

PENENTUAN TITIK KERUNTUHAN PADA HASIL UJI *FATIGUE* CAMPURAN ASPAL TERTENTU MENGGUNAKAN METODE *FLOW NUMBER*

Cahya Esther P.Wulan¹, Ary Setyawan², F. Pungky Pramesti.²

¹Mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

ABSTRAK

Penentuan titik keruntuhan pada data uji *fatigue* campuran aspal dengan *stress-controlled mode* lebih sulit ditentukan namun memiliki beberapa versi metode. Tujuan studi ini adalah menentukan titik keruntuhan suatu campuran aspal tertentu dengan Metode *Flow Number*. *Marshall test* digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan OBC dan campuran terbaik sebelum melakukan uji *fatigue*. Pengujian *fatigue* mode *stress-controlled* dilakukan dalam suhu 20^oC dan frekuensi sebesar 10 Hz dengan tiga variasi pembebanan; 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa. Data uji *fatigue* campuran beraspal tersebut akan dianalisis menggunakan beberapa pendekatan ilmiah Metode *Flow Number* antara lain; *Three-Stages Model*, *FNest Model*, *Francken Model*, dan *Stepwise Method*. Campuran beraspal modifikasi EVA dengan OBC sebesar 6.5% terpilih untuk pengujian *fatigue*. Hasil analisis FN dengan pembebanan 500 kPa, 600 kPa, 700 kPa berturut-turut sesuai dengan data uji *fatigue* antara lain; *Three-Stages Model* 6621, 4841, 611; *FNest Model* 4271, 3266, 537; *Francken Model* 3401, 2431, 421; serta *Stepwise Method* 6901, 6841, 1291. Keempat model pendekatan menunjukkan bahwa secara umum makin besar pembebanan, makin kecil FN yang dihasilkan. Sedangkan, hasil FN yang paling sesuai secara teoritis maupun grafis dihasilkan dari pendekatan *Three-Stages Model* dan *Stepwise Method* yang terjadi di area yang mengalami kenaikan akumulatif strain cukup ekstrem setelah kenaikan yang relatif konstan.

Kata kunci : Data Uji *Fatigue*, *Flow Number*, Titik Keruntuhan

ABSTRACT

The failure point of the asphalt mixture's fatigue test result performed in controlled stress mode is difficult to determine. However, several methods from empirical studies are available to solve this problem. The objectives of this study are to determine the fatigue failure point of indirect tensile fatigue test results using Flow Number's Method and to determine the best Flow Number's model for the asphalt mixtures tested. In order to achieve these purposes, firstly the best asphalt mixture was selected out of three asphalt mixtures, based on their Marshall properties. Next, The Indirect Tensile Fatigue Test was performed upon the chosen asphalt mixture. The stress-controlled fatigue tests were conducted at 20 °C of temperature and 10 Hz of frequency, applying three loads, 500 kPa; 600 kPa; and 700 kPa. The last step was applying Flow Number methods, namely Three-Stages Model, FNest Model, Francken Model, and Stepwise Method on the result of fatigue tests, to determine the failure point of the specimen. The chosen asphalt mixture is Modified EVA asphalt mixture with 6.5% of OBC (Optimum Bitumen Content). Furthermore, the result of this study shows the failure point of Modified EVA at 500 kPa, 600 kPa, and 700 kPa of Three-Stages Model are 6621, 4841, 611; FNest, are 4271, 3266, 537; Francken are 3401, 2431, 421; and Stepwise Method are 6901, 6841, 1291, respectively. These different results show that the bigger the loading, the smaller the number of cycles to failure. Whereas, the most recommended FN result shown by Three-Stages Model and Stepwise Method which exhibit an extreme increase after a constant development of accumulated strain.

Keywords : Failure Point, Fatigue Test Result, Flow Number

PENDAHULUAN

Uji *Fatigue* menggunakan pembebanan *stress-controlled* memiliki periode keruntuhan yang pendek. Hal tersebut menyebabkan titik keruntuhan (*failure point*) dengan pembebanan

tersebut sulit untuk didefinisikan. Para peneliti mengembangkan salah satu metode penentuan titik keruntuhan suatu campuran aspal yaitu Metode *Flow Number*. Metode *Flow Number* merupakan salah satu hasil dari penelitian NCHRP mengenai kinerja evaluasi perkerasan. Beberapa peneliti terdahulu berpendapat melalui setiap penelitiannya bahwa Metode *Flow Number* merupakan metode yang lebih baik dari metode lain dalam penentuan *failure point* suatu campuran aspal serta merupakan metode yang memiliki korelasi paling baik dengan keadaan lapangan (Witzcak et al, 2002; Kalaoush K.E, 2002; Zhou dan Scullion, 2003). Studi dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik keruntuhan pada data uji *fatigue* campuran aspal tertentu menggunakan metode *Flow Number*. Serta menganalisis model pendekatan yang sesuai dengan teori dan grafis berdasarkan data uji *fatigue* yang digunakan.

