

**EVALUASI STABILITAS DINAMIS DAN FLOW NUMBER SEBAGAI  
PARAMETER KETAHANAN CAMPURAN BERASPAL TERHADAP  
DEFORMASI PERMANEN  
(EVALUATION OF DYNAMIC STABILITY AND FLOW NUMBER AS A  
ASPHALT MIXTURE PARAMETER AGAINST PERMANENT  
DEFORMATION)**

**Nyoman Suaryana**

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan  
Jl A.H Nasution No. 264 Bandung 40294  
e-mail: nyomansuaryana@yahoo.com

Diterima: 7 Oktober 2015; direvisi: 16 November 2015; disetujui: 1 Desember 2015

**ABSTRAK**

*Pengujian deformasi permanen di laboratorium dapat dilaksanakan dengan pengujian fundamental dengan alat triaxial test atau dengan pengujian simulatif dengan menggunakan alat wheel tracking. Pengujian pertama menghasilkan nilai flow number sementara pengujian kedua menghasilkan nilai stabilitas dinamis (dynamic stability). Evaluasi terhadap perilaku kedua parameter tersebut dilakukan untuk campuran SMA (Split Mastic Asphalt) dengan aspal minyak dan aspal yang dimodifikasi asbuton. Metodologi yang digunakan adalah metoda komparatif antara dua hasil pengujian tersebut untuk campuran beraspal yang sejenis. Flow number diperoleh dari nilai minimum pada turunan pertama hubungan antara deformasi dengan jumlah cycle pembebanan. Namun dari hasil pengujian, khususnya pada temperatur tinggi (56 °C) fenomena tersebut belum terlihat karena contoh uji terlanjur runtuh, pola tersebut terlihat jelas pada pengujian dengan temperature yang lebih rendah, yaitu 35 °C dan 45 °C. Berdasarkan pengamatan terhadap nilai stabilitas dinamis dengan penambahan waktu pengujian dari yang standar 1 x 60 menit menjadi 3 x 60 menit, terlihat nilai stabilitas dinamis meningkat pada setiap tahap. Hal ini mengindikasikan pada pengujian 1 x 60 menit belum dicapai nilai kecepatan deformasi yang relatif konstan, khususnya pada temperatur pengujian 35 °C dan 45 °C. Meskipun dengan jumlah data yang terbatas korelasi kedua parameter tersebut terlihat baik. Pengujian flow number lebih memberikan keuntungan karena dapat menjelaskan fenomena deformasi geser dengan lebih jelas.*

**Kata kunci:** flow number, stabilitas dinamis, deformasi permanen, SMA, asbuton

**ABSTRACT**

*Permanent deformation in the laboratory testing can be executed with a fundamental test using triaxial test or with simulatif test by using wheel tracking test. The parameters used in the first test is flow number and for the second test is dynamic stability. Evaluation of the behavior of these two parameters is done for SMA (Split Mastic Asphalt) mixed, using petroleum asphalt and asphalt modified by asbuton. The methodology used is the comparative method between two such test results for the mixture of asphalt. Flow number retrieved from the minimum value on the first derivative of the relationship between rate of deformation with the number of cycle loading. But from the results of testing, particularly at high temperatures (56 °C) the phenomenon has not been seen since the example test already collapsed, the pattern is clearly visible on testing with a lower temperature, i.e. 35 °C and 45 °C. Based on observations on the value of dynamic stability with the addition of the test time from the standard 1 x 60 minutes into 3 x 60 minutes, dynamic stability value showed an increase at each stage. This is indicated on the test 1 x 60 minutes have not yet reached the value of a relative constant deformation speed, especially on testing temperature 35 °C and 45 °C. Even with a limited amount of data correlation both these parameters look good. However testing flow number gives more advantages because it can explain the phenomenon of shear deformation with more clarity.*

**Keywords:** flow number, dynamic stability, permanent deformation SMA, asbuton

## PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi yang mempunyai peran yang sangat strategis dalam bidang ekonomi, sosial, budaya dan hankam. Kerusakan jalan pada perkerasan lentur yang terjadi pada prinsipnya berupa retak dan deformasi permanen. Retak pada perkerasan beraspal terjadi karena regangan horizontal yang bekerja pada lapisan beraspal sebagai akibat beban lalu-lintas yang berulang telah melebihi batas regangan yang dapat diterima. Sementara deformasi permanen terjadi sebagai akumulasi dari deformasi baik arah lateral maupun arah horizontal, yang terjadi pada seluruh struktur perkerasan.

Pengujian deformasi permanen di laboratorium dapat dilaksanakan dengan pengujian fundamental dengan alat *triaxial test* atau dengan pengujian simulatif dengan menggunakan alat *wheel tracking*. Pengujian pertama menghasilkan nilai *flow number* sementara pengujian kedua menghasilkan nilai stabilitas dinamis (*dynamic stability*), yang keduanya sebagai indikator untuk menunjukkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen (*rutting*).

*Flow number* merupakan indikator permanen deformasi dan telah diteliti sejak tahun 1970 an untuk mengukur potensi *rutting* pada campuran beraspal. Pengujian beban berulang *flow number* (Fn) merupakan pengujian rangkak (*creep*) dinamik yang mengalami pembebanan haversine dengan waktu jeda (*rest period*) tertentu.

Sementara stabilitas dinamis (*dynamic stability*) adalah hubungan antara jumlah lintasan dan deformasi yang terjadi pada pengujian dengan alat *wheel tracking*, dan digunakan juga sebagai parameter ketahanan material terhadap deformasi permanen (*rutting*).

Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi parameter *flow number* yang saat ini banyak digunakan di Dunia, khususnya di Amerika sebagai parameter ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen. Parameter tersebut akan dibandingkan dengan parameter stabilitas dinamis yang biasa digunakan di Indonesia. Campuran beraspal yang digunakan adalah SMA konvensional dan SMA modifikasi dengan asbuton.

## KAJIAN PUSTAKA

Menurut TRB (Transportation Research Board 2004) deformasi permanen atau *rutting* adalah penurunan permukaan pada jejak roda yang disebabkan oleh deformasi plastis pada setiap atau seluruh lapisan perkerasan dan subgrade. Deformasi permanens umumnya disebabkan oleh: (1) densifikasi atau kompresi satu dimensi atau konsolidasi, (2) pergerakan arah lateral atau pergeseran plastis (*plastic flow*) dari lapis perkerasan.

Hasil investigasi pada 15 campuran yang digunakan pada SHRP (*Strategic Highway Research Project*) menunjukkan deformasi akibat pergeseran plastis jauh lebih dominan dibandingkan akibat densifikasi atau perubahan volume (Long 2001). Hasil ini serupa dengan hasil dari pengujian menggunakan Heavy Vehicle Simulator (HVS) di University of California sebagai bagian dari proyek Caltrans APT (Kim 2009), dimana diperoleh hasil bahwa perubahan bentuk (pergeseran plastis) memberikan kontribusi yang utama pada deformasi permanen, dibandingkan dengan perubahan volume (densifikasi). Densifikasi umumnya tidak lagi dominan karena proses pemadatan perkerasan telah dilaksanakan sesuai dengan persyaratan.

