

ANALISIS *FATIGUE* PADA *WEARING COURSE* MENGGUNAKAN METODE *CLASSICAL FATIGUE*

Aditya Martien Nugroho¹⁾ Ary Setyawan²⁾ F. Pungky Pramesti³⁾

¹⁾ Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2) 3)} Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp.0271647069. Email : efhanif.94@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi pada lapis atas perkerasan (*wearing course*) adalah retak yang disebabkan oleh repetisi beban yang berulang-ulang atau disebut dengan *fatigue*. Analisis tentang *fatigue* masih jarang dilakukan di Indonesia. Salah satu metode yang digunakan untuk analisis *fatigue* adalah metode *Classical Fatigue*. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan sebuah model persamaan untuk menganalisis *fatigue*. Selain itu dengan adanya permasalahan seperti ini, perlu ada inovasi baik dalam hal material dan perencanaan perkerasan *wearing course* yaitu dengan memodifikasi campuran aspal seperti penambahan polimer EVA atau menggunakan aspal modifikasi produksi pabrik seperti aspal SBS E-60. Penelitian menggunakan 3 jenis campuran aspal yaitu aspal penetrasi 60/70 (tanpa modifikasi), aspal SBS E-60, dan aspal modifikasi EVA. Campuran aspal terbaik (hasil uji *Marshall*) kemudian akan diuji untuk mendapatkan karakteristik *fatigue* nya. Untuk uji *fatigue* digunakan alat *Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)*. Benda uji yang digunakan untuk pengujian ITFT berjumlah 3 buah dengan 3 variasi pembebanan yaitu 500 kPa, 600 kPa, dan 700 kPa. Suhu dan frekuensi pengujian masing masing 20°C dan 10 Hz. Hasil penelitian didapat aspal terbaik hasil uji *Marshall* adalah campuran aspal modifikasi EVA. Sedangkan hasil pengujian ITFT didapat nilai N_f (jumlah repetisi beban maksimal) pada pembebanan 500 kPa adalah 10401 *cycle*, pada pembebanan 600 kPa adalah 6841 *cycle*, dan pada pembebanan 700 kPa adalah 1371 *cycle*. Besar nilai initial *strain*, initial *stiffness*, dan N_{f50} berturut-turut pada pembebanan 500 kPa adalah sebesar 119 $\mu\epsilon$, 20503.5, dan 8701 *cycle*. Pada pembebanan 600 kPa adalah sebesar 180 $\mu\epsilon$, 22115, dan 5492 *cycle*. Pada pembebanan 700 kPa adalah sebesar 294 $\mu\epsilon$, 18337, dan 1271 *cycle*. Model persamaan yang dihasilkan dari hasil pengamatan ini adalah $N_f = 2.979 \times 10^8 \left(\frac{1}{\epsilon_i}\right)^{2.153}$

Kata Kunci: *fatigue*, *Classical Fatigue*, *Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)*

ABSTRACT

Problems often occur on the surface of the pavement layer (*wearing course*) is cracking caused by repetitive load or commonly referred to *fatigue*. Analysis of *fatigue* is still rare in Indonesia. One method used for *fatigue* analysis is *Classical Fatigue*. By using this method we will get an equation models to predict the service life of a pavement life of *wearing course*. In addition to the issues of this kind, there needs an innovation both in terms of material and planning of pavement *wearing course* that is by modifying the asphalt mixture such as the addition of EVA polymer modified asphalt or use of plant production asphalt like SBS E-60. The research is intended to create a model of the equations used to predict the service life of a pavement life of *wearing course*. The research uses three types of asphalt like 60/70 penetration asphalt (without modification), SBS E-60 asphalt and EVA modified asphalt. The Best mix asphalt (*Marshall* test results) will be tested to get its *fatigue* characteristic. *Fatigue* test using *Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)* tools. The specimen which used to *fatigue* test amounted to 3 pieces with 3 variations of load at 500 kPa, 600 kPa and 700 kPa. Temperature and frequency of testing each of 20°C and 10 Hz. The result is EVA modification asphalt is the best asphalt based on *Marshall* test. While the test results obtained ITFT value N_f (number of repetitions maximum load) at 500 kPa load was 10401 cycles, the loading of 600 kPa was 6841 cycle, and at the loading of 700 kPa was 1371 cycle. Initial strain value, initial stiffness, and N_{f50} in a row at 500 kPa loading amounted to 119 $\mu\epsilon$, 20503.5, and 8701 cycle. On loading 600 kPa amounted $\mu\epsilon$ 180, 22 115, and 5492 cycle. At 700 kPa loading amounted to 294 $\mu\epsilon$, 18337, and 1271 cycles. This observation will be used to create a model equation of $N_f = 2.979 \times 10^8 \left(\frac{1}{\epsilon_i}\right)^{2.153}$