DASAR TEORI

Pengujian *Fatigue* memiliki dua mode pengujian yaitu, *stress-controlled* dan *strain-controlled*. *Strain-Controlled*, menurut European Norm, memiliki titik keruntuhan ketika *initiation stiffness* telah mengalami reduksi sebesar 50%. *Stress-Controlled* memiliki periode *crack propagation* yang pendek, sehingga titik keruntuhan dekat dengan momen ketika lapis perkerasan mengalami kerusakan total. Salah satu metode yang dikembangkan untuk mengetahui *failure point* campuran aspal pada uji *fatigue* dengan *stress-controlled* adalah Metode *Flow Number* (FN).

Flow Number (FN) merupakan salah satu metode yang direkomendasikan oleh *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) dalam *Simple Performance Test* (SPT) yang berisi *Flow Time*, *Flow Number*, dan Uji Dinamik Modulus (Witzcak et al, 2002). Definisi *flow number* adalah suatu titik yang terjadi pada saat inisiasi fase *Tertiary* dalam mekanisme keruntuhan *fatigue* dengan mode *stress-controlled*. Definisi lain dari FN adalah suatu titik (*cycles number*) pada saat *plastic shear deformation* terjadi. Sederhananya, FN merupakan *failure point* yang dicari. FN didapat dari uji laboratorium *Repeat Load Permanent Deformation* (RLPD). Hasil dari uji RLPD biasanya diwujudkan dengan grafik hubungan antara kumulatif *permanent strain* (ϵ) dengan *cycles* (N). Hubungan tersebut terbagi atas tiga zona deformasi yaitu; *primary-secondary-tertiary*. Pada zona *Primary* terdapat penurunan *strain rate* terhadap waktu. Dengan pembebanan berulang terus menerus menuju perubahan konstan *strain rate* terhadap waktu, zona ini disebut dengan zona *Secondary*. Memasuki zona *Tertiary* akan terjadi kenaikan drastis *strain rate* terhadap waktu (Biligiri et al, 2001). Banyak peneliti mencoba mengembangkan pendekatan-pendekatan ilmiah untuk menemukan *Flow Number* suatu campuran beraspal. Pada penelitian ini digunakan empat jenis model pendekatan *Flow Number* yaitu, *Three-Stages Model*, *FNest Model*, *Francken Model*, dan *Stepwise Method*. Model-model pendekatan tersebut membuat hubungan antara *permanent strain* (ϵ_p) dan jumlah repetisi beban (N). Berikut penjelasan singkat mengenai model pendekatan yang akan digunakan dalam studi ini.

Three-Stages Model

Three-Stages Model menguraikan tiga fase keruntuhan yaitu; *Primary Stage*, *Secondary Stage*, dan *Tertiary Stage*. Setiap fase dalam pendekatan ini memiliki model persamaannya masing-masing. Model persamaan pada tiap fase pendekatan *Three-Stages Model* diuraikan pada Persamaan 1-3.

Primary stage :

$$\epsilon_p = aN^b; N < N_{PS} \dots \dots \dots (1)$$

Secondary stage :

$$\epsilon_p = \epsilon_{PS} + c(N - N_{PS}); N_{PS} \leq N < N_{ST} \dots \dots \dots (2)$$

Tertiary Stage :

$$\epsilon_p = \epsilon_{ST} + d(e^{f(N-N_{ST})} - 1); N \geq N_{ST} \dots \dots \dots (3)$$

(Sumber : M.Ameri et al, 2014)

N_{ST} adalah jumlah repetisi beban yang sesuai dengan inisiasi *secondary stage*, N_{PS} adalah jumlah repetisi beban yang sesuai dengan inisiasi *tertiary stage*. Sedangkan, ϵ_{ST} merupakan *permanent strain* yang sesuai dengan inisiasi *secondary stage*, ϵ_{PS} merupakan *permanent strain* yang sesuai dengan inisiasi *tertiary stage*, serta a, b, c, d, f merupakan konstanta material. N_{ST} adalah FN pada penelitian ini.

FNest Model

FNest Model dikembangkan oleh Archilla dan Diaz (2011). Parameter α , β , γ dicari untuk membuat model *permanent strain* terhadap *cycle*, selanjutnya parameter tersebut digunakan untuk menghitung nilai FN data hasil uji *FNest Model* menggunakan Persamaan 4-5.

$$\epsilon_p = \frac{1}{\beta} \left[-\ln \left(1 - \frac{N}{\gamma} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \dots \dots \dots (4)$$

$$F_N = \gamma \left[1 - \exp \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \right] \dots \dots \dots (5)$$

(Sumber : Goh, 2009)

Francken Model

Francken Model merupakan model komposit yaitu perpaduan antara *power part* dan *exponential component* (Biligiri, 2007). Pendekatan *Francken Model* didefinisikan pada Persamaan 6, dengan A, B, C, D merupakan konstanta regresi.

$$\epsilon_p(N) = AN^B + C(e^{DN} - 1) \dots \dots \dots (6)$$

(Sumber : Biligiri, 2007)

Turunan pertama dari Persamaan 6 akan menghasilkan *strain slope*. Nilai minimum dari *strain slope* ini biasanya merupakan peralihan nilai negatif ke nilai positif dari Turunan kedua Persamaan 6. Titik tersebut merupakan FN yang dicari. Turunan kedua *Francken Model* ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\frac{d^2 \epsilon_p}{dN^2} = (A \times B (B - 1) \times N^{(B-2)}) + (C \times D^2 \times e^{DN}) \dots \dots (7)$$