Pembuatan rancangan campuran dengan mengacu pada spesifikasi *Superpave* dan penggunaan aspal modifikasi dengan titik leleh yang relatif tinggi ( $> 54$  °C) dapat mengurangi kerusakan deformasi plastis yang terjadi di Pantura Jawa. Temperatur perkerasan tertinggi yang terjadi di Pantura Jawa berdasarkan hasil survey Puslitbang Jalan dan Jembatan (Mulyani dan Solihin 2011) adalah 58 °C. Temperatur perkerasan dan lalu-lintas yang berat perlu dijadikan pertimbangan dalam pemilihan campuran beraspal untuk mencegah kerusakan dini yang terjadi terutama deformasi permanen.

Berdasarkan hasil monitoring uji coba skala penuh Pusjatan tahun 2007 dan tahun 2008 kerusakan permanen deformasi (alur) pada ruas jalan Jatibarang-Paliman terjadi relatif cepat, yaitu telah mencapai kedalaman lebih dari 1 cm pada umur perkerasan 1 tahun, sementara hasil pengujian lendutan dengan alat FWD dan analisa dengan menggunakan metoda AASHTO (1993) menunjukkan struktur perkerasan masih kuat untuk melayani lalu-

lintas 5 tahun ke depan (Riswan, Widayat dan Nono 2011). Hal ini mengindikasikan permanen deformasi yang terjadi lebih banyak pada lapisan beraspal di lapis permukaan sebagai akibat dari pergeseran (perubahan bentuk).

Pada pengujian beban berulang *flow number* (Fn), hubungan antara *permanent strain* dengan *load cycle* dapat dibagi menjadi tiga fase utama. Pada fase pertama (*primary*), *strain rate* (slope dari kurva *permanent strain*) meningkat tajam, pada fase kedua (*secondary*) kecepatan regangan permanen (*permanent strain rate*) adalah konstan, dan pada fase ketiga (*tertiary*) kecepatan regangan permanen meningkat secara tajam. Awal dimulainya fase ke-tiga adalah awal dimulainya deformasi geser.

The Arizona State University (Shen and Yu. 2012) menyarankan untuk menggunakan model algoritma Francken sebagai pengganti algoritma *finite difference* untuk membuat hubungan antara jumlah *cycle* dengan *permanent strain*, yaitu :

$$\epsilon_p = a N^b + c (e^{dN-1}) \quad (1)$$

Keterangan:

- $\epsilon_p$  = *permanent strain*, %
- N = jumlah *cycle*
- a, b, c, d = Konsanta

Turunan pertama dari persamaan tersebut merupakan *permanent strain rate* dan turunan kedua digunakan untuk mencari *flow number*, dimana nilai *flow number* adalah nilai pada saat nilai *strain* pada turunan kedua berubah dari negatif menjadi positif. Persamaan untuk turunan kedua tersebut adalah :

$$\frac{\partial^2 \epsilon_p}{\partial^2 N} = a b (b - 1) N^{b-2} + c d^2 e^{dN} \quad (2)$$

Keterangan:

- $\frac{\partial^2 \epsilon_p}{\partial^2 N}$  = turunan kedua dari *permanent strain* terhadap jumlah *cycle*, %/*cycle*
- N = jumlah *cycle*
- a, b, c, d = Konsanta

Campuran SMA (*Split Mastic Asphalt* atau *Stone Matrix Asphalt*) diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Zichner, seorang manajer laboratorium untuk pelaksanaan jalan di Strabag Bau AG, Jerman pada tahun 1968. SMA dimaksudkan untuk memecahkan masalah kerusakan yang terjadi pada lapisan aus (*wearing course*) akibat dari roda bertatah (*studded tires*), namun mempunyai durabilitas yang baik sehingga umur layanannya menjadi panjang. Untuk maksud tersebut maka dibuat campuran dengan proporsi agregat kasar yang banyak sehingga membentuk rangka (*skeleton*) agregat yang kuat. Sementara rongga yang terbentuk diantara agregat kasar tersebut diisi dengan mastik, yaitu campuran antara aspal, agregat halus dan bahan pengisi.

Dr. Zichner menyampaikan proporsi campuran yang digunakan pada produksi skala besar pertama, yaitu seperti berikut (Blazejowski 2011):

- Agregat kasar 5-8 mm : 70 %
- Pasir pecah 0-2 mm : 12 %
- Bahan pengisi : 10,5 %
- Aspal (B65) : 7,5 %

Dalam campuran tersebut tidak digunakan agregat ukuran 2-5 mm, sehingga menghasilkan gradasi yang senjang.

Kelebihan dan kekurangan SMA secara umum adalah seperti berikut (Blazejowski 2011):

- Umur pelayanan yang tinggi
- Ketahanan yang tinggi terhadap deformasi sebagai akibat dari kandungan agregat kasar yang besar dan membentuk rangka agregat yang kuat.
- Ketahanan terhadap retak lelah yang baik karena kadar aspal yang tinggi.
- Makro tekstur yang baik dan mengurangi cipratan air akibat kendaraan pada saat permukaan basah.
- Mengurangi kebisingan

Disamping kelebihan seperti yang telah diuraikan di atas, SMA mempunyai kekurangan yaitu :

- Biaya relatif lebih mahal dibanding campuran beraspal konvensional, sekitar 10% – 20% sebagai akibat dari penggunaan kadar aspal yang tinggi dan penambahan bahan penstabil
- Resiko munculnya spot-spot aspal pada permukaan sebagai akibat kesalahan atau variasi selama produksi atau pelaksanaan.

Aspal alam di negara kita terdeposit di Pulau Buton Sulawesi Tenggara dan biasa disebut dengan Asbuton singkatan dari Aspal Batu Buton. Aspal alam yang tersedia di Pulau Buton mempunyai cadangan yang sangat besar sekitar 677 juta ton, dengan kadar aspal bervariasi antara 10% dan 50% dengan lokasi tersebar dari teluk Sampolawa s/d teluk Lawele sepanjang 75 km dengan lebar 27 km ditambah wilayah Enreke yang termasuk wilayah kabupaten Muna (Suaryana 2006). Secara umum dapat dibedakan dua jenis Asbuton dengan karakteristik berbeda yaitu bersifat keras seperti dari Kabungka dan bersifat relatif lunak dari Lawele.

Affandi (2012) menyatakan penambahan asbuton butir tipe BGA 5/20 sebanyak 5 % dalam campuran beraspal, akan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dibandingkan dengan aspal minyak pen 60 dan asbuton full ekstraksi. Namun akan menurunkan ketahanan terhadap terhadap retak lelah (*fatigue*).

## HIPOTESIS

Hubungan antara parameter *flow number* hasil pengujian alat *triaxial* dengan stabilitas dinamis hasil pengujian alat *wheel tracking* diperkirakan mempunyai korelasi yang baik.

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda komparatif, yaitu dengan membandingkan hasil pengujian deformasi permanen antara alat *wheel tracking* dibandingkan dengan alat *triaxial* untuk campuran beraspal yang sama. Parameter deformasi permanen yang dihasilkan dari pengujian *wheel tracking* adalah stabilitas dinamis dan dari alat *triaxial* (AMPT) adalah *flow number*.

Prosedur pengujian *flow number* mengacu pada AASHTO Designation: TP 79-12 ; *Determinaton the Dynamic Modulus and Flow Number for Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)*. Pada penelitian ini digunakan tegangan axial 600 kPa (87 psi) dengan *loading pulse* 0,1 detik dan *rest period* 0,9 detik.