Keywords: *fatigue*, *Classical Fatigue*, *Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)*

1. PENDAHULUAN

Fatigue merupakan fenomena retak yang berawal dari retak rambut yang berpotensi menjadi retak buaya dan akhirnya makin melebar. Jika retak ini terus dibiarkan, maka akan memungkinkan air masuk kedalam lapis tanah dasar yang akan mengakibatkan terganggunya kestabilan tanah dasar. Menurunnya kestabilan tanah dasar akan berpengaruh pada berkurangnya kestabilan *wearing course*. (Pell, 1962)

Dengan permasalahan seperti diatas, perlu ada inovasi baik dalam hal material dan perencanaan perkerasan *wearing course*. Dalam hal inovasi material baru, salah satu hal yang bisa dilakukan adalah dengan memodifikasi campuran aspal dengan bahan tambahan atau menggunakan aspal modifikasi produksi pabrik. Sedang dalam hal perencanaan adalah dengan memperhitungkan karakteristik *fatigue* material yang dipakai. Dalam penelitian ini akan digunakan tiga jenis campuran aspal yaitu campuran aspal penetrasi 60/70 (tanpa modifikasi), campuran aspal SBS E-60, dan campuran aspal penetrasi 60/70 + EVA. Campuran aspal terbaik kemudian akan diuji untuk mendapatkan karakteristik *fatigue* nya.

Di Indonesia masih sangat jarang dilakukan analisis kerusakan *fatigue* pada *wearing course*. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang analisis *fatigue* pada *wearing course*. Analisis *fatigue* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Classical Fatigue*. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan hasil akhir berupa model persamaan yang digunakan untuk memprediksi umur layan perkerasan. Untuk mendapatkan model persamaan maka harus diamati terlebih dahulu nilai *initial strain*, *initial stiffness*, dan N_{F50} . Nilai-nilai tersebut mengindikasikan awal dimana terjadinya *fatigue*. Selain itu juga perlu dicari terlebih dahulu nilai koefisien material dari benda uji yang di notasikan dengan K_1 dan K_2 .

2. TINJAUAN PUSTAKA

Uji *fatigue* telah dilakukan sejak awal tahun 1950. Berdasarkan tipe pembebanannya, *fatigue* test dibagi menjadi tiga, yaitu *simple flexure test*, *direct axial loading test*, dan *diametral loading test*. *Simple flexure* terdiri dari *two point bending test*, *three point bending test*, *four point bending test*, dan *rotating bending test*. (Read, 1996). Kemudian untuk *Direct axial loading test* dikembangkan pada tahun 1972 dalam *Transport and Road Research Laboratory (TRRL)*. Metode ini mengaplikasikan tegangan aksial dan beban kompresif pada mesin elektro-hidrolik *servo-controlled*. Benda uji dalam tes ini berbentuk prismoidal dengan luas permukaan 75 mm² dan panjang 225 mm, dengan frekuensi pembebanan 16,7 dan 25 Hz. (Raithby, 1972).

Diametral loading test juga merupakan salah satu metode pengujian untuk uji *fatigue*. Pengujian ini dikembangkan dan telah digunakan sejak awal tahun 1970an untuk mengetahui karakteristik bahan aspal jika ditinjau dari *strength* dan *stiffness elastic*. (Kennedy, 1968) (Schmidt, 1971). Pengujian ini dilakukan dengan pemberian beban pada spesimen yang berbentuk silinder di sepanjang diameter vertikalnya. Gelombang pembebanannya biasanya merupakan *haversine*. Ada tiga tipe kerusakan yang terjadi pada benda uji *Diametral loading test* antara lain, retak inisiasi pada pusat spesimen, retak inisiasi pada bagian atas spesimen, dan tidak ada keretakan pada spesimen.