(Sumber : Pramesti, 2013)

Stepwise Method

Stepwise Method merupakan metode yang menggunakan metode tradisional, menemukan titik minimum pada kurva hubungan antara strain rate dengan jumlah repetisi beban (*cycles*), serta menekankan pada teknik *smoothing* yang digunakan untuk memperoleh FN (Goh, 2009). Langkah pertama adalah dengan memperhalus kurva hubungan deformasi permanen terukur dengan jumlah repetisi beban. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurutkan data dari yang terbesar ke yang terkecil. Dengan catatan, bahwa asumsi *permanent strain* senantiasa meningkat selama pembebanan. Kedua, menghitung *strain rate* berdasarkan data yang telah dimodifikasi sebelumnya. *Strain Rate* dihitung menggunakan Persamaan 8. Ketiga, menentukan *flow number* dari nilai minimum *strain rate* dengan memadukan kurva *Permanent strain vs cycles* dan *Strain Rate vs Cycles*.

$$\text{Strain Rate} = \frac{\epsilon_p}{N} \dots \dots \dots (8)$$

(Sumber : Goh, 2009)

BAHAN DAN METODE

Campuran aspal serta gradasi yang diteliti dalam studi ini adalah campuran aspal yang sama dengan yang diteliti oleh Michael dan Nugroho (2016). Dalam penelitian agregat batu pecah dengan butir maksimal sebesar 19 mm (3/4 inch). Adapun bahan pengikat untuk masing-masing campuran adalah aspal penetrasi 60/70, aspal penetrasi 60/70 yang dimodifikasi dengan EVA (*Ethylene Vinyl Propilene*) – selanjutnya disebut Aspal modifikasi EVA --, dan SBS (*Styrene-Butadiene-Styrene*). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan tebal ± 63.5 mm dan diameter ± 100 mm.

Ketiga jenis campuran aspal tersebut diuji dengan alat uji *Marshall* untuk mendapatkan masing-masing OBC (*Optimum Bitument Content*) nya. Disamping itu, uji ini juga dilakukan untuk mendapatkan karakteristik *Marshall* masing-masing campuran aspal sehingga dapat ditentukan jenis campuran aspal yang terbaik dari ketiganya. Campuran aspal yang terbaik inilah yang akan digunakan untuk pengujian *fatigue*. Pengujian *fatigue* menggunakan alat uji

Indirect Tensile Fatigue Test dengan mode *stress-controlled* dilakukan pada suhu 20°C dan frekuensi 10 Hz mengikuti pedoman BS EN-12697-24. Pembebanan yang akan diaplikasikan terhadap benda uji adalah sebesar 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa. Hasil uji berupa jumlah repetisi beban (*cycles*) serta *output* lain yang berhubungan dengan campuran aspal seperti *Resilient Modulus*, *permanent strain*, dan deformasi. Dari data uji *fatigue* campuran aspal dilakukan analisis untuk menentukan *failure point* dengan metode *Flow Number*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Merujuk pada hasil penelitian Michael dan Nugroho (2016), dari ketiga campuran yang diteliti, diperoleh nilai OBC yang sama untuk ketiga campuran aspal yaitu sebesar 6.5%. Campuran aspal modifikasi EVA memiliki karakteristik *Marshall* yang paling baik diantara ketiga campuran aspal yang diuji, sehingga, campuran aspal modifikasi EVA yang selanjutnya akan diuji karakteristik *fatigue* nya dengan uji *Indirect Tensile Fatigue Test*. Hasil uji *fatigue* kemudian diolah untuk menentukan *failure point* menggunakan empat model pendekatan Metode *Flow Number* yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut hasil kalkulasi pendekatan Metode *Flow Number* untuk masing-masing model pendekatan.

THREE-STAGES MODEL

Pada penelitian ini, konstanta material diperoleh menggunakan bantuan *tools Solver* pada Ms. Excel. Berikut penjelasan tiap fase *Three-Stages Model* :

Primary Stage

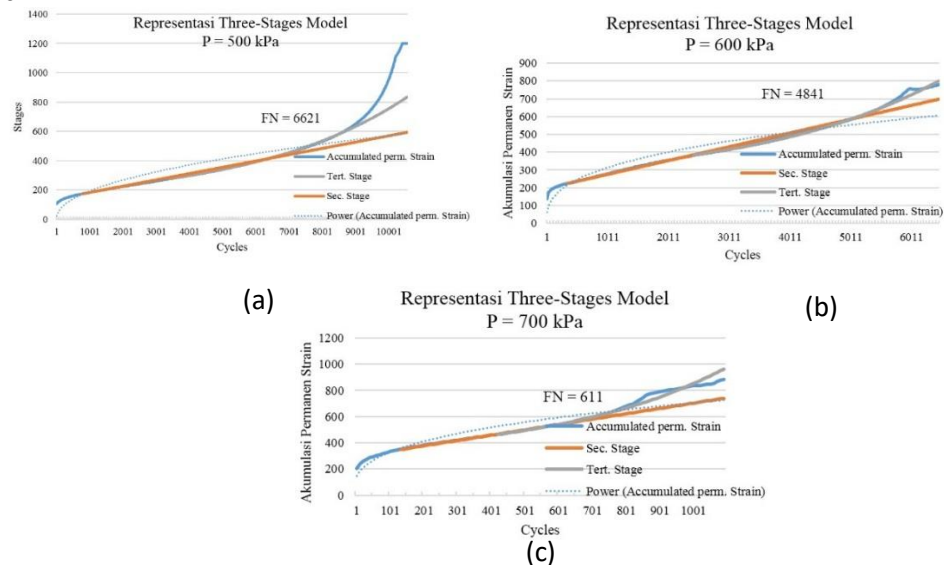
Awal dari pendekatan model ini adalah dengan menemukan persamaan berdasarkan *Power Law* untuk membuat model cukup sesuai dengan konstanta material *a* dan *b*.

