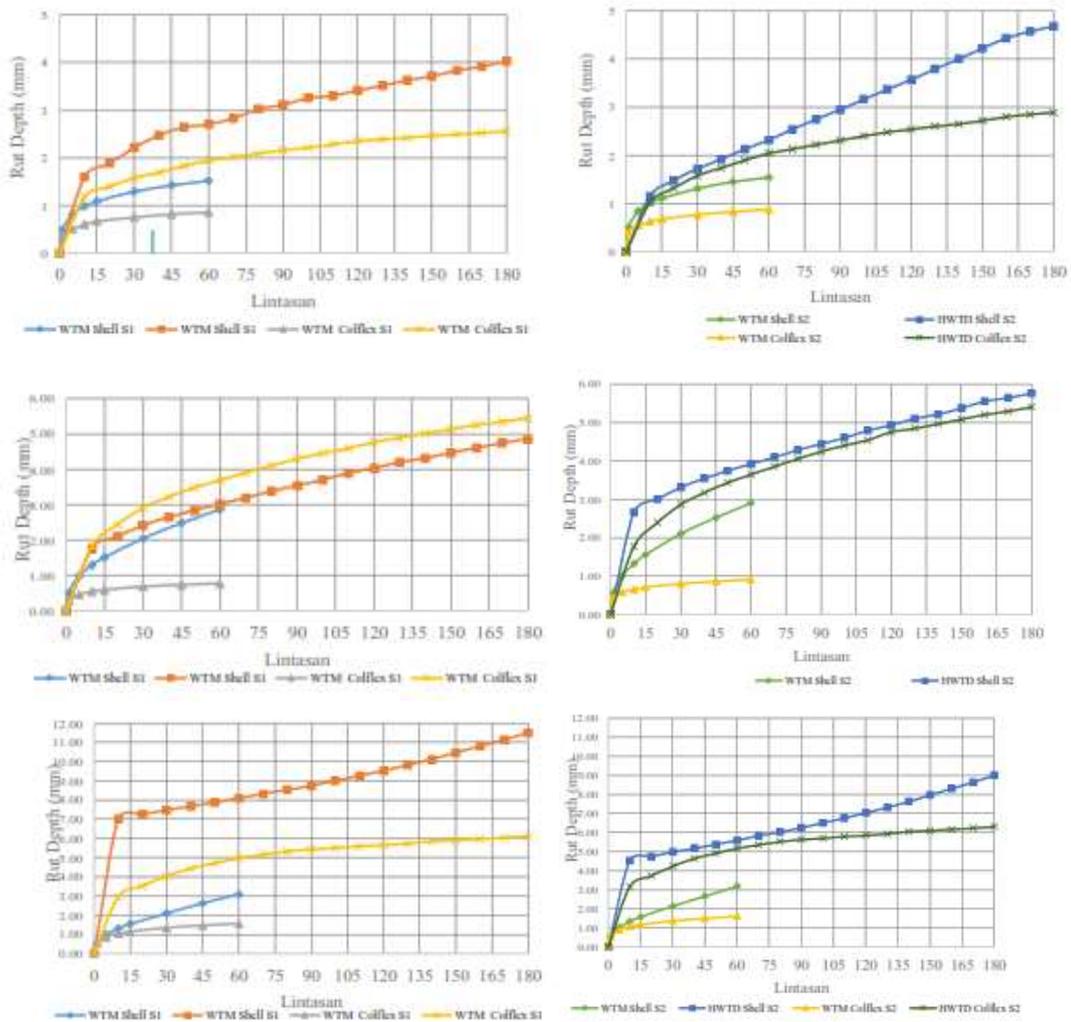
Campuran	Suhu °C	HWTD Secant (Waktu Usian)							
		Kemiringan Waktu (μ)	Kemiringan Lintasan	Waktu (t1)	Waktu (t2)	Deformasi (d1)	Deformasi (d2)	RD	DS
				(menit)	(menit)	mm	mm	mm/mm	lntasan/mm
shell 60/70	40	2.5 - 3	7500 - 9000	150	180	3.83	4.29	1.40000E-02	4571.43
shell 60/70	50					4.47	4.86	1.30000E-02	2846.15
shell 60/70	60					10.47	11.2	2.43333E-02	1496.31
Collef 70	40					2.46	2.56	2.33333E-03	12000.00
Polimer elastomer	50					3.13	3.45	1.06667E-02	4687.50
Polimer elastomer	60					5.9	6.11	7.00000E-03	7142.86

Setelah dilakukan analisis data *Hamburg Wheel Tracking Device* menggunakan parameter Stabilitas Dinamis pada alat *Wheel Tracking Machine*, bisa dilihat bahwa campuran menggunakan PE 60/70 menghasilkan nilai stabilitas dinamis yang lebih kecil dibandingkan campuran laston yang mengandung aspal modifikasi polimer, artinya campuran PEN 60/70 menghasilkan jumlah lintasan yang lebih kecil yang bisa dihasilkan dalam penurunan deformasi sebesar 1 mm, dan semakin tinggi suhu yang diberikan, maka nilai stabilitas yang dihasilkan akan semakin kecil, namun berbanding terbalik dengan campuran campuran laston yang mengandung aspal modifikasi polimer dimana nilai stabilitas dinamis akan tetap memenuhi syarat yang telah ditentukan walaupun diberikan suhu yang tinggi, jika kita tinjau dari spesifikasi bina marga umum tentang nilai minimal dari stabilitas dinamis yaitu 2500 lintasan/mm.