Jacobs (1995) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa desain prosedur SPDN dan RHED, menentukan umur layan (N) suatu lapis perkerasan didasarkan pada regangan tarik maksimal yang terjadi di lapisan bawah perkerasan tersebut. Ini dilakukan dengan rumus *Wöhler* yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$N_f = 2.979 \times 10^8 \left(\frac{1}{\epsilon_i}\right)^{2,153} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

N_f = Jumlah repetisi beban (*Cycle*)

ϵ_i = *Initial strain*

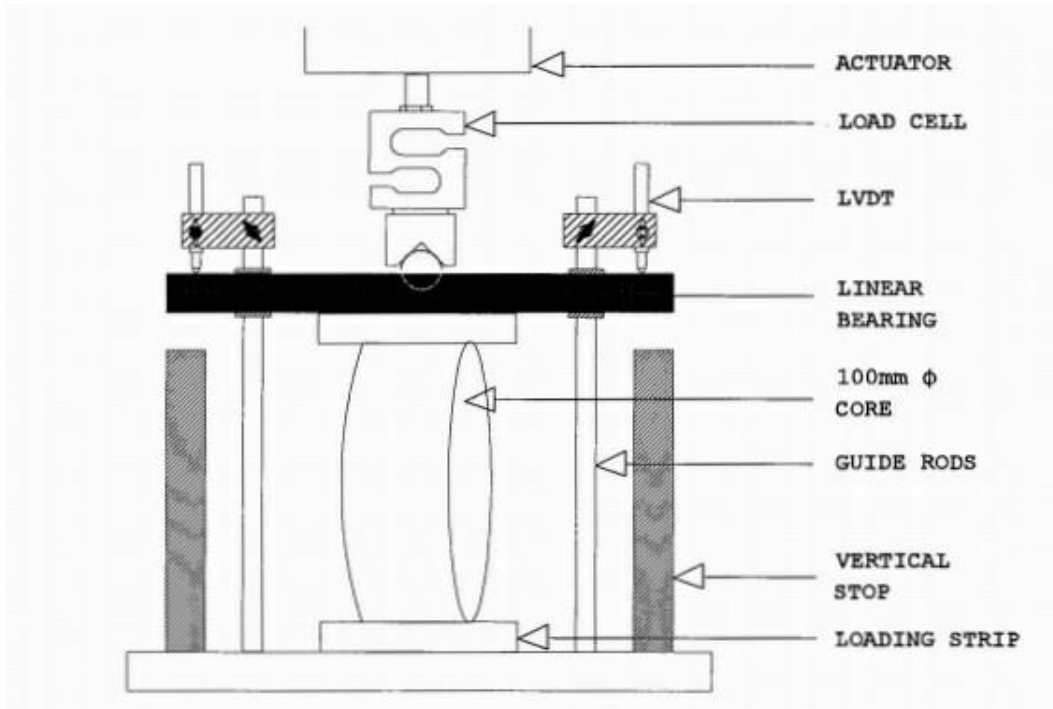
Untuk mendapatkan sebuah persamaan model *Classical Fatigue* dilakukan uji *fatigue* terhadap campuran aspal untuk mendapatkan *initial strain* dan *initial stiffness*. *Initial strain* dapat dilihat dari nilai *strain* pada *cycle* ke-50 sampai *cycle* ke-100. Pada penelitian ini dipilih *cycle* ke-51 (Li, 2013). Begitu pula dengan *initial stiffness* didapat dari nilai *stiffness* pada saat *cycle* ke-50 sampai *cycle* ke-100. Sedangkan nilai N_{F-50} diperoleh dari N pada saat *initial stiffness* berkurang 50%. Nilai N didapatkan dari hasil pengujian *indirect tensile* yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai koefisien material (K) melalui kurva log. Karena kurva log berupa kurva regresi, maka nilai K ada dua yaitu K_1 dan K_2 . Kurva log akan menghasilkan sebuah hubungan yang ditunjukkan pada persamaan 2. (Read, 1996)

$$\text{Log } N = \text{Log } K_1 - K_2 \text{ Log } \epsilon_i \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan 2 maka parameter *fatigue* material K_1 dan K_2 dapat diperoleh. Menurut Pell dan Cooper (1975) terdapat hubungan linier antara K_2 dan $\text{log } K_1$, ini diperkuat oleh Pramesti (2013).