Secondary Stage

Konstanta material pada fase *Secondary Stage* digunakan untuk membuat model pendekatan kedua sesuai Persamaan 2. Dengan metode *trial-error* dicobakan N_{PSx} untuk dimodelkan menurut Persamaan 2 hingga menemukan titik yang paling berhimpitan dengan hasil uji *fatigue*. N_{PS} merupakan awal dari fase *Secondary Stage*. Hasil dari pengolahan data yang didapat berturut-turut untuk 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa pada *cycles* 761, 341, dan 121.

Tertiary Stage

Cara yang serupa dengan penentuan N_{PS} digunakan untuk memperoleh N_{ST} . Perolehan N_{ST} inilah yang menjadi akhir dari *Secondary Stage* serta merupakan awal dari *Tertiary Stage*. N_{ST} yang berupa *cycles* juga merupakan titik inisiasi keretakan pada benda uji *fatigue*. Hasil N_{ST} dari pengolahan data berturut-turut; 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa pada *cycles* 6621, 4841, dan 611.



Gambar 1 Representasi *Three-Stages Model* (a) P = 500 kPa; (b) P = 600 kPa; (c) P = 700 kPa

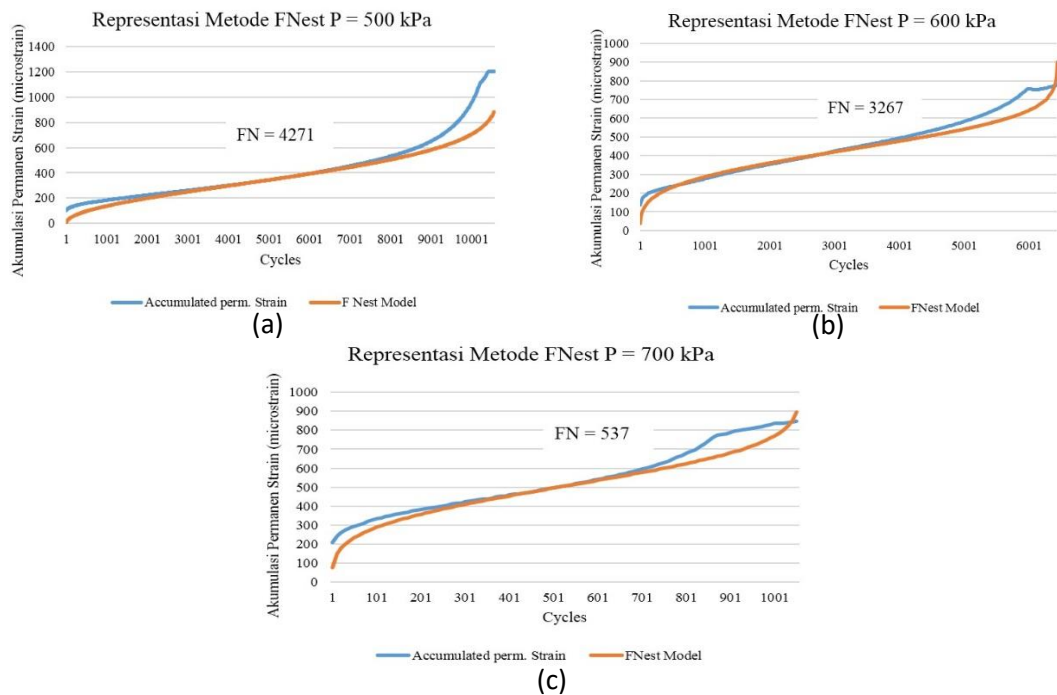
Tabel 1 Konstanta Material *Three-Stages Model*

No	P (kPa)	A	B	C	d	f	N (PS)	N (ST)
1	500	22.184	0.7647	4.29134E-06	156.7793	0.000212	761	6621
2	600	61.064	0.3546	7.75801E-06	152.1617	0.000328	341	4841
3	700	145.43	0.3419	4.06383E-05	166.8984	0.00204	121	611

