

ANALISIS *FATIGUE* PADA *SURFACE COURSE* DENGAN PENDEKATAN *DISSIPATED ENERGY*

Michael¹⁾, Ary Setyawan²⁾, Pungky Pramesti³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)} Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir, Sutami Nomor 36A Kentingan Surakarta 57126, Telp. (0271) 647069 Psw. 120,121, 08112633314, Fax. (0271)

634524, <http://sipil.ft.uns.ac.id>, email: sipil@ft.uns.ac.id

Email: michaelsudianto@gmail.com

Abstrak

Suatu perkerasan merupakan infrastruktur yang sangat penting bagi moda transportasi, karena merupakan media bagi moda tersebut untuk melakukan pergerakan. Beban dari moda yang diterima perkerasan ini terjadi secara berulang-ulang dan bersifat dinamis, akibatnya lapis perkerasan akan mengalami kelelahan (*fatigue*) hingga rusak/retak. Kelelahan atau titik keruntuhan yang ditunjukkan dengan munculnya *crack* (*crack initiation*) dapat diidentifikasi dengan metode *dissipated energy*. Penelitian ini menginvestigasi *fatigue* pada *mix-design* dengan menggunakan gradasi material *runway* Bandara Adi Soemarmo dan menggunakan aspal campuran Pen 60/70 dengan polimer EVA. Campuran aspal diuji dengan *Indirect Tensile Fatigue Test* (ITFT), dengan mode pembebanan *stress-controlled*. *Stress level* yang digunakan untuk pengujian ITFT sebesar 500, 600 dan 700 kPa, dengan frekuensi pembebanan dan suhu pengujian, masing-masing adalah 10 Hz dan 20°C. Dari hasil pengujian, didapatkan nilai *strain* pada setiap siklus pembebanan, yang akan digunakan untuk perhitungan *dissipated energy* (DE). Pada setiap pengujian, DE semakin meningkat seiring dengan kenaikan jumlah *cycles* karena kenaikan nilai *strain* pada setiap *cycles*. Jumlah DE yang dihasilkan untuk pengujian dengan *stress* 500, 600, 700 kPa masing-masing adalah 7122,8; 8614,3; 2654,9 J/m³. Sementara itu, *failure point* pada spesimen dengan *stress level* 500, 600 dan 700 kPa masing-masing terjadi pada 8171, 5161 dan 841 *cycles*. Dapat dilihat bahwa semakin lama suatu perkerasan runtuh atau semakin tinggi nilai *fatigue life*, maka semakin tinggi pula energi yang dihamburkan.

Kata kunci : *Stress, Strain, Dissipated Energy, Fatigue Life*

Abstract

As an important transportation infrastructure, pavement is subjected to repeated vehicle loads that may cause fatigue which often appear as cracking. The point when this crack initiate can be determined by the energy dissipated during the loading. This research investigates fatigue on Adi Soemarmo Airport mix-design using bitumen Pen 60/70 + EVA (Ethyl Vinyl Acetate) polymer. An Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT) was conducted using stress-controlled loading mode to determine its fatigue life. The stress levels were 500, 600 and 700 kPa, meanwhile the loading frequency and the temperature were 10 Hz and 20°C, respectively. The test exhibits strain levels for each loading cycle which were used to determine dissipated energy (DE). The result indicates that the DE increases when the cycles of loading increases, due to the strain levels progress. The amount of DE are 7122,8; 8614,3; 2654,9 J/m³ for 500, 600 and 700 kPa loading levels, respectively. Whereas the failure point for 500, 600 and 700 kPa stress level are 8171, 5161 and 841 cycles, respectively. Thus, the longer the pavement failure point achieved (fatigue life), the higher the energy is dissipated.