Sementara temperatur yang digunakan bervariasi dari 20 °C , 35 °C , 45 °C dan 56 °C. Contoh uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan panjang 15 cm. Untuk mencapai temperatur pengujian yang diinginkan maka dilakukan pengkodisian selama 120 menit di dalam tabung sebelum proses pengujian dimulai.

Sementara pengujian stabilitas dinamis (*dynamic stability*) dengan alat *Wheel Tracking* mengacu pada Japan Road Association (1989). Dalam pengujian beban roda yang digunakan adalah yang menghasilkan tekanan kontak  $6.4 \pm 0.15 \text{ kg/cm}^2$ , roda bergerak bolak balik dengan waktu siklus  $21 \pm 0.2$  per menit.

Pada penelitian ini, pengujian stabilitas dinamis dilakukan untuk 3 variasi temperatur (35 °C, 45 °C dan 56 °C). Jumlah lintasan pada waktu 45 menit adalah 945 lintasan, dan pada waktu 60 menit adalah 1260 lintasan.

## HASIL DAN ANALISIS

### Sifat fisik agregat

Agregat yang digunakan berasal dari daerah Sewo, Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat. Karakteristik agregat tersebut telah memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan SMA berdasarkan standar AASHTO M 325-08 dan standar agregat untuk campuran beraspal sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010 .

### Sifat fisik aspal

Aspal minyak yang digunakan adalah aspal minyak penetrasi 60 yang diproduksi oleh PT. Pertamina (Persero). Sementara asbuton yang digunakan berupa asbuton butir yang diproduksi oleh PT. BAI (Buton Asphalt Indonesia), yaitu asbuton butir LGA 50/25. Angka pertama menunjukkan nilai penetrasi dengan koridor nilai dari 40 dmm sampai dengan 60 dmm, sementara angka kedua menunjukkan kadar bitumen dalam asbuton dengan koridor kadar bitumen dari 20 % sampai dengan 30 %. Asbuton mempunyai nilai penetrasi yang relatif tinggi yaitu termasuk dalam klasifikasi aspal pen 40. Penggunaan asbuton dengan penetrasi tinggi tersebut memungkinkan pemakaian yang lebih banyak, sementara mineral yang terkandung di dalamnya dapat bermanfaat sebagai bahan

pengisi (*filler*) dalam SMA yang kebutuhannya relatif tinggi.

### **Gradasi campuran**

Gradasi campuran yang digunakan mengacu pada spesifikasi AASHTO M 325-08 (AASHTO 2008). Gradasi yang digunakan dalam penelitian adalah gradasi tengah dari standar gradasi tersebut.

### **Prosedur pencampuran**

Prosedur pencampuran asbuton kedalam campuran dapat dengan cara basah atau cara kering, urutan pencampuran dari dua prosedur tersebut adalah sebagai berikut :

- Cara basah ; Agregat dipanaskan, masukkan serat selulosa, selanjutnya dimasukkan aspal panas dan terakhir dimasukkan asbuton.
- Cara kering ; Agregat dipanaskan, masukkan serat selulosa, selanjutnya dimasukkan asbuton butir dan terakhir aspal panas.

Hasil uji coba terhadap kemudahan pelaksanaan, menunjukkan prosedur dengan cara basah lebih baik.

### **Prosedur pemadatan**

Beberapa prosedur pemadatan yang dikenal adalah dengan pemadat Marshall dan pemadat gyratory. Dalam beberapa spesifikasi di Eropa, pemadatan Marshall yang digunakan berkisar antara 50 dan 75 tumbukan. Sementara di Amerika dengan pemadat gyratory digunakan 75 dan 100 putaran. Berdasarkan spesifikasi AASHTO M 325 (AASHTO 2008) pemadatan dilaksanakan dengan 100 putaran jika nilai abrasi los angeles lebih kecil dari 30 % dan dengan 75 putaran apabila nilai abrasi lebih besar dari 30 %. Semakin tinggi beban lalu-lintas yang akan dilayani maka pemadatan yang dilakukan akan semakin tinggi, seperti halnya untuk AC (*Asphaltic Concrete*) yang menggunakan 75 putaran untuk lalu-lintas antara 0,3 – 3 juta ESAL, 100 putaran untuk 3 – 30 juta ESAL dan 125 putaran untuk > 30 juta ESAL (AASHTO D: R 35-12). Berdasarkan spesifikasi Superpave target dari kepadatan rencana ( $N_{design}$ ) untuk lalu-lintas berat adalah 96 % dari teoritikal maksimum *specific gravity* ( $G_{mm}$ ),

dan nilai yang memenuhi angka tersebut adalah pada pemadatan dengan jumlah tumbukan 75.

Dengan nilai abrasi agregat yang jauh di bawah 30 %, diharapkan tidak terjadi pemecahan agregat selama proses pemadatan. Dengan demikian, dalam rancangan campuran pada penelitian ini akan digunakan jumlah tumbukan 2 x75 dengan pemadat Marshall.

### **Karakteristik campuran**

Prosedur perancangan campuran mengacu pada standar Amerika (Blazejowski 2011). SMA konvensional dengan bahan penstabil serat selulosa disebut SMA, sementara SMA dengan asbuton butir sebagai penstabil selanjutnya disebut SMAB (*Stone Matrix Aspal Buton*).

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, penambahan serat selulosa sebanyak 0,2 % atau penambahan asbuton butir LGA sebanyak 7,5 % dapat mencegah *draindown* aspal tidak melewati batas persyaratan (maks 0,3 %). Hal ini menunjukkan *draindown* aspal dapat dicegah dengan menggunakan *binder absorbers* yaitu dengan serat selulosa atau dengan menggunakan *viscosity boosters* yaitu dengan asbuton.

### **Pengujian Flow Number**

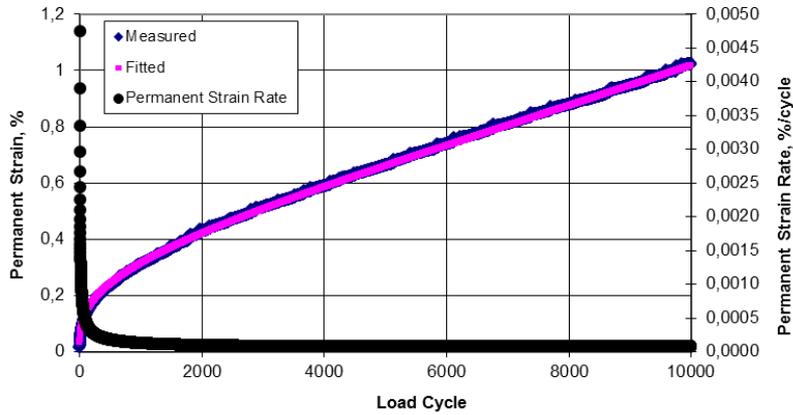
Hubungan antara jumlah *cycle* dengan *permanent strain* baik untuk hasil uji (*measured*) maupun pendekatan dengan persamaan (*fitted*) serta hubungan antara jumlah *cycle* dengan *permanent strain rate* (turunan kedua) diperlihatkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 8.

Berdasarkan gambar terlihat hasil prediksi yang dihasilkan persamaan tersebut baik, dimana kurva '*measured*' dengan '*fitted*' terlihat berhimpit, dan dari perhitungan dengan program diperoleh nilai *error* kurang dari 1%.