Tabel 2 Model Pendekatan *Three-Stages Model*

P (kPa)	Primary Stage	Secondary Stage	Tertiary Stage
500	$\epsilon_p = 22.184N^{0.7647}$	$\epsilon_p = \epsilon_{PS} + 4.29134E - 06(N - 761)$	$\epsilon_p = \epsilon_{ST} + 156.7793(e^{0.000212(N-6621)} - 1)$
600	$\epsilon_p = 61.064N^{0.3546}$	$\epsilon_p = \epsilon_{PS} + 7.75801E - 06(N - 341)$	$\epsilon_p = \epsilon_{ST} + 152.1617(e^{0.000328(N-4841)} - 1)$
700	$\epsilon_p = 145.43N^{0.3419}$	$\epsilon_p = \epsilon_{PS} + 4.06383E - 05(N - 611)$	$\epsilon_p = \epsilon_{ST} + 166.8984(e^{0.00204(N-611)} - 1)$

FNEST



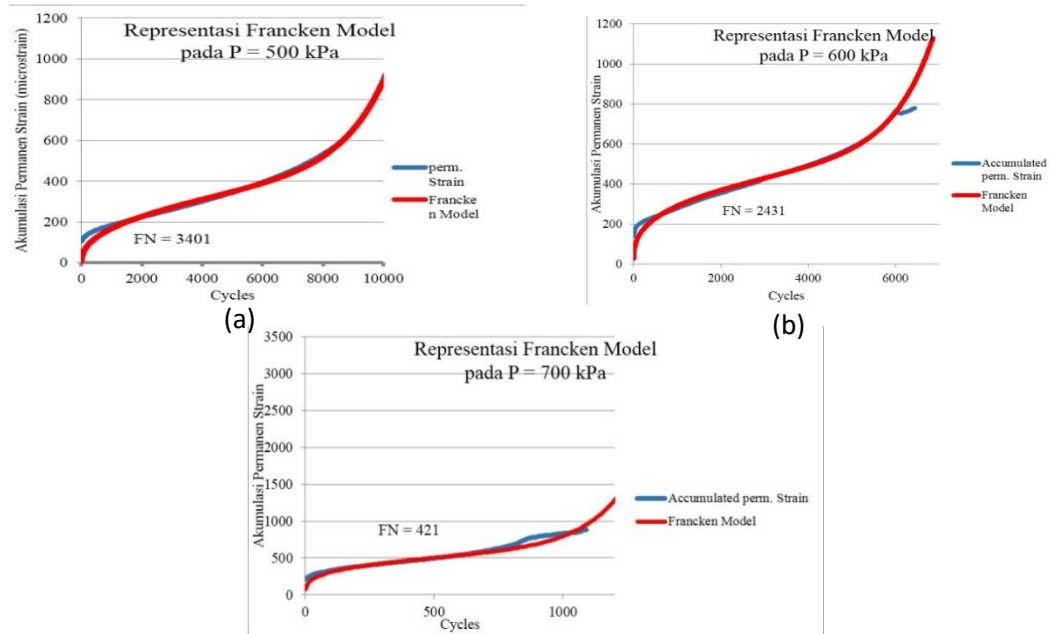
Gambar 2 Representasi *FNest Model* pada (a) P = 500 kPa; (b) P = 600 kPa; (c) P = 700 kPa

Tabel 3 Parameter Distribusi Probabilitas *FNest Model*

No	P (kPa)	α	β	γ	FN	Model
1	500	2.0387	0.00232	10700	4271	$\epsilon_p = \frac{1}{0.00232} \left[-\ln \left(1 - \frac{N}{10700} \right) \right]^{\frac{1}{2.0387}}$
2	600	3.4373	0.00208	6432.181	3267	$\epsilon_p = \frac{1}{0.00208} \left[-\ln \left(1 - \frac{N}{6432.181} \right) \right]^{\frac{1}{3.4373}}$
3	700	3.4257	0.00177	1058.899	537	$\epsilon_p = \frac{1}{0.00177} \left[-\ln \left(1 - \frac{N}{1058.899} \right) \right]^{\frac{1}{3.4257}}$

Tabel 3 menunjukkan distribusi probabilitas pada pendekatan *FNest Model* untuk menentukan FN. FN dalam pendekatan ini diperoleh pada kalkulasi Persamaan (5) dengan masing-masing parameter distribusi probabilitas yang diperoleh dengan bantuan fungsi *Solver* pada Ms. Excel. Gambar 2 merupakan hasil model *permanent strain* sesuai dengan Persamaan (4). Perhitungan FN *failure point* untuk setiap pembebanan pada model pendekatan FNest berturut-turut pada 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa jatuh pada repetisi beban ke; 4271, 3267, dan 537.

FRANCKEN MODEL



Gambar 3 Representasi *Francken Model* (a) P = 500 kPa; (b) P = 600 kPa; (c) P = 700 kPa