3. METODE PENELITIAN

Ada dua macam pengujian dalam penelitian ini yaitu uji *Marshall* dan uji *Fatigue*. Untuk uji *Marshall* akan dibandingkan tiga jenis campuran aspal yaitu campuran aspal penetrasi 60/70 (tanpa modifier), campuran aspal dengan modifikasi EVA, dan campuran aspal SBS E-60. Jumlah benda uji *Marshall* setiap jenis aspal dibuat 6 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%; 7%. Tiap variasi kadar aspal berjumlah 3 benda uji, sehingga total benda uji untuk mengetahui kadar aspal optimum sebanyak 54. Hasil uji *Marshall* digunakan untuk mengetahui OBC (*Optimum Bitumen Content*). Campuran aspal terbaik kemudian akan diuji untuk mendapatkan karakteristik *fatigue* nya. Sedangkan untuk uji *fatigue* dilakukan pengujian dengan alat *Indirect Tensile Test*. Benda uji untuk pengujian *fatigue* berjumlah 3 buah dengan 3 variasi pembebanan yaitu 500 KPa, 600 KPa, dan 700 KPa. Suhu dan frekuensi pengujian masing masing 20°C dan 10 Hz.



Gambar 1. Skema Alat *Indirect Tensile Test*

Gambar 1 menunjukkan skema alat uji *Indirect Tensile Test* yang akan digunakan untuk pengujian *fatigue*. Hasil pengujian ini kemudian akan dianalisis menggunakan metode *Classical Fatigue*. Hasil dari metode ini berupa model persamaan yang digunakan untuk memprediksi umur layan suatu perkerasan lapis atas (*wearing course*).

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil tes *Marshall*

Tabel 1 Hasil Uji *Marshall*

Jenis Aspal	Parameter	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%	Syarat
Aspal Penetrasi 60/70	Stabilitas	1107.231	1334.774	1244.060	1260.411	1155.466	1045.139	975.51
	Flow	2.70	2.50	3.27	3.77	3.37	3.23	2.5 - 4
	Porositas	7.557	8.556	3.899	7.558	4.397	1.973	3 - 5
	Density	2.271	2.230	2.327	2.222	2.281	2.323	
Aspal SBS E-60	MQ	408.824	550.547	386.544	334.984	344.602	324.537	
	Stabilitas	1122.084	1161.861	1244.970	1204.997	1263.675	1111.934	975.51
	Flow	3.37	2.60	2.80	3.90	3.47	3.87	2.5 - 4
	Porositas	8.780	9.311	6.008	7.594	4.728	2.235	3 - 5
Aspal Modifikasi EVA	Density	2.244	2.214	2.279	2.225	2.277	2.321	
	MQ	334.596	454.552	455.366	316.209	366.255	290.703	
	Stabilitas	986.331	1017.812	1370.663	1375.522	1285.772	1156.129	975.51
	Flow	3.17	3.20	4.55	4.00	3.47	2.90	2.5 - 4
Aspal Modifikasi EVA	Porositas	10.137	8.909	6.636	8.116	4.389	2.409	3 - 5
	Density	2.211	2.225	2.264	2.213	2.286	2.317	
	MQ	316.337	323.669	287.254	345.114	373.070	404.818	

Dari hasil pengujian *Marshall* yang ditunjukkan pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai OBC pada campuran aspal penetrasi 60/70, campuran aspal SBS E-60, serta campuran aspal penetrasi 60/70+EVA berturut-turut adalah 5,5%, 6,5%, dan 6,5%. Hal ini didasarkan pada nilai stabilitas yang paling tinggi, serta juga memiliki nilai *flow*, porositas, *density*, dan MQ sesuai standar.