Pada temperatur tinggi, yaitu 56°C, contoh uji mengalami keruntuhan saat tercapainya nilai *flow number* baik untuk SMA maupun SMAB.

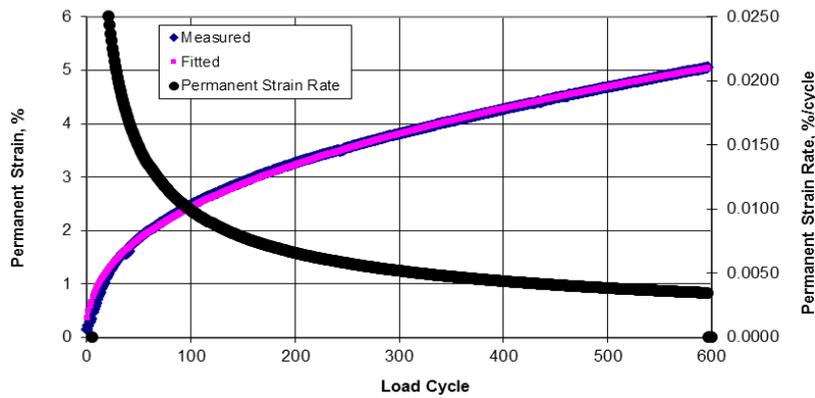
Sementara pada temperatur 35°C dan 45°C, SMA mengalami keruntuhan dan SMAB tidak mengalami keruntuhan setelah tercapainya nilai *flow number*.

**SMA (Temperatur Pengujian 20 °C)**  
**Flow Number = 7500**



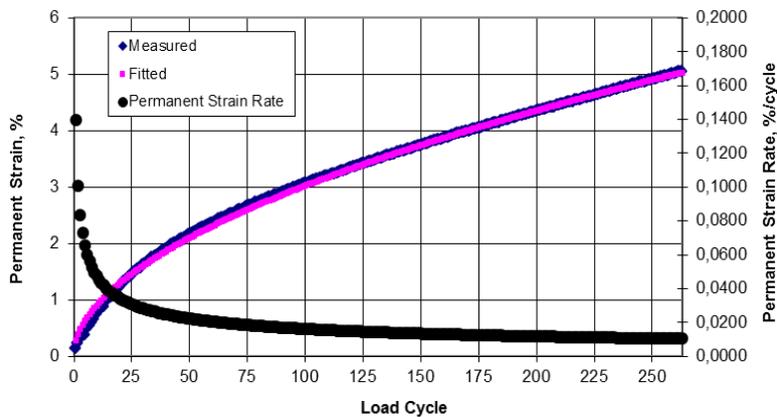
**Gambar 1.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMA Temperatur 20 °C

**SMA (Temperatur Pengujian 35 °C)**  
**Flow Number = 596**

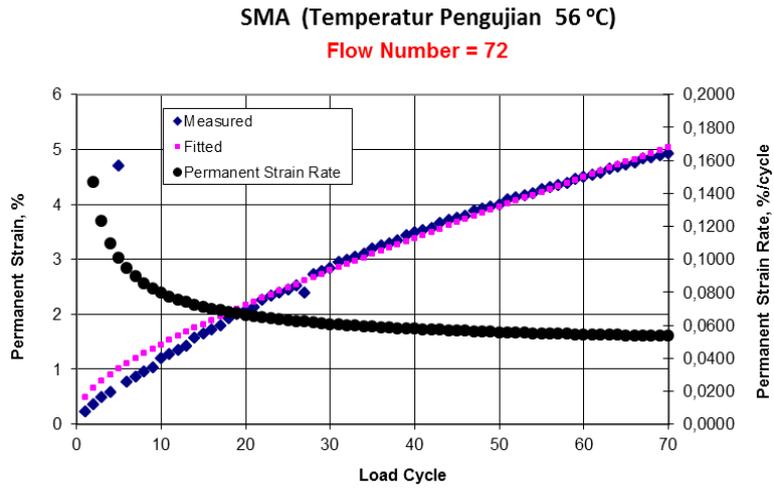


**Gambar 2.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMA Temperatur 35 °C

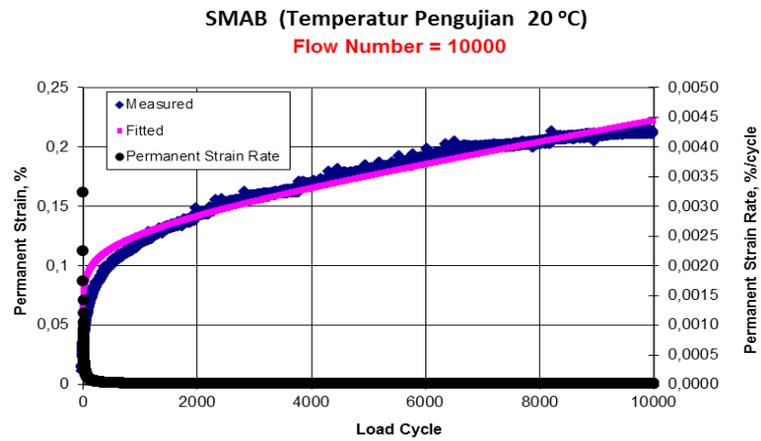
**SMA (Temperatur Pengujian 45 °C)**  
**Flow Number = 263**



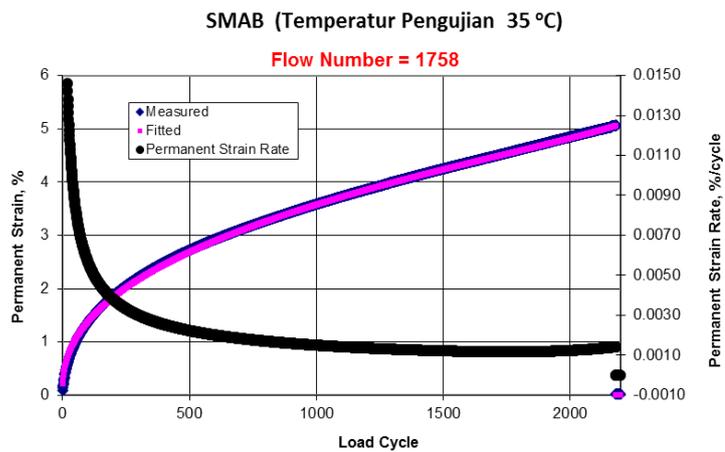
**Gambar 3.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMA Temperatur 45 °C



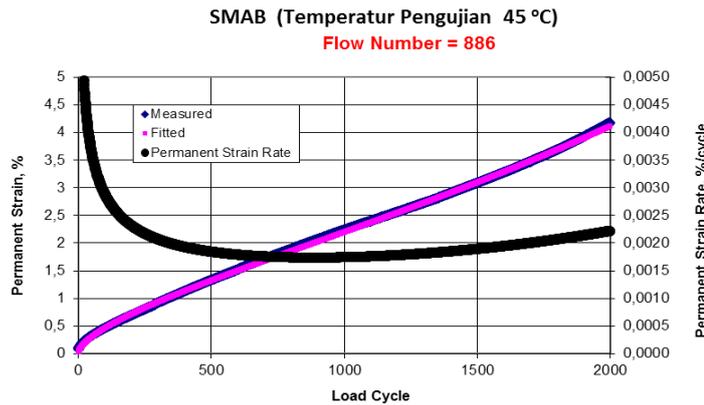
**Gambar 4.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMA Temperatur 56 °C