Tabel 4 Konstanta Regresi *Francken Model*

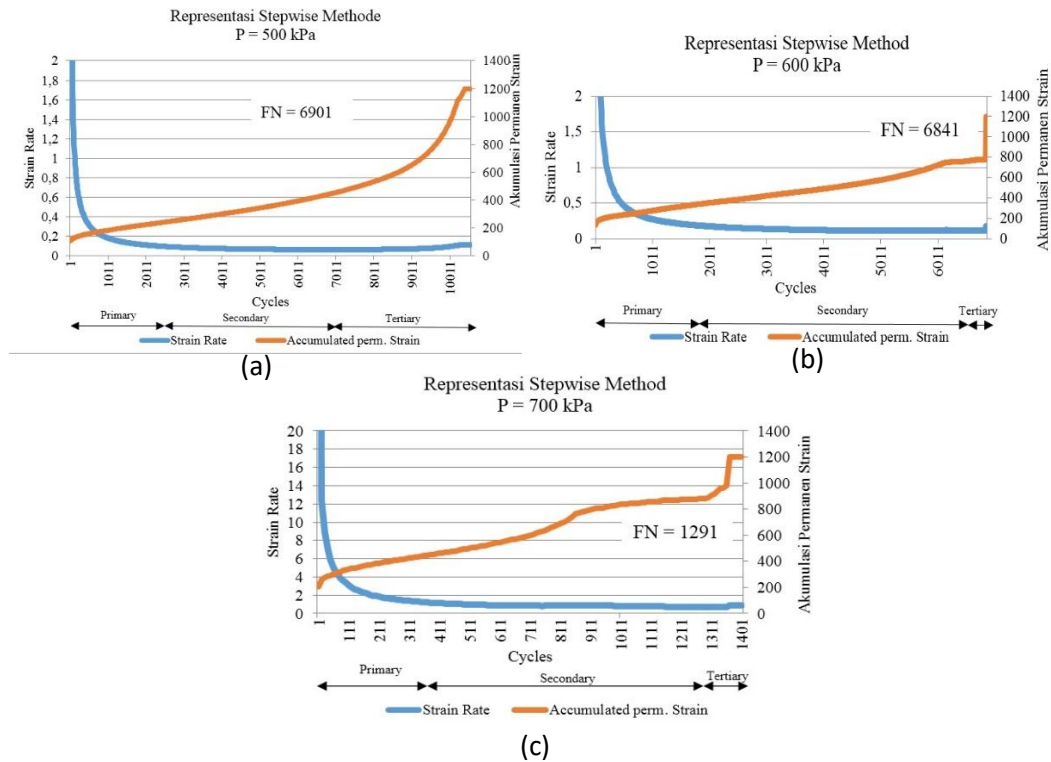
P (kPa)	A	B	C	D	FN	Model ϵ_p
500	8.3668	0.4328	1.2298	0.000688125	3401	$\epsilon_p(N) = 8.3668N^{0.4328} + 1.2298(e^{0.000688125N} - 1)$
600	26.955	0.3429	0.8997	0.001087362	2431	$\epsilon_p(N) = 26.955N^{0.3429} + 0.8997(e^{0.001087362N} - 1)$
700	78.5462	0.2955	1.15499	0.00610225	421	$\epsilon_p(N) = 78.5462N^{0.2955} + 1.15499(e^{0.00610225N} - 1)$

Perolehan nilai FN didapat dari turunan pendekatan *Francken Model*. *Francken Model* juga membuat model *permanent strain* yang cukup mendekati data hasil uji. Dari model pendekatan tersebut didapat konstanta regresi yang dapat membentuk persamaan dengan struktur seperti Persamaan (6). Turunan pertama dari persamaan *permanent strain* menghasilkan *strain slope*. Nilai minimum *strain slope* merupakan FN pada pendekatan *Francken Model*. *Strain slope* minimum ini juga bertepatan dengan perpindahan antara sumbu negatif ke sumbu positif pada turunan kedua pendekatan *Francken Model*. Sehingga, *failure point* untuk pendekatan *Francken Model* pada 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa masing-masing 3401, 2431, dan 421.

STEPWISE METHOD

Pembagian fase keruntuhan pada *Stepwise Method* hampir memiliki kesamaan tahap dengan *Francken Model*. *Stepwise Methode* memiliki tiga fase yaitu; *Primary Stage*, *Secondary Stage*, dan *Tertiary Stage*. Pada saat *strain rate* menurun curam, yaitu mulai dari awal pengujian hingga

pada *cycles* N, terjadi fase *Primary Stage*. Inisiasi fase kedua terlihat ketika garis grafik *strain rate* terlihat relatif datar. Kedataran garis ini tidak sepenuhnya datar, namun mengalami penurunan yang jaraknya relatif kecil. Fase *Secondary Stage* terus berlangsung hingga *strain rate* mulai naik. Kenaikan *strain rate* ini merupakan inisiasi fase *Tertiary Stage* yang merupakan inisiasi keretakan pada *Stepwise Method*. FN pada pendekatan ini terletak pada minimum *strain rate*. Sehingga, *failure point* untuk *Stepwise Method* pada 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa berturut-turut sebesar; 6901, 6841, 1291.