Keywords: Stress, Strain, Dissipated Energy, Fatigue Life

PENDAHULUAN

Suatu perkerasan merupakan infrastruktur yang sangat penting bagi moda transportasi, karena merupakan fasilitas untuk melakukan pergerakan. Kendaraan yang melewati suatu perkerasan bersifat dinamis, hal ini mengakibatkan lapis perkerasan tersebut mengalami perubahan terus-menerus. Perubahan ini diakibatkan beban kendaraan yang menghasilkan *stress-strain* tidak langsung pada arah longitudinal pada lapis bawah perkerasan (Shahin, 2005).

Pergerakan terus-menerus ini mengakibatkan terjadinya retak *fatigue* pada lapis perkerasan. *Fatigue* dapat dianalisis dengan mengidentifikasi *stress-strain* yang terjadi pada suatu perkerasan. Secara konvensional, *fatigue* dianalisis dengan mengembangkan grafik S-N (*stiffness modulus – fatigue life*) (Li, 2013). Metode ini mengamati penurunan nilai *stiffness modulus* hingga terjadi keruntuhan dan terjadi selama proses keretakan terjadi.

Selain itu, *fatigue* dapat dianalisis dengan mengidentifikasi *dissipated energy*. Selama proses pembebanan, perkerasan menghamburkan energi akibat respon beban yang diberikan kendaraan. Maka, saat energi mencapai nilai puncaknya, maka secara mikro perkerasan telah kehilangan kestabilannya dalam mempertahankan sifat viskoelastis. Jadi, analisis

dengan pendekatan *dissipated energy* akan mengidentifikasi umur layan *fatigue* saat paling awal perkerasan mengalami keretakan.

Inisiasi keretakan tidak dapat diamati atau diidentifikasi dengan menggunakan modulus kekakuan, karena tidak dapat mengamati perubahan perilaku energi pada setiap siklus pembebanan. Keretakan seharusnya dapat diamati dan dicegah dengan proses identifikasi yang lebih awal, yaitu dengan mengidentifikasi keretakan paling awal yang terjadi. Sehingga, umur layan yang diterapkan pada suatu perkerasan merupakan umur layan yang berlaku sampai sebelum terjadi perkerasan.

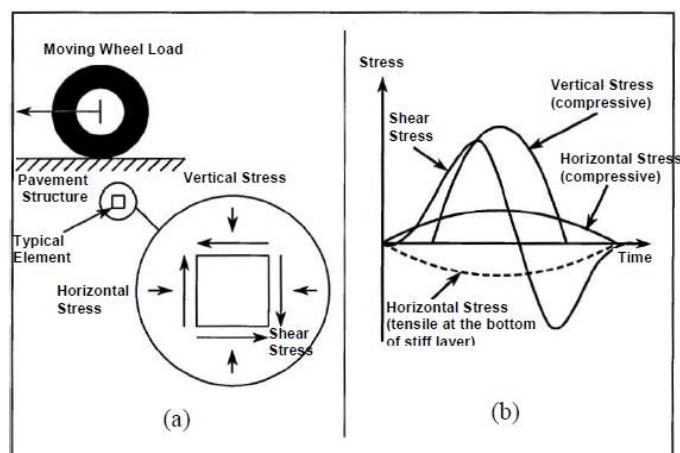
KAJIAN TEORI

Pengujian *Fatigue*

Berdasarkan tipe pembebanannya pengujian *fatigue* dibedakan menjadi *simple flexure test*, *direct axial loading test* dan *diameter loading test* (Tangella, 1990). Dan juga dibedakan atas beberapa mode pembebanan untuk melakukan analisis pada pengujian *fatigue*, yaitu mode *controlled-strain* dan *controlled-stress*. Dalam penelitian ini, akan menggunakan *diameter loading test* (*Indirect Tensile Fatigue Test*) dengan mode *controlled-stress*.