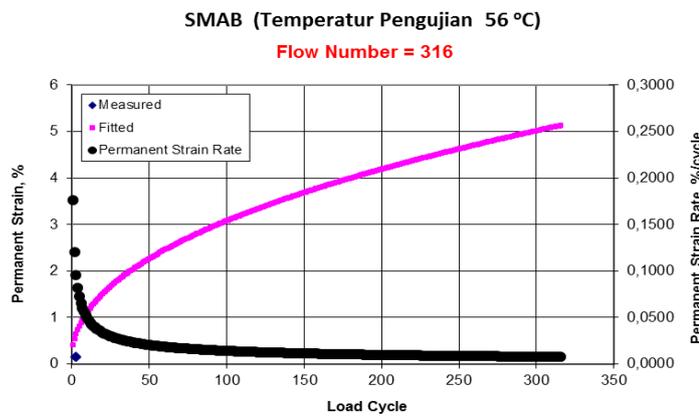
**Gambar 5.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMAB Temperatur 20 °C



**Gambar 6.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent Strain* & *Permanent Strain Rate* untuk SMAB Temperatur 35 °C



**Gambar 7.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent strain* & *Permanent strain Rate* untuk SMAB Temperatur 45 °C



**Gambar 8.** Hubungan *Load Cycle* dengan *Permanent strain* & *Permanent strain Rate* untuk SMAB Temperatur 56 °C

Dari keseluruhan hasil, Gambar 6. dan Gambar 7, yaitu hubungan *load cycle* dengan *permanent strain* & *permanen strain rate* untuk SMAB pada temperatur 35 °C dan 45 °C memberikan bentuk kurva yang sangat jelas, bahwa nilai *flow number* dicapai pada nilai-nilai *permanent strain rate* (turunan kedua) yang minimum. Nilai *flow number* yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dengan alat AMPT ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai *Flow Number* SMA dan SMAB

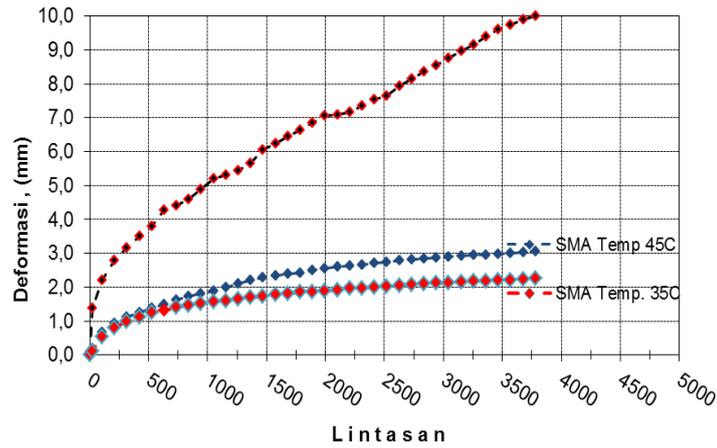
Temperatur (°C)	SMA		SMAB	
	<i>Flow Number</i> ( <i>cycle</i> )	<i>Permanent Strain</i> (%)	<i>Flow Number</i> ( <i>cycle</i> )	<i>Permanent Strain</i> (%)
20	7500	0,839	10000	0,222
35	596	5,036	1758	4,526
45	263	5,024	886	1,993
56	72	5,14	316	5,125

## Pengujian Stabilitas Dinamis

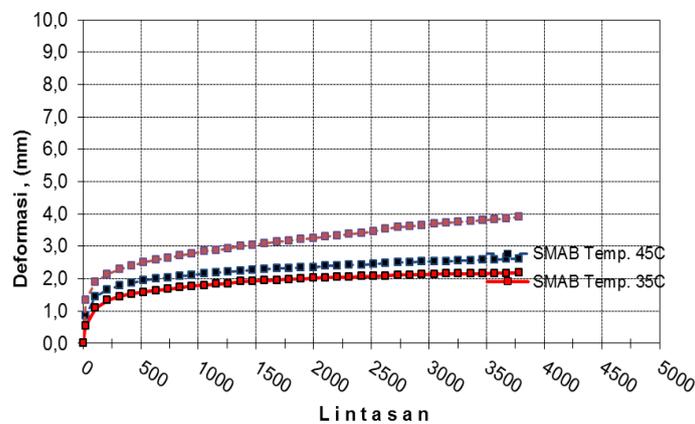
Stabilitas dinamis adalah hubungan antara jumlah lintasan dan deformasi yang terjadi, dan digunakan sebagai parameter ketahanan material terhadap deformasi permanen (*rutting*).

Pada standar Bina Marga (Indonesia 2014), pengujian stabilitas dinamis dilakukan selama 60 menit, dan nilai deformasi pada waktu 60 menit dan 45 menit digunakan untuk menentukan nilai stabilitas dinamis. Sementara pada penelitian ini pengujian diteruskan ke 60 menit kedua dan ke 60 menit ke tiga berikutnya, sehingga diperoleh hasil pengujian stabilitas dinamis seperti pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat nilai stabilitas dinamis akan mengecil dengan naiknya temperatur pengujian. Hubungan antara jumlah lintasan dan deformasi yang terjadi untuk masing-masing temperatur pengujian diperlihatkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



**Gambar 9.** Hubungan Jumlah Lintasan dengan Deformasi, SMA



**Gambar 10.** Hubungan Jumlah Lintasan dengan Deformasi, SMAB

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Stabilitas Dinamis

Pengujian	Jenis Campuran					
	SMA			SMAB		
	35 °C	45 °C	56 °C	35 °C	45 °C	56 °C
<b>60 Menit pertama</b>						
Stabilitas dinamis (lint/mm)	5250	2250	1145	7875	7000	3938
Kecepatan deformasi (mm/m <sup>2</sup> )	0,0080	0,0187	0,0367	0,0053	0,0060	0,0107
<b>60 Menit kedua</b>						
Stabilitas dinamis (lint/mm)	10500	6300	1340	31500	12600	5250
Kecepatan deformasi (mm/m <sup>2</sup> )	0,0040	0,0067	0,0313	0,0013	0,0033	0,0080
<b>60 Menit ketiga</b>						
Stabilitas dinamis (lint/mm)	12600	10500	1800	31500	15750	7000
Kecepatan deformasi (mm/m <sup>2</sup> )	0,0033	0,0040	0,0233	0,0013	0,0027	0,0060

## PEMBAHASAN

### Pengujian *Flow Number*

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa *flow number* diperoleh dari nilai minimum pada turunan pertama hubungan antara deformasi dengan jumlah *cycle* pembebanan. Atau pada saat nilai pada turunan kedua dari negatif berubah ke positif. Namun dari hasil pengujian, khususnya pada temperatur tinggi (56°C) fenomena tersebut belum terlihat karena contoh uji terlanjur runtuh sebagai akibat dari deformasi yang terjadi telah lebih dari 5%. Sementara pada suhu yang lebih rendah, yaitu 35°C dan 45°C, pada material SMAB, pola tersebut baru tampak jelas.