Gambar 4 Representasi *Stepwise Method* (a) P = 500 kPa; (b) P = 600 kPa; (c) P = 700 kPa

Tabel 5 FN untuk *Stepwise Method*

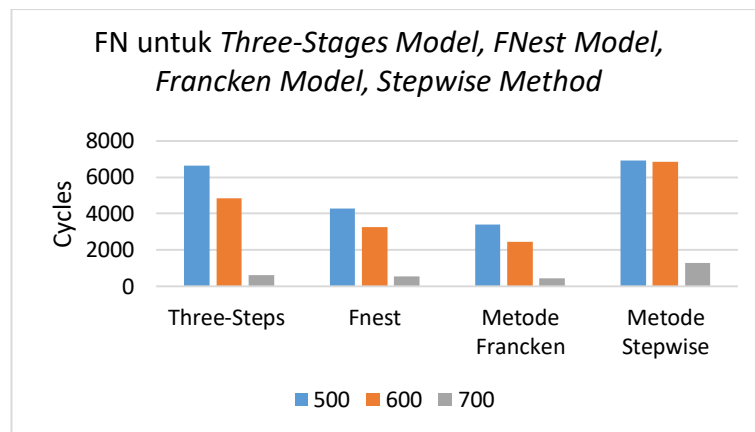
P	Min. $\dot{\epsilon}$	FN
500	0.6477	6901
600	0.1136	6841
700	0.68397	1291

Keempat metode memiliki kesamaan tren yaitu semakin besar beban yang diterapkan maka semakin besar nilai FN semakin menurun. Perbandingan pendekatan perolehan FN untuk tiap metode dirangkum pada Tabel 6 dan Gambar 5. Selain itu, setiap metode memiliki hasil FN yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena perbedaan variabilitas yang tinggi (Ameri, 2014). Setiap model memiliki kriteria keruntuhan yang beragam tergantung kepada persamaan yang digunakan pada setiap model. Persamaan tiap model mengandung variabel bebas dan variabel terikat yang berbeda-beda. Variabel yang berbeda menghasilkan *output*, dalam hal ini FN, yang tentunya berbeda pula.

Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan dengan *Stepwise Method* memiliki perolehan FN tertinggi, sedangkan *Francken Model* memiliki hasil pendekatan FN dengan

jumlah repetisi beban paling sedikit. Namun, pada *Francken Model* pemeriksaan terhadap indikasi kerusakan perkerasan dapat dilakukan lebih awal, sehingga langkah pemeliharaan dini dapat segera dilakukan.

Apabila diamati secara grafis hasil FN dari *Francken Model* terletak di tengah data. Secara grafis letak FN *Francken Model* pada penelitian ini masih berada dalam jangkauan fase *secondary*. Hal ini terjadi pula dalam perhitungan menggunakan *FNest Model*. Perbedaan terlihat pada saat penggunaan *Three-Stages Model* dan *Stepwise Method*. Pada pengolahan data menggunakan kedua metode tersebut, hasil FN terletak di sekitar area yang mengalami kenaikan akumulatif *strain* cukup ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa hasil FN menggunakan metode *Three-Stages Model* dengan *Stepwise Method* lebih dekat dengan area *tertiary*. Sehingga, secara grafis *Three-Stages Model* dan *Stepwise Method* lebih cocok digunakan untuk penentuan FN pada pengujian *fatigue* dengan campuran aspal modifikasi EVA dalam suhu 20⁰C dan frekuensi sebesar 10Hz.



Gambar 5 FN untuk *Three-Stages Model*, *FNest Model*, *Francken Model*, dan *Stepwise Method*

Tabel 6 Rekap FN untuk *Three-Stages Model*, *FNest Model*, *Francken Model*, dan *Stepwise Method*

P (kPa)	500	600	700
FN Three-Steps	6621	4841	611
FNest	4271	3266	537
Metode Francken	3401	2431	421
Metode Stepwise	6901	6841	1291

KESIMPULAN

Pada penelitian ini beberapa hal dapat diketahui antara lain :

- Hasil analisis *failure point* data uji *fatigue* campuran aspal modifikasi EVA menggunakan empat model pendekatan Metode *Flow Number* pada pembebanan 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa adalah sebagai berikut; *Three-Stages Model* keruntuhan terjadi pada 6621, 4841, 611; *FNest Model* keruntuhan terjadi pada 4271, 3266, dan 537; *Francken Model* runtuh pada 3401, 2431, 421; serta *Stepwise Method* runtuh pada 6901, 6841, 1291. Dari hasil tersebut diketahui bahwa semakin besar *stress* yang diterapkan menghasilkan tren menurun terhadap hasil FN.
- Fnest Model*, *Stepwise Method*, *Three-Stages Model*, serta *Francken Model* dapat diterapkan untuk penentuan *flow number* (FN) pada uji *fatigue* campuran aspal modifikasi EVA. Keempat metode memiliki tahapan keruntuhan yaitu; *Primary Stage*, *Secondary Stage*, dan *Tertiary Stage*. Fase keruntuhan pada setiap metode memiliki kriteria berbeda yang mempengaruhi hasil FN.

- c. Menurut hasil pengolahan data uji *fatigue* campuran aspal modifikasi EVA pada suhu 20⁰C dan frekuensi 10 Hz, perolehan *flow number* dari Metode *Three-Stages Model* dan *Stepwise Method* lebih sesuai dengan prinsip keruntuhan uji *fatigue* mode *stress-controlled* baik secara grafis maupun teoritis.

SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Penambahan benda uji disarankan untuk meningkatkan akurasi pengujian *fatigue*.
- b. Variasi pembebanan uji *fatigue* pada *stress* di bawah 500 kPa dimungkinkan apabila menginginkan hasil pengujian dengan jumlah repetisi beban lebih besar dari 10⁴ *cycles*.
- c. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data uji *fatigue* yang diuji dengan kondisi yang lebih aplikatif di Indonesia baik ditinjau dari suhu maupun frekuensi.
- d. Untuk Penelitian mengenai *fatigue* pada perkerasan, akan lebih baik bila proses keretakan benda uji dapat didokumentasikan secara menerus, dari awal pengujian hingga benda uji rusak sebagai komparasi antara hasil analisis dengan keruntuhan sebenarnya pada saat pengujian dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Airey, Gordon D. 2002. *Rheological Evaluation of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens*. Elsevier : Construction and Building Materials 16 (2002) 473–487. August 28
- Ameri, Mahmoud et al. 2014. *Evaluation and Comparison of Flow Number Calculation Methods*. Taylor and Francis : Road Materials and Pavement Design, 2014 Vol. 15, No. 1, 182–206. January 2
- Anonim. *Badan Standardisasi Nasional*. 2015. SNI 8142 : 2015 Spesifikasi Campuran Asphalt Treated Permeable Base
- Archilla, A.R and Diaz, L.G. 2011. *Effects of Asphalt Mixture Properties on Permanent Deformation Response*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2210, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2011, pp. 1-8.
- Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standar Nasional Indonesia. 1991 *Metode Pengujian Kadar Aspal, SNI 06-2438-1991; SK SNI M-27-1990-F*. Departemen Pekerjaan Umum
- Biligiri, K. P., Kaloush, K. E., Mamlouk, M. S., & Witzczak, M. W. (2007). *Rational Modeling of Tertiary Flow for Asphalt Mixtures*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001(1), 63–72
- Brown, S. F., ed. P.S. Pell. 1978. *Material Characteristics for Analytical Pavement Design*. London : Developments in Highway Pavement Engineering-1
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3*. Kementerian Pekerjaan Umum RI
- Gorkem C. and Sengoz B. 2009. *Predicting Stripping and Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime*. Elsevier Construction and Building Materials 23 (2009) 2227–2236. January 4.
- Griffith, A.A. 1921. *The Phenomena of Rupture and Flow in Solids*, *Philosophical Transactions of the Royal Society*. London : Series A, Vol. 221
- Goh, Shu Wei and You, Zhanping. 2009. *A Simple Stepwise Method to Determine and Evaluate The Initiation of Tertiary Flow for Asphalt Mixtures Under Dynamic Creep Test*. Elsevier : Construction and Building Materials 23 (2009) 3398–3405. January 19

- Jacobs, M. M. J. 1995. *Crack Growth in Asphaltic Mixes*. PhD Dissertation Delft : Delft University of Technology, Netherlands
- Kaloush, K. E. (2001). *Simple performance test for permanent deformation of asphalt mixtures*. PhD Dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, Arizona State University, Tempe
- Kennedy, T. W. and Anagnos, J. N. 1983. *Procedures for the Static and Repeated - Load Indirect Tensile Tests*. Research Record 183-14, Center for Transportation Research
- Li, Ning. 2013. *Asphalt Mixture Fatigue Testing Influence Of Test Type And Specimen Size*. PhD Dissertation Delft : Delft University of Technology
- Michael. 2016. *Analisis Fatigue pada Surface Course dengan Pendekatan Dissipated Energy*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Molenaar. 2007. *Prediction of Fatigue Cracking in Asphalt Pavements Do We Follow the Right Approach?*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2001
- Nugroho, Aditya Martien. 2016. *Analisis Fatigue pada Wearing Course dengan Metode Classical Fatigue*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Paris P.C., and Erdogan K. 1963. *A Critical Analysis of Crack Propagation Laws*. Transactions of the ASME, Journal of basic Engineering, Series D, 85, No. 3
- Pramesti, F. P. 2015. *Laboratory and Field Asphalt Fatigue Performance Matching Theory with Practice*. PhD Dissertation Delft : Delft University of Technology
- Read, John Maddison. 1996. *Fatigue Cracking of Bituminous Paving Mixtures*. PhD Dissertation Nottingham :University of Nottingham
- Sengoz B and Isikyakar G. 2007. *Evaluation of the Properties and microstructure of SBS and EVA Polymer Modified Bitumen*. Elsevier :Construction and Building Materials 22 (2008) 1897–1905. August 29
- Qiu, Jian. 2012. *Self Healing of Asphalt Mixture Towards a Better Understanding of the Mechanism*. PhD Dissertation Delft : Delft University of Technology
- Vismara, Stefania at al. 2012. *Towards a Better Understanding of The Benefits of Geosynthetics Embedded in Asphalt Pavements*. TRB 2012 Annual Meeting. 11 August 2011
- Wardhani, A.K. 2007. *Penerapan Pavement Technology pada Perkerasan Runway Bandara Adi Sumarmo Solo dengan Tinjauan Stress dan Strain pada Wearing Course*. Surakarta :Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Witczak, M., Kaloush, K., Pellinen T., El-Basyouny, M., & Von Quintus, H. (2002). *Simple performance test for superpave mix design* (NCHRP Report 465). National Cooperative Highway Research Program report.
- Zhou, F., & Scullion, T. (2003). *Preliminary Field Validation of Simple Performance Tests for Permanent Deformation: Case Study*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1832(1), 209–216