Kelelahannya (*fatigue*) campuran perkerasan sangat berhubungan erat dengan *Stiffness* atau kekakuan. Suatu perkerasan dikatakan lelah, berarti campuran tersebut telah mengalami penurunan terhadap kekakuan dan kekuatannya, yang akan mengakibatkan kerusakan. Penurunan nilai kekakuan dan kekuatan dari perkerasan tersebut dapat diakibatkan oleh pembebanan yang bersifat repetitif (Pell, 1962).

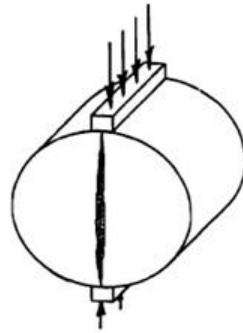
Beban kendaraan yang bersifat dinamis memengaruhi berbagai titik pada permukaan jalan saat melintas. Pada suatu titik di permukaan perkerasan dilalui oleh kendaraan. Dengan adanya sifat elastis pada aspal, maka perkerasan tersebut akan mengalami deformasi selama pembebanan berlangsung dan akan kembali pada keadaan semula setelah beban kendaraan melintas. Hal ini diakibatkan oleh adanya gaya/beban vertikal kendaraan yang bersentuhan langsung pada permukaan perkerasan. Disisi lain, bagian horisontal akan mengalami gaya tarik secara tidak langsung, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. *Stress* yang Terjadi Akibat Pergerakan Roda pada Perkerasan

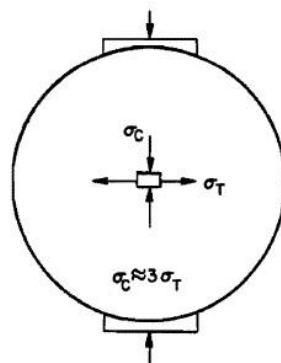
ITFT (*Indirect Tensile Fatigue Test*)

Pengujian dengan metode *Indirect Tensile Test* menggunakan benda uji berbentuk silinder. Beban didistribusikan ke arah horizontal dan vertikal saat pengujian (Kennedy and Hudson, 1968). Beban diaplikasikan pada bidang yang segaris akan terjadi kerusakan dekat *point load* akibat *compressive stresses* dan bukan pada bagian tengah benda uji karena adanya *tensile stresses*.



Gambar 2. Ilustrasi Kerusakan Benda Uji pada ITFT (Kennedy dan Anagnos, 1983)

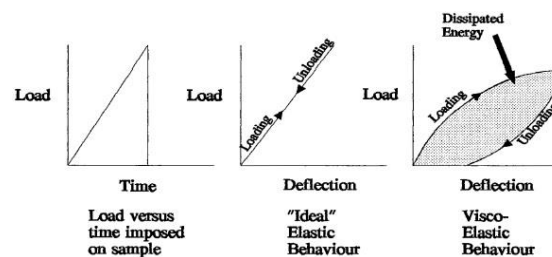
Pada saat pembebanan berlangsung pada suatu perkerasan, beban kendaraan didistribusikan secara vertikal yang mengakibatkan gaya kompresif pada perkerasan. Disisi lain, bagian bawah permukaan perkerasan mengalami gaya horizontal secara tidak langsung akibat gaya kompresif vertikalnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya *displacement* horizontal gaya tarik horizontal terus berlangsung akibat beban yang berulang-ulang.



Gambar 3. Ilustrasi Penyebaran Beban (Kennedy dan Anagnos, 1983)

Pendekatan *Dissipated Energy*

Selama pembebanan dan relaksasi, energi pada campuran aspal akan mengalami penghamburan karena material sangat bersifat visko-elastis pada suhu lingkungan. Energi yang dihamburkan ini dapat diilustrasikan pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4. Material visko-elastis akan memiliki membentuk jalur yang berbeda ketika terjadi pembebanan dan tidak, sehingga membentuk suatu area. Fenomena ini disebut *Hysteresis*. Energi yang dihamburkan (*dissipated energy*) setara dengan luas area (Rumus 1) yang terbentuk akibat perbedaan jalur grafik tadi (Li, 2013).