Selanjutnya dilakukan analisis gradien garis singgung, dimana pada analisis ini akan dicari gradien garis singgung yang mendekati gradien garis singgung pada grafik yang dihasilkan oleh *Wheel Tracking Machine*. Pada Gambar 7 terlihat kurva perbandingan deformasi permanen menggunakan alat HWTD dan WTM.

Dari Gambar 7, untuk pengujian menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* dengan menggunakan campuran PEN 60/70 suhu 60°C pada range pengujian 45 menit – 60 menit didapatkan nilai gradient sebesar 0,0313 untuk sampel 1 dan 0,0346 untuk sampel 2, sedangkan untuk pengujian menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device* harus dilakukan percobaan di beberapa titik waktu pengujian dan dicari yang paling mendekati hasil gradien menggunakan alat *Wheel Tracking Machine*. Setelah dilakukan trial di beberapa titik waktu pengujian, didapatkan gradien yang paling mendekati berada pada range waktu 150 menit sampai 180 menit dengan nilai gradien 0.036 dan pada range waktu 170 – 180 menit dengan nilai gradien 0,036 untuk sampel 2. Dengan menggunakan campuran Polimer elastomer untuk pengujian menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* dengan menggunakan campuran Polimer elastomer pada range pengujian 45 menit – 60 menit didapatkan nilai gradien sebesar 0,00667 untuk sampel 1 dan 0,0073 untuk sampel 2, dan pengujian menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device* didapatkan gradien yang

paling mendekati berada pada *range* waktu 150 menit sampai 180 menit dengan nilai gradien singgung sebesar 0,008.



Gambar 7. Grafik Perbandingan HWT dan WTM

Tabel 3. Rekapitulasi Stabilitas Dinamis dengan Gradien Garis Singgung

Campuran	Suhu Pengujian	Sampel	Waktu Pengujian Wheel Tracking Machine (menit)	Waktu Pengujian Hamburg Wheel Tracking Device (menit)	Gradient Wheel Tracking Machine	Gradient Hamburg Wheel Tracking Device	Selisih Gradient (Wheel Tracking Machine - Hamburg Wheel Tracking Device)
Shell 60/70	40°C	S1	45 - 60	150 - 180	0.006	0.0095	0.0035
		S2	45 - 60	170 - 180	0.006	0.011	0.005
	50°C	S1	45 - 60	100 - 120	0.0253	0.0165	0.008
		S2	45 - 60	80 - 120	0.0253	0.0162	0.0091
Coflex 70	60°C	S1	45 - 60	150 - 180	0.0313	0.036	0.0047
		S2	45 - 60	150 - 180	0.0346	0.0343	0.0003
	40°C	S1	45 - 60	150 - 180	0.002	0.004	0.002
		S2	45 - 60	170 - 180	0.003	0.004	0.001
	50°C	S1	45 - 60	150 - 180	0.00267	0.001	0.00167
		S2	45 - 60	150 - 180	0.0033	0.001	0.0023
60°C	S1	45 - 60	150 - 180	0.00667	0.008	0.0013	
	S2	45 - 60	150 - 180	0.0073	0.007	0.0003	

Setelah diperkirakan rentang waktu dari pendekatan gradien garis singgung yaitu selama 2,5 jam – 3 jam. Jika dikonversi waktu pengujian sebesar 2,5 jam dan 3 jam menjadi jumlah lintasan, maka pengujian selama 2,5 jam (150 menit) menghasilkan 7500 lintasan, sedangkan 3 jam menghasilkan 9000 lintasan.

Analisis Karakteristik Rutting Menggunakan Parameter WTS_{air}

Metode WTS_{air} ini merupakan metode yang digunakan dalam British Standar EN 12697-22:2003, dimana persamaan itu menggunakan nilai deformasi pada lintasan ke 10000 dan juga lintasan ke 5000, persamaan ini bertujuan untuk mencari kemiringan dari *Wheel Tracking Machine* dalam kondisi keadaan permukaan kering.