Jika kadar OBC ketiga jenis campuran aspal dibandingkan maka didapatkan campuran aspal penetrasi 60/70 + EVA yang memiliki stabilitas paling tinggi. Ketiga jenis campuran aspal memenuhi standar pengujian baik dari nilai stabilitas, *flow*, porositas, *density*, dan MQ. Sedangkan untuk pengujian ITFT dipilih campuran aspal yang memiliki stabilitas paling tinggi. Hal ini dikarenakan benda uji untuk pengujian ITFT harus memiliki ketahanan stabilitas tinggi untuk dapat menerima repetisi beban yang berulang-ulang. Maka dari itu pada penelitian ini dipilih campuran aspal penetrasi 60/70 + EVA untuk diuji ITFT.

4.2 Hasil Pengujian ITFT

Nilai N_f didapatkan dari hasil pengujian yang dapat dibaca pada alat pengujian ITFT. Berikut merupakan hasil pengujian ITFT yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian ITFT

Stress (kPa)	N_f (Cycle)
500	10401
600	6841
700	1371

Tabel 2 menunjukkan pada *stress* 500 kPa didapatkan N_f sebesar 10401 *cycle*, pada *stress* 600 kPa didapatkan N_f sebesar 6841 *cycle*, dan pada *stress* 700 kPa didapatkan N_f sebesar 1371 *cycle*. Artinya, jika *stress* semakin besar maka nilai N_f semakin kecil.

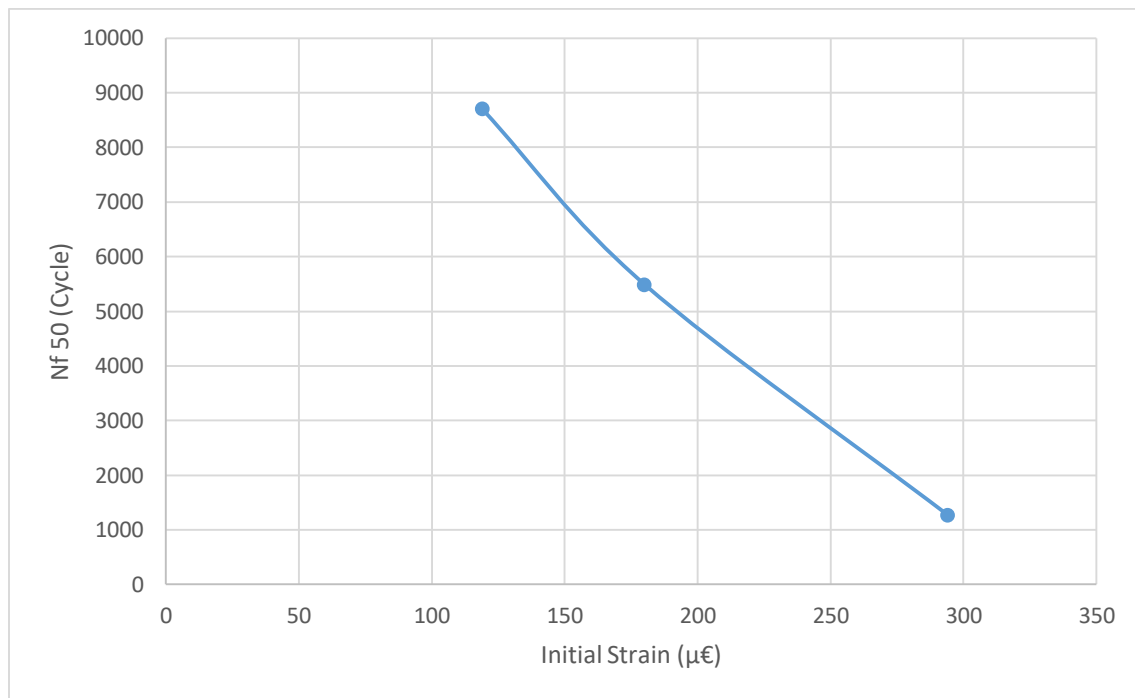
4.3. Analisis Hasil Pengujian Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT)