Gambar 4 Ilustrasi Prilaku Material Elastis dan Visko-Elastis (Li, 2013)

$$w_i = \pi \sigma_i \varepsilon_i \sin \phi_i \dots \dots \dots (1)$$

dimana,

w_i = *dissipated energy* pada siklus ke-i

σ_i = *stress* pada siklus ke-i

ε_i = *strain* pada siklus ke-i

ϕ_i = *phase lag* pada siklus ke-i.

Dissipated energy (DE) tidaklah konstan, hal ini diakibatkan karena adanya variabel *stress-strain* dan sudut fase yang berubah sepanjang pengujian *fatigue*. Sehingga, DE (*dissipated energy*) pun akan berubah sesuai besarnya variabel-variabel tersebut. Selain itu, perubahan ini bergantung juga pada jenis *fatigue test* yang dilakukan (*stress-controlled* atau *strain controlled*). Dalam Francken (1987), DE (*dissipated energy*) akan meningkat pada pengujian *fatigue* dengan *stress-controlled* dan sebaliknya akan menurun pada *strain-controlled fatigue test*.

Untuk itu diperlukan menghitung jumlah kumulatif DE (*dissipated energy*) (rumus 2) hingga terjadi kerusakan, sebab kerusakan akibat *fatigue* juga berhubungan dengan jumlah repetisi beban yang dikenakan pada spesimen (N), sehingga hubungan antara DE (*dissipated energy*) dan umur layan *fatigue* dapat dicari. Hal ini dipresentasikan oleh Chomton dan Valayer (1972) dalam rumus 3.

$$W = \pi \sum_{i=0}^{i=N} \sigma_i \varepsilon_i \sin \phi_i \dots\dots\dots(2)$$

$$W = AN^Z \dots\dots\dots(3)$$

A dan Z adalah koefisien yang ditentukan secara experimental.

Jumlah repetisi beban hingga terjadi kerusakan, pada umumnya, berbeda-beda tergantung pada metode pembebanannya. Hopman, dkk (1989) menggunakan rasio energi untuk menentukan jumlah repetisi beban (N1) pada *strain-controlled fatigue test* untuk menentukan titik dimana retak terjadi pertama kalinya. Persamaan rasio energi ditunjukkan pada rumus 4.

$$ER = \frac{nw_0}{w_i} \dots\dots\dots(4)$$

dimana,

n = jumlah repetisi beban

w₀ = *dissipated energy* pada saat pengujian dimulai

w_i = *dissipated energy* pada saat repetisi ke-i

Atau dapat disederhanakan menjadi rumus 5, untuk *strain-controlled* dan rumus 6, untuk *stress-controlled*.

$$R_\varepsilon = \frac{n}{E_i^*} \dots\dots\dots(5)$$

$$R_\sigma = nE_i^* \dots\dots\dots(6)$$

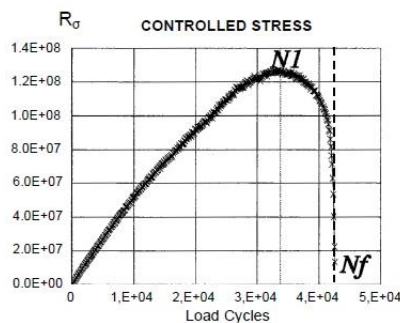
dimana,

R_ε = rasio energi untuk pengujian *fatigue strain-controlled*

R_σ = rasio energi untuk pengujian *fatigue stress-controlled*

E_i^{*} = *stiffness modulus*

Pada pengujian *stress-controlled*, N₁ didefinisikan sebagai titik puncak kurva R_σ (rasio energi) terhadap jumlah repetisi, seperti pada gambar 5.