Pada temperatur tinggi (56°C), nilai *flow number* untuk SMA diperoleh 72 *cycle* dan SMAB diperoleh 316 *cycle*, namun berdasarkan perhitungan dengan persamaan Francken diperoleh *flow number* untuk SMA diperoleh 203 *cycle* dan untuk SMAB tidak diperoleh angka *flow number* karena nilai turunan kedua negatif selamanya akibat dari nilai kontanta  $d = 0$ . Hal ini menunjukkan inkonsistensi antara teori pendekatan dengan kenyataan hasil pengujian, sehingga perlu diperjelas definisi *flow number* selain dari nilai turunan kedua, juga ditentukan dari batasan contoh uji runtuh (pada *ruth depth* > 5 %).

Pengujian *flow number* untuk SMAB pada temperatur 20°C, diperoleh angka *flow number* = 10000 *cycle*. Nilai tersebut bukan nilai sebenarnya, tetapi karena batasan pengujian yang dibatasi sampai 10000 *cycle*. Apabila menggunakan persamaan Francken, maka diperoleh *flow number* = 15272 *cycle*. Pada Tabel 3. diperlihatkan perbandingan hasil pengujian AMPT dengan hasil perhitungan berdasarkan algoritma Francken.

**Tabel 3.** Perbandingan Hasil Uji dan Hasil Persamaan Francken

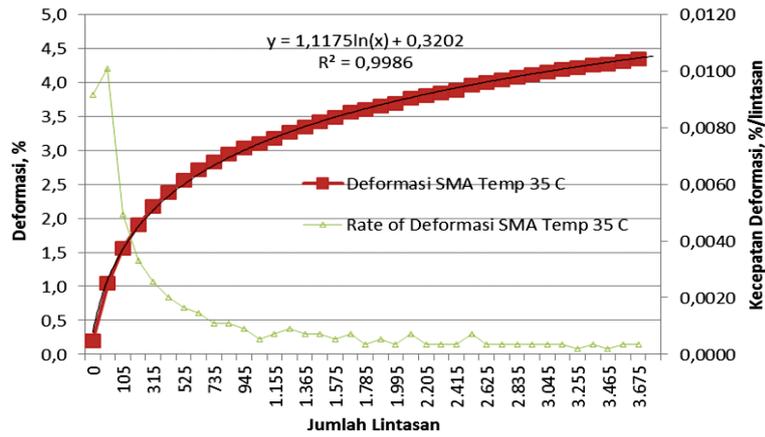
Temperatur (°C)	SMA		SMAB	
	Fn (AMPT) ( <i>cycle</i> )	Fn (Francken) (%)	Fn (AMPT) ( <i>cycle</i> )	Fn (Francken) (%)
20	7500	7500	10000	15272
35	596	-	1758	1758
45	263	-	886	886
56	72	203	316	-

### Pengujian Stabilitas Dinamis

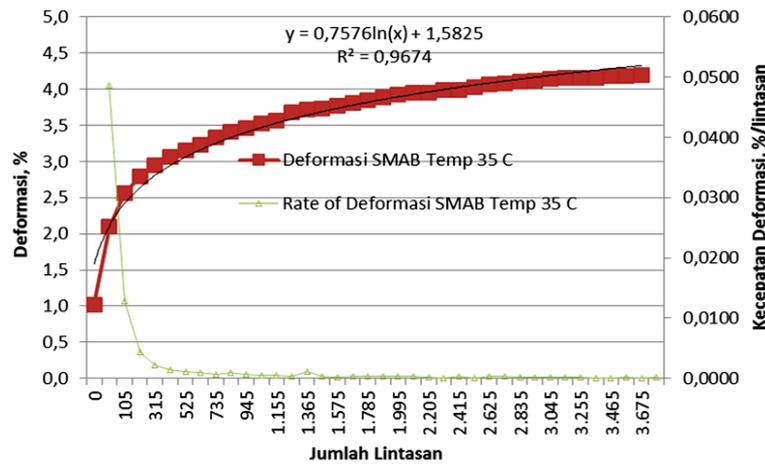
Pada Gambar 12. sampai dengan Gambar 17. diperlihatkan hubungan antara deformasi dengan jumlah lintasan dan kecepatan deformasi dengan jumlah lintasan yang digambarkan dalam satu grafik. Hubungan antara deformasi dengan jumlah lintasan mempunyai korelasi yang baik, dengan nilai  $R^2 > 0,95$ .

Berdasarkan pengamatan terhadap nilai stabilitas dinamis dengan penambahan waktu pengujian dari yang standar 1 x 60 menit menjadi 3 x 60 menit, terlihat nilai stabilitas dinamis meningkat pada setiap tahap. Hal ini mengindikasikan pada pengujian 1 x 60 menit belum dicapai nilai kecepatan defomasi yang relatif konstan, terutama pada temperatur pengujian 35 °C dan 45 °C untuk material SMA.

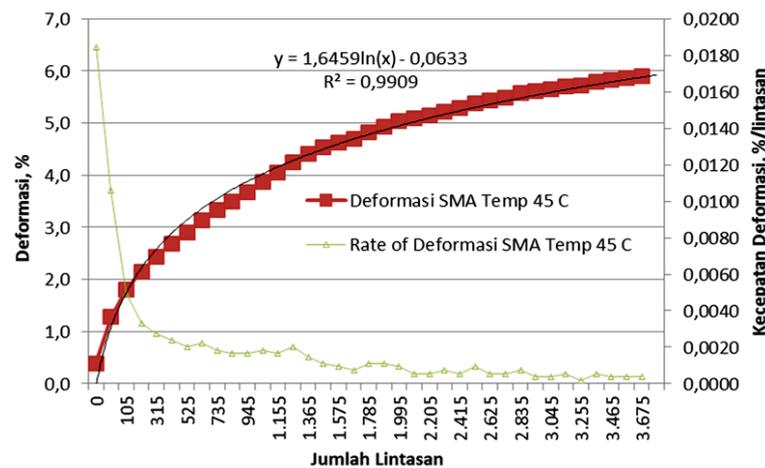
Dengan demikian penggunaan parameter stabilitas dinamis yang mengacu pada waktu 45 menit (945 lintasan) dan waktu 60 menit (1260 lintasan) perlu dikaji lebih dalam jika dilakukan pengujian pada temperatur rendah dan untuk pengujian dengan aspal pen 60 tanpa dimodifikasi.



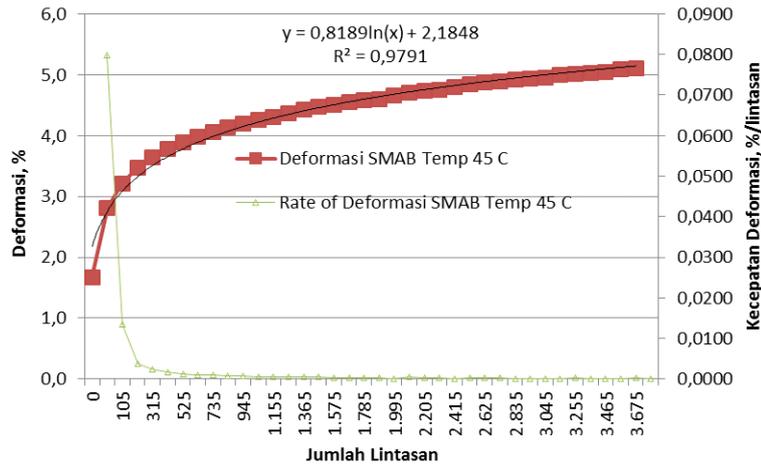
**Gambar 12.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMA Temperatur 35°C)



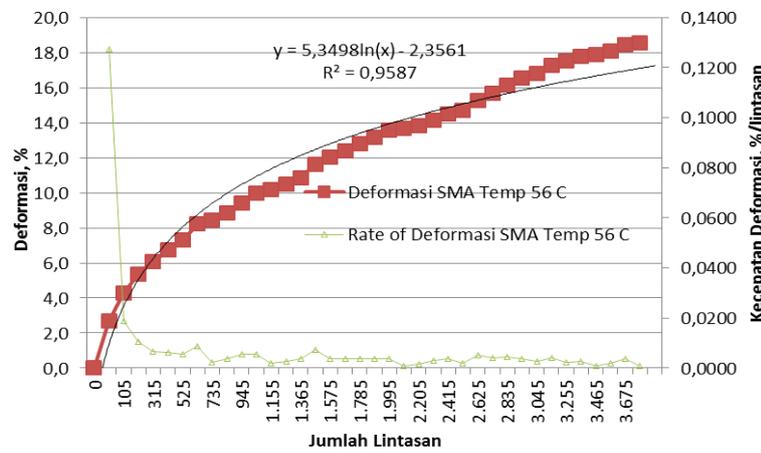
**Gambar 13.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMAB Temperatur 35°C)



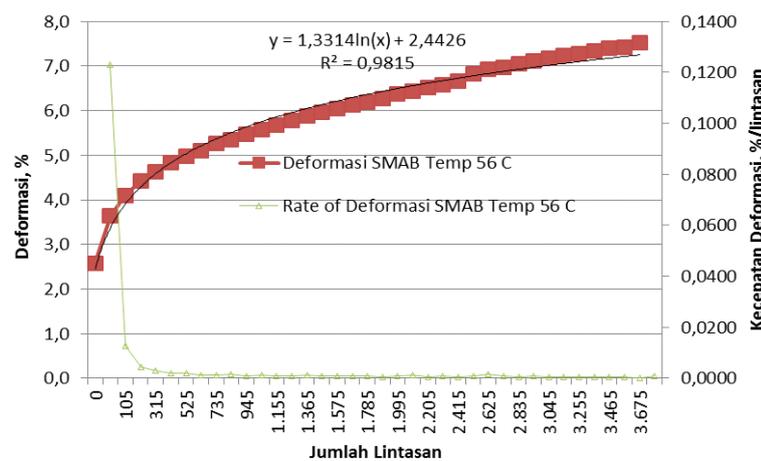
**Gambar 14.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMA Temperatur 45 °C)



**Gambar 15.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMAB Temperatur 45°C)



**Gambar 16.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMA Temperatur 56°C)



**Gambar 17.** Korelasi Hubungan Antara Jumlah Lintasan dengan Deformasi (SMAB Temperatur 56°C)

Pada pengujian *flow number*, kurva hubungan antara deformasi dengan jumlah *cycle* dibuat persamaannya dengan algoritma Francken. Pada pengujian dengan alat *wheel tracking* apabila dicoba menggunakan algoritma Francken dan konstantanya dicari dengan SOLVER akan diperoleh nilai konstanta untuk c dan d semuanya adalah 0.

Hal tersebut menunjukkan persamaan pada pengujian stabilitas dinamis tidak akan pernah menghasilkan nilai minimum pada turunan pertama (kecepatan deformasi). Sehingga konsep deformasi permanen yang terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap *primary*, *secondary* dan *tertiary* tidak terlihat pada pengujian stabilitas dinamis. Terutama tahap ketiga (*tertiary*) dimana merupakan tahap terjadinya deformasi geser (plastis).

Dalam standar (BSI 2008), ketahanan terhadap deformasi dikelompokkan sebagai berikut:

- *large size device* (*axle load* rencana  $\geq 13$  ton); digunakan batasan *ruth depth* dengan batasan kedalaman dari 5 % sampai 20 %,
- *small size device* (*axle load* rencana  $< 13$  ton); digunakan dua batasan, yaitu *maximum slope* mm per 1000 *load cycle* (0,03 sampai 1) dan batasan *rut depth* dari 1 % sampai 5 %.

Pada temperatur tinggi (56 °C) deformasi yang terjadi pada jumlah lintasan 1260 (waktu 1 jam) sudah mencapai angka di atas 5 %. Hal tersebut kemungkinan menjadi dasar penentuan nilai stabilitas dinamis yang menggunakan temperatur pengujian 60 °C dan

waktu pengujian hanya 60 menit (1260 lintasan).

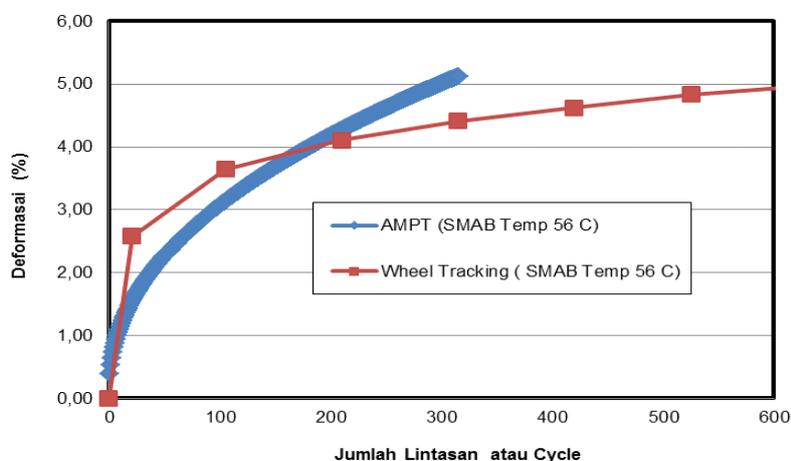
Meskipun demikian perlu dipertimbangkan bahwa untuk aspal pen 60 tanpa modifikasi kedalaman deformasi lebih dari 5% telah terjadi pada jumlah lintasan yang relatif kecil (dalam kasus ini dicapai pada jumlah lintasan 315 atau dalam waktu 15 menit), sementara *slope* yang terjadi masih bertambah atau belum relatif konstan.

### Korelasi *Flow Number* dengan Stabilitas Dinamis

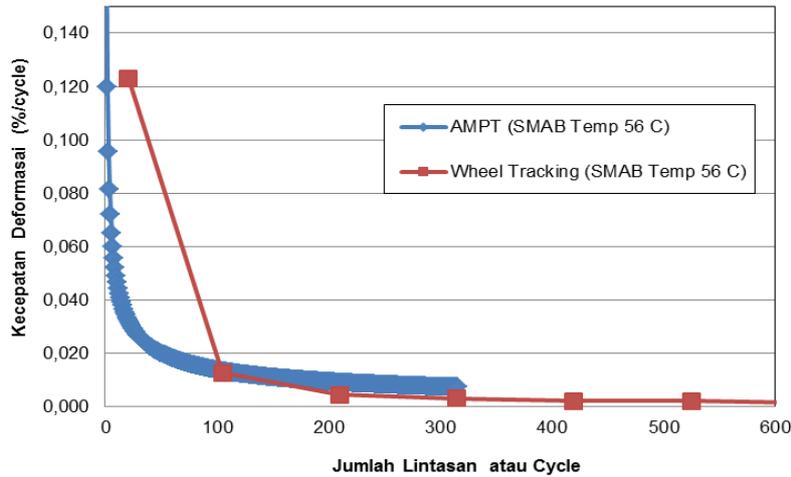
*Flow number* dan stabilitas dinamis umum digunakan sebagai indikasi ketahanan campuran beraspal terhadap defomasi permanen. Gambar 18. dan Gambar 19. memberikan perbedaan perilaku deformasi dan kecepatan deformasi untuk kedua metoda pengujian tersebut.

Dari Gambar 18 terlihat deformasi yang terjadi pada pengujian *wheel tracking* pada awalnya tinggi dan kemudian relatif rata, pola tersebut mirip dengan pola deformasi tahap pertama (*primary*) dan kedua (*secondary*). Demikian juga pada pengujian *flow number*, namun tidak sejelas pada hasil pengujian *wheel tracking*. Pada nilai deformasi di atas 5 %, contoh uji pada pengujian *flow number* sudah runtuh sehingga pengujian otomatis berhenti.

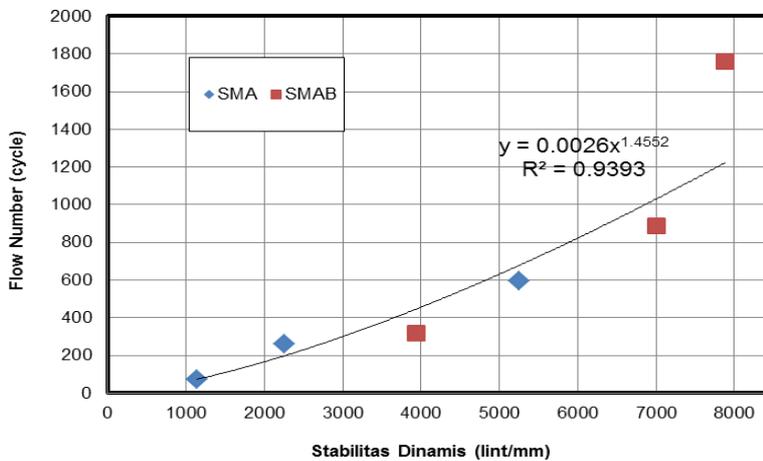
Gambar 19 memperlihatkan pola kecepatan deformasi yang serupa antara pengujian dengan *flow number* dan *wheel tracking*, pada jumlah lintasan lebih dari 100 lintasan, kecepatan deformasi jauh mengecil dan selanjutnya relatif konstan.



**Gambar 18.** Perbandingan Pola Deformasi Pada Pengujian AMPT dengan *Wheel Tracking*



**Gambar 19.** Perbandingan Pola Kecepatan Deformasi Pada Pengujian AMPT dengan *Wheel Tracking*



**Gambar 20.** Korelasi Antara *Flow Number* dan Stabilitas Dinamis

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang telah dibahas sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa *Flow number* diperoleh dari nilai minimum pada turunan pertama hubungan antara deformasi dengan jumlah *cycle* pembebanan. Namun dari hasil pengujian, khususnya pada temperatur tinggi (56 °C) fenomena tersebut belum terlihat karena contoh uji terlanjur runtuh sebagai akibat dari deformasi yang terjadi telah lebih dari 5 %. Sementara pada suhu yang lebih rendah, yaitu 35 °C dan 45 °C, pola tersebut baru tampak jelas. Berdasarkan pengamatan terhadap nilai stabilitas dinamis dengan penambahan waktu pengujian dari yang standar 1 x 60 menit

menjadi 3 x 60 menit, terlihat nilai stabilitas dinamis meningkat pada setiap tahap. Hal ini mengindikasikan pada pengujian 1 x 60 menit belum dicapai nilai kecepatan deformasi yang relatif konstan, khususnya pada temperatur pengujian 35 °C dan 45 °C.

Pola deformasi pada pengujian *flow number* dan stabilitas dinamis, pada awalnya tinggi dan kemudian relatif rata, pola tersebut mirip dengan pola deformasi tahap pertama (*primary*) dan kedua (*secondary*). Namun pada pengujian stabilitas dinamis deformasi tahap ketiga (saat dimulai deformasi geser) tidak dapat ditentukan dengan algoritma Francken seperti pada pengujian *flow number*. Korelasi antara *flow number* dengan stabilitas dinamis, meskipun dengan jumlah data yang terbatas terlihat korelasinya baik. Namun demikian

pengujian *flow number* lebih memberikan keuntungan karena dapat menjelaskan fenomena defromasi geser dengan lebih jelas.

### Saran

Saran yang dapat diberikan untuk melengkapi hasil penelitian ini, diantaranya pengujian *flow number* disarankan dilakukan pada temperatur yang sesuai dengan jenis aspal yang digunakan, sehingga konsep deformasi tahap tiga (deformasi geser) dapat terlihat jelas.

Pengujian stabilitas dinamis sebaiknya dilaksanakan pada temperatur tinggi (60 °C), khususnya untuk aspal yang dimodifikasi.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Pusat litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian PUPR yang telah membantu memberikan fasilitas pengujian.

### DAFTAR PUSTAKA

Affandi, F. 2012. "The Performance of Bituminous Mixes Using Indonesia Natural Asphalt". *Proceeding of 25<sup>th</sup> ARRB Conference*, Perth: ARRB.

American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010.: *Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)*. AASHTO D: TP 79-12 (2010) Washington, DC: AASHTO.

\_\_\_\_\_. 2008. *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt (SMA)*. AASHTO D: M 325-08 (2008). Washington, DC: AASHTO.

Blazejowski K. 2011. *Stone Matrix Asphalt Theory and Practice*.

<http://www.crcpress.com>, (accessed Desember 5th, 2012).

British Standard Institution. 2008. *Bituminous Mixture Material Specification, Part 5 : Stone Mastic Asphalt*. British Standard EN 13108-5 (2008). London: BSI.

Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. Bina Marga . 2014. *Spesifikasi Umum Revisi-3*. Jakarta: Ditjen Bina Marga.

Japan Road Association. 1989. *Manual for Asphalt Pavement*. Tokyo: JRA

Kim Y.R. 2009. *Modeling of Asphalt Concrete*, Reston: American Society of Civil Engineers (ASCE).

Long F.M. 2001. Permanent Deformation of Asphalt Concrete Pavement : A Nonlinear Viscoelastic Approach to Mix Analysis and Design. Ph.D. Thesis. University of California.

Mulyani Y, Solihin A. 2011. *Kajian Pengaruh Lingkungan Terhadap mutu Perkerasan Lentur*. Laporan Penelitian. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Transportation Research Board. 2004 : *Guide for Mechanistic-Emperical Design: Part 3 Design Analysis*, National Cooperative Highway Reseach Program Report. Washington, DC: Transportation Research Board.

Riswan I, Widayat J, Nono . 2011. *Monitoring dan Evaluasi Perkerasan Lentur*, Laporan Penelitian. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Shen S., Yu H. 2012. *An Investigation of Dynamic Modulus and Flow Number Properties of Asphalt Mixture in Washington State*. Final Report TNW2012-02. Seattle: Transportation Northwest, University of Washington.

Suaryana, N. 2006. *Uji Coba Skala Penuh Asbuton Butir di Sulawesi Tenggara*. Laporan Penelitian. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.