Untuk mendapatkan sebuah persamaan model *Classical Fatigue* dilakukan perhitungan nilai *initial strain* dan *initial stiffness*. *Initial strain* dapat dilihat dari nilai *strain* pada *cycle* 50 sampai *cycle* ke 100. Pada penelitian ini dipilih *cycle* ke 51. (Li, 2013). Begitu pula dengan *initial stiffness* didapat dari *nilai stiffness* pada saat *cycle* ke 50 sampai *cycle* ke 100. Sedangkan nilai N_{f-50} diperoleh dari *cycle* pada saat *initial stiffness* berkurang 50%. Hasil rekapitulasi pengamatan *initial strain*, *initial stiffness*, dan N_{f-50} dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengamatan *initial strain*, *initial stiffness*, dan N_{f-50}

STRESS	N_f (Cycle)	Stiffness modulus (MPa)	Initial Strain ($\mu\epsilon$)	50 % Stiffness Modulus	N_{f-50} (Cycle)
500	51	41007	119	20503.5	8701
600	51	44230	180	22115	5491
700	51	36674	294	18337	1271

Data pada Tabel 3 kemudian dibuat grafik untuk menunjukkan hubungan antara *initial strain* dan N_{f-50} . Grafik hubungan antara *initial strain* dan N_{f-50} dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan *Initial Strain* dan N_{f-50}

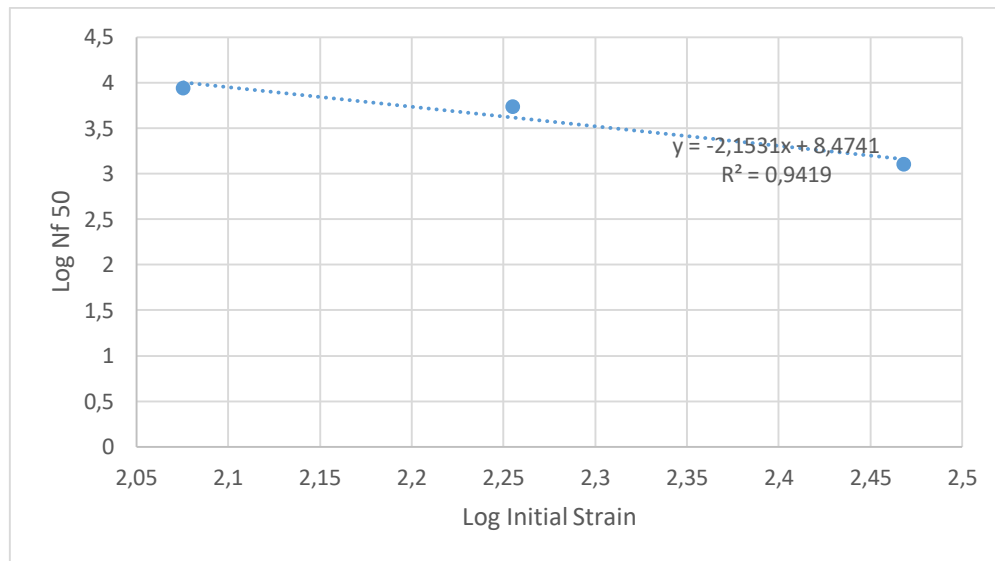
Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin rendah nilai beban yang diaplikasikan pada benda uji maka semakin rendah nilai *initial strain* serta semakin tinggi umur layan nya (N_f)

Selanjutnya untuk membuat model persamaan guna untuk memprediksi umur layan dibuat grafik log dari Gambar 2. Hasil log dari *initial strain* dan N_f dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Log *Initial Strain* dan N_{F-50}

Beban (kPa)	Log <i>Initial Strain</i>	Log N_{F-50}
500	2.075546961	3.939569169
600	2.255272505	3.739651444
700	2.46834733	3.104145551

Kemudian dari Tabel 4 di plotkan kedalam grafik yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Log *Initial Strain* dan Log N_{F-50}

Dari Gambar 3 didapat persamaan :

$$y = -2.1531x + 8.4741 \dots\dots\dots(3)$$

$$R^2 = 0.9419$$

Dengan menggunakan persamaan $\text{Log } N_f = \text{Log } K_1 - K_2 \text{ Log } \epsilon_i$ didapatkan :

$$Y = \text{Log } N_f$$

$$8,4741 = \text{Log } K_1 \longrightarrow K_1 = 2,979 \times 10^8$$

$$K_2 = 2,1531$$

Dengan mengetahui koefisien material K_1 dan K_2 dapat dimodelkan menjadi persamaan

$$N_f = 2.979 \times 10^8 \left(\frac{1}{\epsilon_i}\right)^{2,153} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