(e)

Gambar 5. Grafik Hubungan R_σ terhadap Jumlah Repetisi Beban pada Pengujian *Fatigue Trapezoidal Stress-controlled* (Rowe, 1993)

Modified Bitumen

Berdasarkan penelitian mengenai penggunaan *modified bitumen* jenis elastomer, SBS (*Styrene-Butadine-Styrene*), dan aspal berpolimer EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) yang bersifat plastomer. Salah satunya adalah penggunaan SBS 50/70 memberikan efek terhadap ketahanan *wearing course* (Corte dkk, 1993 dalam Astuti, 2007). Dari penelitian ini

didapatkan bahwa bitumen SBS 50/70 mempunyai *rutting resistance* yang lebih tinggi dibandingkan aspal murni pen 50/70. SBS merupakan polimer yang paling tepat untuk memodifikasi aspal. Selain itu, penelitian dengan penambahan polimer EVA (bersifat plastomer) yang dilakukan oleh Ryan, dkk pada tahun 2015, akan meningkatkan kinerja dari perkerasan. Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian ITS dan UCS yang optimum pada penambahan EVA sebanyak 4% dan benda uji dengan aspal berpolimer EVA pun lebih tahan terhadap perubahan suhu.

Material

Material yang dipakai berasal dari *quarry* Kulonprogo, Yogyakarta. Sedangkan, gradasi menggunakan gradasi material yang dipakai oleh Bandar Udara Adi Soemarmo, Boyolali, seperti yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Gradasi *existing pavement* Bandara Internasional Adi Sumarmo Surakarta

Ukuran Saringan		% Lolos
inch	mm	
1	25,4	100
3/4	19	100
1/2	12,7	84,54
3/8	9,5	79,13
No.4	4,76	76,57
10	2	65,30
40	0,42	26,47
80	0,177	11,97
200	0,074	5,41

(Sumber: Final Report Pekerjaan Pengawasan Kualitas dan Kuantitas Konstruksi Perpanjangan R/W, T/A, dan Pembuatan Paved Shoulder Tabap II)

METODE KERJA

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan data primer dan data sekunder yang didapatkan dari pihak Angkasa Pura 1 mengenai gradasi eksisting perkerasan *runway* bandar udara Adi Soemarmo. Pengujian material, aspal dan pembuatan benda uji hingga menguji kadar aspal optimum bertempat di Laboratorium Jalan Raya Universitas Sebelas Maret Surakarta. Sedangkan pengujian ITFT (*Indirect Tensile Fatigue Test*) dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Udayana Denpasar.

Alat

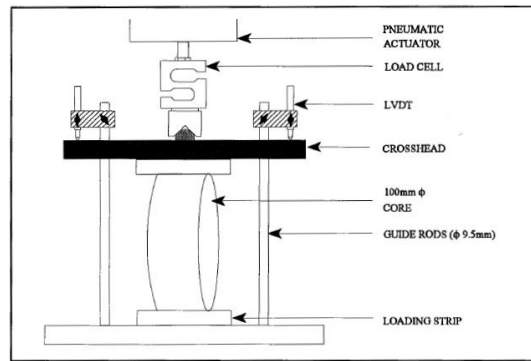
Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Alat uji *Marshall*, pengujian *marshall* dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dari ketiga jenis campuran. Hasil yang paling stabil dari ketiga jenis campuran, akan dilanjutkan pada pengujian *Fatigue*.
2. Alat Uji UTM 30, yang digunakan untuk pengujian ITFT (*Indirect Tensile Fatigue Test*) di Laboratorium Jalan Raya Universitas Udayana Denpasar. Adapun foto dan ilustrasi bagian-bagian dari alat ini disajikan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Foto Alat Uji UTM 30

Alat ITFT (UTM 30) secara umum terbagi menjadi 3 (Kennedy dan Anagnos, 1983), yaitu:



Gambar 7. Ilustrasi Bagian-Bagian Alat

- Loading Machine*, dengan alat ini memiliki fungsi untuk memberikan beban kompresif pada frekuensi-frekuensi tertentu, durasi pembebanan dan tingkat pembebanan.
- Loading Head*, bagian ini harus memiliki pasangan bagian atas dan bawah berupa *loading strip* dengan bentuk permukaan menyekung sehingga menyamai area kontak dengan benda uji. Ukuran *loading strip* biasanya 13 mm (0,5 inch) atau 19 mm (0,75 inch).
- Sistem Penghitungan, pada alat ITFT terdapat sistem untuk memasukkan data *stress* dan/atau *strain*. Sehingga, *recorder* pada alat akan merekam gaya dan deformasi yang terjadi pada benda uji.

Bahan dan Benda Uji

Material yang digunakan berasal dari *quarry* Kulonprogo, Yogyakarta dan menggunakan tiga jenis aspal yaitu Pen 60/70, SBS dan campuran Pen 60/70 dan EVA.

Benda uji pengujian *fatigue* dibuat setelah pengujian kadar aspal optimum dan didapatkan campuran yang paling stabil (yaitu campuran dengan aspal campuran Pen 60/70 dan EVA). Jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk di uji *fatigue*.



Gambar 8. Benda Uji *Fatigue*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian *marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya UNS, didapatkan campuran yang paling stabil adalah campuran dengan penggunaan polimer EVA 4% dengan kadar aspal optimum sebesar 6,5%. Berikut disajikan data hasil pengujian *marshall* untuk campuran EVA, pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Campuran Aspal Pen 60/70 dan EVA

Hasil Uji	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	Syarat
Stabilitas (kg)	986,33	1017,81	1370,66	1375,52	1285,77	1156,13	975,51
Flow (mm)	3,17	3,20	4,55	4,00	3,47	2,90	2.5 - 4
Porositas (%)	10,137	8,909	6,636	8,116	4,389	2,409	2 - 5
Density (gr/cc)	2,211	2,225	2,264	2,213	2,286	2,317	
MQ (kg/mm)	316,337	323,669	287,254	345,114	373,070	404,818	

Benda uji dengan kadar aspal 6,5% kemudian diuji ITFT (*Indirect Tensile Fatigue Test*) sebanyak 3 benda uji dengan *stress level* sebesar 500, 600 dan 700 kPa. Hasil dari pengujian ITFT (*Indirect Tensile Fatigue Test*) disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian ITFT

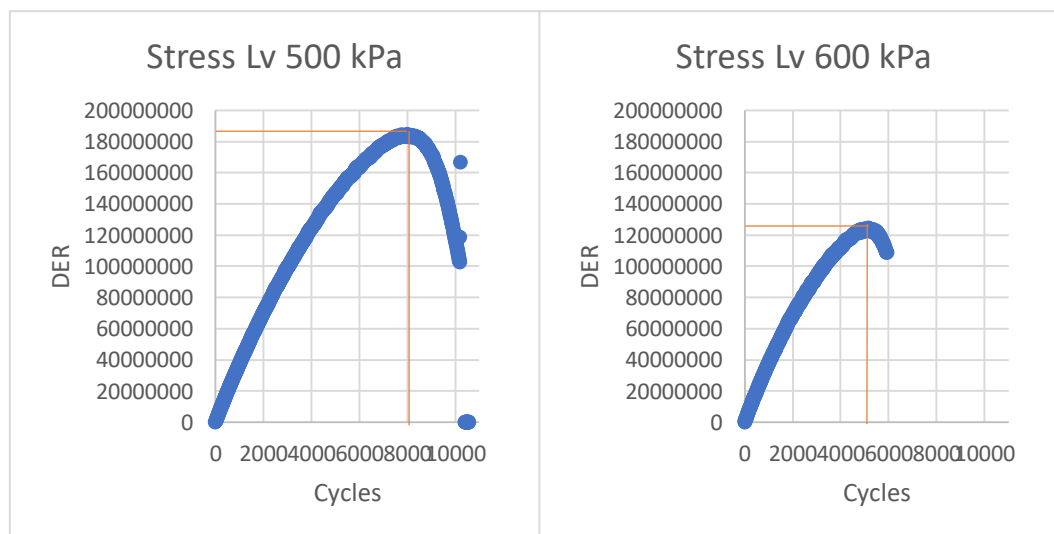
No.	σ (kPa)	N_f (cycles)
1	500	10401
2	600	6600
3	700	1250