Tabel 4. Perhitungan nilai DS dan Menggunakan Persamaan WTS_{air}

Aspal	Suhu °C	WTM		Data HWTD				Justifikasi WTS _{air} Secant		Selisih RD	Selisih DS
		RD	DS	d5000	d10000	t500	t1000	RD	DS	(WTM - WTS _{air} Secant)	
		mm/menit	Lintasan/mm	mm	mm	menit	menit	mm/menit	lintasan/mm	mm/menit	lintasan/mm
Shell 60/70	40	6.667E-03	6300	3.25	4.48	100	200	1.23E-02	5065.04	-5.63E-03	1234.96
	50	2.533E-02	1657.89	3.7	5.08			1.38E-02	3623.19	1.15E-02	-1965.29
	60	3.133E-02	1340.43	9.01	12.1			3.09E-02	1618.12	4.33E-04	-277.70
Polimer elastomer	40	2.667E-03	15750	2.21	2.66	100	200	4.50E-03	14111.11	-1.83E-03	1638.89
	50	4.667E-03	9000	4.45	5.61			1.16E-02	4310.34	-6.93E-03	4689.66
	60	7.333E-03	5727.272	5.5	6.2			7.00E-03	7142.86	3.33E-04	-1415.58

Dari Tabel 4. dapat dilihat hasil Stabilitas Dinamis, DS yang didapatkan dengan menggunakan persamaan WTS_{air} memiliki selisih yang tidak terlalu jauh, dimana masih ada selisih 2000 lintasan/mm dimasing masing campuran dan variasi suhu, ini berarti rentang yang awalnya diambil yaitu 2,5 jam sampai 3 jam merupakan rentang waktu yang dapat direkomendasikan untuk pengujian menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device*.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dilaboratorium dan dilakukan pembahasan dan analisis terhadap data yang didapatkan, selanjutnya akan ditarik kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini, kesimpulan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil Marshall yang telah dilakukan, campuran dengan menggunakan aspal modifikasi polimer dapat memperbaiki kinerja dari suatu campuran tersebut, terbukti dengan hasil stabilitas yang lebih tinggi yang berarti dapat menahan beban yang lebih tinggi dari menggunakan aspal PEN 60/70, selain itu rongga pada campuran dengan menggunakan aspal modifikasi polimer menghasilkan rongga campuran yang lebih sedikit dapat dilihat dari nilai *void in mixture*.
- b. Dari pengujian menggunakan alat *Wheel Tracking Machine*, dapat dilihat bahwa campuran dengan menggunakan aspal modifikasi polimer memiliki ketahanan terhadap *rutting* yang lebih baik, ini dibuktikan dari hasil stabilitas dinamis yang lebih tinggi dan nilai laju deformasi dan total deformasinya yang lebih rendah dibandingkan campuran menggunakan aspal *PEN 60/70*.
- c. Setelah dilakukan pengujian menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device*, campuran menggunakan aspal modifikasi polimer memiliki ketahanan *rutting* yang lebih baik, dibuktikan dari penurunan deformasi yang terjadi lebih kecil dibandingkan campuran menggunakan aspal PEN 60/70, selain itu campuran menggunakan aspal modifikasi polimer juga lebih tahan terhadap suhu tinggi yang terbukti dari nilai akhir deformasi pada suhu 60°C yang sangat jauh selisihnya.
- d. Setelah dilakukan pendekatan analisis dengan data yang ada, maka didapatkan nilai Stabilitas Dinamis dari alat *Hamburg Wheel Tracking Device* yang mendekati nilai Stabilitas Dinamis alat *Wheel Tracking Machine* berada pada rentang waktu 2,5 jam – 3 jam pengujian. Rentang waktu pengujian HWTD ini berlaku untuk pengujian campuran beraspal yang tahan terhadap suhu tinggi dengan daerah waktu rangkai yang cukup panjang

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State and Highway Transportation Officials. 2017. AASHTO T 324: Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)
- Al – Khateeb., Basheer, I. 2009. A Three Stage Rutting Model Utilizing Rutting Performance Data from The Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD), *Jounal of Road & Transportation Research*, Vol. 18 No. 3
- British Standard. 2003. Bituminous Mixtures Test Methods for Hot Mix Asphalt Part 33: Specimen Prepared by Rolle Compactor. BS EN 12697 – 33: 2003
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design Second Edition*, Prenticehall, Inc. New Jersey.
- Irsan, M. 2006. *Kinerja Laboratorium Beton Aspal Lapis Aus dengan Aspal Modifikasi Polimer*. Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung.
- JRA 1989. *Manual for Asphalt Pavement*. Japan Road Association. Tokyo

- Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). Spesifikasi Campuran Beraspal Divisi 6 Seksi 6.3. Jakarta.
- Hamid, D. M. 2006. Tinjauan Laboratorium Sifat – Sifat Teknik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC – WC) Menggunakan Aspal Minyak dan Aspal Polimer. Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung.
- Suarjana, N. 2015. Evaluation of Dynamic Stability and Flow Number as a Asphalt Mixture Parameter Againsts Permanent Deformation. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Texas Departemen of Transportation. 2019. Test Procedure for Hamburg Wheel Tracking Test. TEX – 242 – F.
- Tsai, B. W., Coleri, E., Harvey, J. T., & Monismith, C. L. 2016. Evaluation of AASHTO T 324 Hamburg-Wheel Track Device test. *Construction and Building Materials*, 114, 248–260.