N_f = Jumlah repetisi beban (*Cycle*)

ϵ_i = *Initial strain*

4.4. Pembahasan

Dari hasil analisis data didapatkan Persamaan 4 Persamaan ini digunakan untuk mendesain tebal perkerasan *wearing course*. Dengan memasukkan nilai N_f atau umur layan desain perkerasan dapat diketahui nilai *initial strain*. Dengan diketahui nilai *initial strain* maka dapat dihitung tebal desain perkerasan *wearing course*.

Persamaan ini bisa juga digunakan untuk *maintenance wearing course* yaitu dengan memprediksi umur layan, sehingga dapat diketahui perkerasan tersebut akan mengalami *fatigue* pada *cycle* ke berapa dengan memasukkan variabel *initial strain*.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Nilai OBC pada campuran aspal penetrasi 60/70, campuran aspal SBS E-60, serta campuran aspal penetrasi 60/70+EVA berturut-turut adalah 5,5%, 6,5%, dan 6,5%.
2. Campuran aspal yang paling baik diantara ketiga jenis campuran aspal (campuran aspal penetrasi 60/70, campuran aspal SBS E-60, dan campuran aspal penetrasi 60/70 + EVA) jika ditinjau dari nilai stabilitas, *flow*, porositas, *density*, dan MQ adalah campuran aspal penetrasi 60/70 + EVA
3. Besar nilai *initial strain*, *initial stiffness*, dan N_{F50} berturut-turut pada pembebanan 500 kPa adalah sebesar 119 $\mu\epsilon$, 20503.5 MPa, dan 8701 *cycle*. Pada pembebanan 600 kPa adalah sebesar 180 $\mu\epsilon$, 22115 MPa, dan 5492 *cycle*. Pada pembebanan 700 kPa adalah sebesar 294 $\mu\epsilon$, 18337 MPa, dan 1271 *cycle*.
4. Hubungan antara *initial strain* dan N_{F50} yaitu semakin rendah nilai beban yang diaplikasikan pada benda uji maka semakin rendah nilai *initial strain* serta semakin tinggi umur layan nya
5. Besar nilai koefisien material K_1 dan K_2 masing-masing $2,979 \times 10^8$ dan 2,1531
6. Model persamaan yang digunakan untuk memprediksi atau mendesain perkerasan *wearing course* adalah
$$N_f = 2.979 \times 10^8 \left(\frac{1}{\epsilon_i}\right)^{2,153}$$

6. DAFTAR PUSTAKA

- Jacobs, M. M. J. 1995. Crack Growth in Asphaltic Mixes, Ph.D Dissertation. Delft The Netherlands: Delft University of Technology
- Kennedy, Thomas W., dan James N Anagnos. 1983. PROCEDURES FOR STATIC ANAD REPEATED-LOAD INDIRECT TENSILE TEST. Austin: University of Texas
- Li, Ning. 2013. Asphalt Mixture Fatigue Testing Influence Of Test Type And Specimen Size. Delft : Delft University of Technology
- Pell, P. S. and Cooper, K. E. 1975. The Effect of Testing and Mix Variables on the Fatigue Performance of Bituminous Materials. Proceedings AAPT. Vol.44, pp. 1-37
- Pramesti, F. P. 2015. Laboratory and Field Asphalt Fatigue Performance Matching Theory with Practice. Ph.D Dissertation. Delf The Netherlands: Delf University of Technology
- Raithby, K. D. and Sterling, A. B. Some Effects of Loading History on the Performance of Rolled Asphalt, TRRL-LR 496
- Read, J.M. 1996. Fatigue Cracking of Bituminous Paving Mixtures. Nottingham :University of Nottingham

Schmidt, R. J. "A Practical Method for Measuring the Resilient Modulus of Asphalt - Treated Mixes," Highway Research Record No. 404, Highway Research Board, pp 22-32