Untuk membangun model umur layan *fatigue* berdasarkan pendekatan *dissipated energy*, DE (*dissipated energy*) dihitung pada setiap *cycles* dihitung menggunakan rumus 1 dan mengakumulasiannya, sehingga mendapatkan nilai kumulatif DE pada tabel 4. Dan menghitung rasio DE (*dissipated energy*) dengan rumus 6, untuk mendapatkan grafik hubungan antara Rasio DE dan *dissipated energy* pada setiap *cycle*.

Tabel 4. Nilai Akumulasi DE

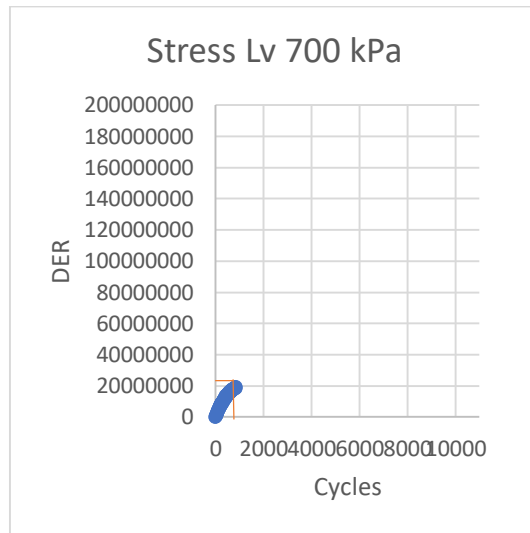
No.	σ (kPa)	W (J/m ³)
1	500	7122,844
2	600	8614,259
3	700	2659,921

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan antara Rasio DE (*dissipated energy*) dan *cycles* pembebanan, yang mana semakin tinggi *cycles*. Pada pengujian *stress-controlled* umur layan *fatigue* berdasarkan rasio DE (N_R) ditunjukkan pada saat rasio DE (*dissipated energy*) mencapai titik puncak sebelum turun kembali hingga rusak. Dengan mengidentifikasi grafik pada gambar 9, maka didapatkan hasil yang disajikan pada tabel 5.



(9a)

(9b)



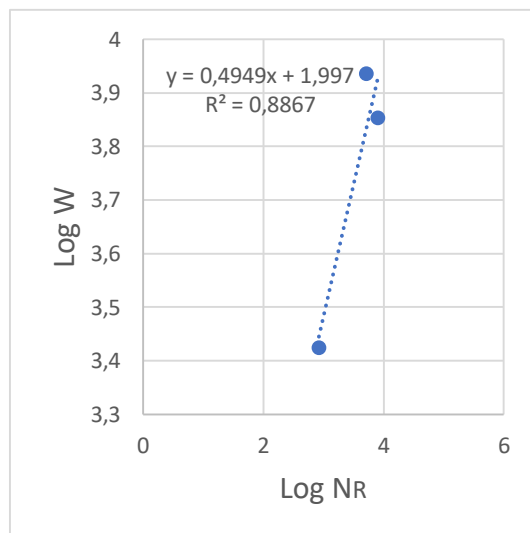
(9c)

Gambar 9 Grafik Hubungan Rasio DE (*Dissipated Energy*) dan *Cycles*

Tabel 5. Hasil Rekapitulasi N_R

No.	σ (kPa)	N_R (<i>cycles</i>)
1	500	8171
2	600	5161
3	700	841

Kemudian dibuat hubungan antara kumulatif W (kumulatif *dissipated energy*) dan N_R (umur layan *fatigue*), yang mana semakin tinggi umur layannya maka semakin tinggi nilai energi yang dihaburkan oleh campuran benda uji. Dalam grafik log, model hubungan W - N_R disajikan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara $\log N_R$ dan $\log W$

Maka, berdasarkan formula yang presentasikan Chomton dan Valayer (1972) dalam rumus 3, didapatkan model hubungan W - N_R seperti pada rumus 7.

$$W = 99,312 N_R^{0,495} \dots\dots\dots (7)$$

KESIMPULAN

Dari hasil analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

- a. Nilai DE (*dissipated energy*) semakin meningkat seiring dengan banyaknya *cycles* pembebanan. Namun, hubungan antara jumlah DE dan *stress level* adalah berbanding terbalik, yaitu jumlah DE cenderung menurun diikuti dengan nilai *stress* yang meningkat.
- b. Nilai *strain* cenderung meningkat diikuti dengan kenaikan *cycles* pembebanan, yang mengakibatkan nilai DE pun cenderung meningkat. *Strain* meningkat memengaruhi benda uji untuk menghamburkan energi yang lebih besar.
- c. Umur layan *fatigue* dengan pendekatan *dissipated energy* (N_R) merupakan umur layan yang menunjukkan kapan keretakan paling awal terjadi (*crack initiation*). Besarnya nilai N_R (umur layan *fatigue*) berbanding lurus dengan jumlah energi yang dihamburkan benda uji dan berbanding terbalik dengan besarnya nilai *stress* yang dikenakan pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolla, Margareth E., dkk. 2012. *Kajian Perbaikan Patahan Pada Runway Di Bandara El Tari Kupang*. Kupang: Universitas Nusa Cendana
- Chomton, G. and Valayer, P.J., *Applied Rheology of Asphalt Mixes-Practical Applications, Proceedings*, Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, London, England, 1972, pp: 214-225
- Francken L. and Clauwaert C. Characterization and structural Assessment of Bound Materials for Flexible Road Structures, *Proceedings of the Sixth ICSDAP*, Ann Arbor, Michigan, 1987 pp: 130-144
- Hopman P.C., Kunst P.A. and Pronk A.C., *A renewed interpretation method for fatigue measurements-Verification of Miner's rule*, Proc. of the 4th Eurobitume Symposium, Madrid, Spain, 1989
- Kennedy, T. W. and Hudson, W. R., *Application of the Indirect Tensile Test to Stabilized Materials*, Highway Research Record 235, Highway Research Board, Washington, D.C., 1968
- Kennedy, T. W. and Anagnos, J. N., *Procedures for the Static and Repeated-Load Indirect Tensile Tests*. Research Record 183-14, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, 1983
- Li, Ning. 2013. *Asphalt Mixture Fatigue Testing: Influence of Test Type and Specimen Size*. Delft: Delft University of Technology
- Pell, P.S. *Fatigue Of Bituminous Materials In Flexible Pavements*, Proc. Institution of Civil Engineers, 1965, Vol. 31
- Read, John Maddison. 1996. *Fatigue Cracking For Bituminous Paving Mixture*. Nottingham: University of Nottingham
- Rowe, G.M., *Performance of Asphalt Mixtures in the Trapezoidal Fatigue Test*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), 1993, Volume 62, pp: 344-384
- Tangella S. R., Craus J., Deacon J. A. and Monismith C. L., *Summary Report On Fatigue Response Of Asphalt Mixtures*. SHRP Report TM-UCB-A-003A-89-3 for project A-003-A, University of California, Berkeley, 1990.
- Whiteoak, D. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen : England
- Wardhani, Astuti Koos. 2007. *Penerapan Pavement Technology Pada Perkerasan Runway Bandara Adi Sumarmo Solo Dengan Tinjauan Stress Dan Strain Pada Wearing Course*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret