

KINERJA *STIFFNESS*, *FATIGUE*, DAN *CREEP* CAMPURAN ASPAL PANAS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)*

**I Nyoman Arya Thanaya, I Made AgusAriawan, dan I Made Debby Surya Adi
Putra**

Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana Denpasar

Email : debbysurya22@gmail.com

ABSTRAK

Jenis kerusakan yang sering terjadi pada Laston Lapis Aus (AC-WC) adalah keretakan akibat kelelahan (*fatigue*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *stiffness*, *fatigue*, *static creep* dan *dynamic creep* campuran aspal panas AC – WC pada kadar aspal optimum. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Campuran diproduksi secara panas dan diuji sesuai prosedur Marshall. Metode yang dipergunakan dalam pengujian *stiffness*, *fatigue* dan *creep* mengacu British Standard. Alat yang digunakan Dynapave UTM 30. Berdasarkan penelitian diperoleh kadar aspal optimum (KAO) campuran AC–WC sebesar 6,05%. Nilai ITSM pada temperatur 10°C, 20°C, 30°C berturut-turut 6175 MPa, 4356 MPa, 3790 MPa. Kinerja kelelahan (*fatigue*) pada tekanan 300 kPa runtuh pada 37.401 kali pengulangan beban, pada tekanan 500 kPa runtuh pada 15.513 kali pengulangan beban, pada tekanan 700 kPa runtuh pada 3.866 kali pengulangan beban. Kinerja rangkai statis (*static creep*) sebesar 20,84 MPa. Kinerja kekakuan rangkai dinamis (*dynamic creep stiffness*) sebesar 13,69 MPa. Perbandingan secara umum, antara hasil uji *static creep* dan *dynamic creep* menunjukkan bahwa pada beban dinamis, sampel mengalami regangan yang lebih besar sehingga kekakuannya menjadi lebih kecil, dibandingkan dengan beban statis. Dengan kata lain beban dinamis mengakibatkan deformasi yang lebih besar pada sampel.

Kata Kunci : *KAO, ITSM, Fatigue, Static creep, dynamic creep*

PERFORMANCE OF THE *STIFFNESS*, *FATIGUE*, AND *CREEP* OF *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)* HOT ASPHALT MIXED

ABSTRACT

Damage type that common happens to Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) is the crack due to fatigue. This research objective is to analyze the performance of the stiffness, fatigue, static creep and dynamic creep of the AC-WC hot asphalt mix to optimum asphalt content. The research was conducted at Road Laboratory of the Civil Engineering Department, Udayana University. The mixture was produced in hotmix and tested with Marshall procedure. The method used in testing stiffness, fatigue and creep testing refers to the British Standard. The equipment that is used is the Dynapave UTM 30. Based on the research it was found out that the optimum asphalt content (OAC) of AC-WC mix was 6.05%. The ITSM value at temperature of 10°C, 20°C, 30°C were 6175 MPa, 4356 MPa, 3790 MPa, respectively. The fatigue performance on dynamic loading at pressure of 300 kPa failed at 37,401 times of load repetition, at pressure of 500 kPa failed at 15,513 times of load repetition, at pressure of 700 kPa failed at 3,866 times of load repetition. The static creep performance was 20.84 MPa. The stiffness of creep dynamic was 13.69 MPa. In general comparison, between the test result of the static creep and dynamic creep shows that with dynamic load the sample gave bigger strain so its stiffness becomes smaller, compared to the static load. In other words, the dynamic load causes bigger deformation.

Keywords: *KAO, ITSM, Fatigue, Static creep, dynamic creep*

1. PENDAHULUAN

Kinerja Stiffness, Fatigue, dan Creep Campuran Aspal Panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)

Dengan perkembangan lalu lintas yang semakin padat dan perubahan cuaca yang semakin tidak menentu, akan sangat berpengaruh pada kualitas permukaan jalan yang tidak jarang berakibat pada kerusakan fisik jalan. Bila kerusakan pada lapis permukaan jalan tidak segera ditindak lanjuti, maka besar kemungkinan akan mempengaruhi struktur lapisan di bawahnya.

Jenis kerusakan yang sering terjadi pada Laston AC-WC adalah keretakan yang saling berkaitan akibat kelelahan (*fatigue*) akibat beban berulang. Pada perkerasan tipis (lapis aus AC-WC) keretakan umumnya terjadi dari bawah di mana terjadi tegangan tarik. Kelelahan merupakan suatu fenomena timbulnya retak akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang batasnya masih dibawah batas kekuatan material (Yoder et.al, dalam Pradani,2012). Sedangkan kekakuan (*stiffness*) menunjukkan kemampuan campuran aspal untuk menyebarkan beban dan dinyatakan dengan modulus elastisitas. Selain itu kerusakan yang terjadi pada daerah tanjakan, turunan, persimpangan, dan pintu tol umumnya adalah deformasi plastis. Hal ini karena sebagai pengaruh lalu lintas berat dan waktu pembebanan relatif lama serta akibat sering terjadinya akselerasi dan deakselerasi (Nono,2004).

Agregat alam masih mendominasi penggunaannya untuk campuran laston saat ini. Permasalahan kerusakan yang begitu cepat yang ditemui dilapangan di beberapa lokasi khususnya pada jalur lalu-lintas berat dengan material agregat alam yang bersumber dari Karangasem mendorong perlu dilakukannya uji laboratorium “Kinerja *stiffness*, *fatigue*, dan *creep* campuran aspal panas *asphalt concrete wearing course* (AC-WC) dengan agregat alam Karangasem.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait kinerja kekakuan (*stiffness*), seperti penelitian yang dilakukan oleh Purbanto dkk (2015) yaitu campuran AC-WC dengan bahan utama dari bongkaran aspal beton lama (RAP) dan Autoclaved Aerated Concrete (AAC) sebagai filler didapatkan nilai *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM) sebesar 7325 Mpa. Penelitian lainnya yang masih berhubungan yang dilakukan oleh Thanaya dkk (2015) dengan campuran Latasir dengan perekat aspal emulsi dan material dari garukan aspal lama (*reclaimed asphalt pavement*-RAP) didapat nilai *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM) sebesar 4356 Mpa, dengan nilai rangkai dinamis (*dynamic creep*) sebesar 8000 microstrain dan pada pembebanan dinamis uji kelelahan dengan tekanan 300, 500, dan 700 kPa, sampai 40.000 (empat puluh ribu) kali pengulangan beban campuran tersebut tidak mengalami keruntuhan.

Sehubungan dengan hal tersebut, dilakukan perbandingan hasil uji sampel dengan terhadap campuran lain berupa AC-WC dengan bahan utama dari bongkaran aspal beton lama (RAP) dan Autoclaved Aerated Concrete (AAC) sebagai filler (Purbanto dkk 2015) dan campuran Latasir dengan perekat aspal emulsi dan material dari garukan aspal lama (*reclaimed asphalt pavement*-RAP) (Thanaya dkk. 2015).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Modulus kekakuan tarik tak langsung (*indirect tensile stiffness modulus*-ITSM)

Campuran aspal lebih sensitif terhadap tegangan tarik dari pada tegangan tekan, karena itu perlu dilaksanakan pengujian terhadap modulus kekakuan tarik campuran aspal. Pengujian kekakuan dihitung melalui rumus berikut (BS EN 12697-26:2012):

$$E = \frac{F \times (v + 0.27)}{(z \times h)} \quad (1)$$

$$E' = E \times (1 - 0.322 \times (\log(E) - 1.82) \times (0.60 - k)) \quad (2)$$

Dimana,

- E = ITSM dalam MPa;
- F = Beban vertical puncak dalam Newton (N);
- Z = Deformasi horizontal (mm);
- v = Poisson's ratio;
- h = Tebal sampel (mm);
- E' = ITSM dalam MPa, yang sudah disesuaikan dengan load factor 0.60;
- K = *load area factor* yg diukur.

2.2. Kelelahan (*fatigue*)

Fatigue adalah keretakan yang diakibatkan oleh regangan dan tegangan yang berulang. Ketahanan terhadap *fatigue*, atau umur *fatigue* (*fatigue life*) adalah lebih besar pada temperatur rendah karena campuran aspal lebih kaku (Whitoeak, 1991). Untuk pengujian kelelahan digunakan rumus sebagai berikut (BS EN 12697-24:2012):

$$\sigma = \frac{2F}{\pi \times t \times \Omega} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{2\Delta H}{\Omega} \right) \times \left[\frac{1 + 3\nu}{4 + \pi \times \nu - \pi} \right] \quad (4)$$

$$S_{mix} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \times (1 + 3\nu) \quad (5)$$

Dimana:

- σ = tekanan tarik horizontal pada bagian pusat sampel (MPa)
- F = beban dalam Newton (N)
- t = tebal sampel (mm)
- Ω = diameter sampel (mm)
- ΔH = deformasi horizontal (mm)
- ε = regangan horizontal dalam mikron per meter ($\mu m/m$)
- ν = *poisson's ratio*
- S_{mix} = stiffness modulus

2.3. Ketahanan deformasi (*creep test*)

Ketahanan deformasi adalah kemampuan sample untuk menerima pengulangan beban dalam jangka waktu tertentu. Faktor yang mempengaruhi kinerja rangkai adalah penetrasi aspal, gradasi agregat, bentuk tekstur agregat, penguncian agregat, dan tingkat pemadatan. Untuk pengujian kekakuan digunakan rumus sebagai berikut (BS EN 12697-25:2005):

$$\varepsilon_n = 100 \times \left(\frac{h_o - h_n}{h_o} \right) \quad (6)$$

Dimana:

- ε_n = regangan aksial kumulatif pada n aplikasi beban (%)
- h_o = tinggi sampel rata-rata setelah diberi beban awal (*pre load*) (mm)
- h_n = tinggi sampel rata-rata setelah diberi n aplikasi beban (mm)

$$E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_n} \times 1000 \quad (7)$$

Dimana:

- E_n = modulus kekakuan rangkai (*creep stiffness modulus*) setelah aplikasi n beban (MPa)
- σ = tekanan (kPa)
- ε_n = regangan aksial kumulatif setelah aplikasi n beban (%)

Nilai dari kemiringan kurva rangkai dinamis diperoleh dari persamaan linier pada grafik antara regangan dengan jumlah pengulangan beban pada *secondary stage*. Berdasarkan *trend line* maka akan diperoleh persamaan linear:

$$y = ax + b \quad (8)$$

dimana a adalah kemiringan kurva, yang kemudian dicek pada Tabel 1.

Tabel 1 Tipikal kemiringan minimum *dynamic creep*

Temperatur tahunan rata-rata perkerasan (°C)	Beban lalu lintas berat >10 ⁶ ESA	Beban lalu lintas sedang 5x10 ⁵ - 10 ⁶ ESA	Beban lalu lintas ringan < 5x10 ⁵ ESA
> 30	< 0.5	0.5 - 3	> 3 - 6
20 -30	< 1	1 - 6	> 6 - 10
10 - 20	< 2	2 - 10	-

Sumber: Alderson,1995

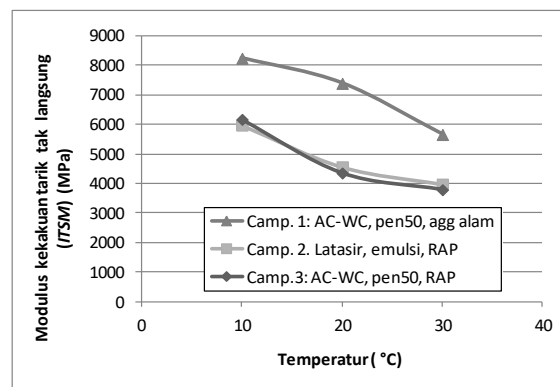
3. METODE

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian material (agregat dan aspal) terlebih dahulu selanjutnya material diproporsikan sesuai gradasi yang telah dipilih. Selanjutnya dapat dihitung estimasi kadar aspal awal. Untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO), dilakukan dengan membuat lima variasi kadar aspal. Setelah benda uji selesai dibuat, dilanjutkan dengan pengukuran volumetrik, PRD dan Test Modifikasi Marshall. Pada KAO dilakukan pengujian sampel *stiffness*, *fatigue* dan *creep*. Hasil dari pengujian tersebut dianalisis dan dibandingkan dengan data sekunder dari penelitian Purbanto dkk. (2015) yaitu campuran AC-WC dengan bahan utama dari bongkaran aspal beton lama (RAP) dan Autoclaved Aerated Concrete (AAC) sebagai filler, dan penelitian dari Thanaya dkk. (2015) dengan campuran Latasir dengan perekat aspal emulsi dan material dari garukan aspal lama (*reclaimed asphalt pavement*-RAP) sehingga didapatkan kesimpulan dan saran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil uji modulus kekakuan

Hasil uji modulus kekakuan tarik tak langsung (*ITSM*), disajikan pada Gambar 1



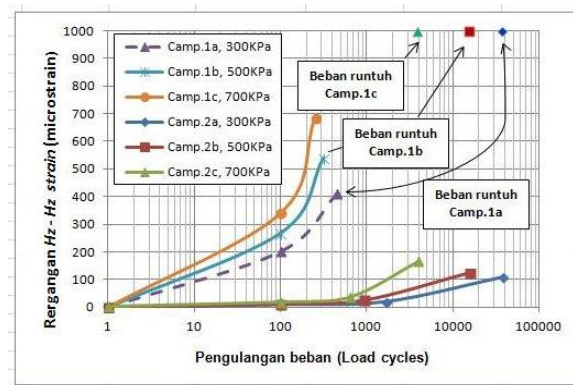
Gambar 1
Hasil uji modulus kekakuan

Kekakuan campuran 1 pada temperatur 10°C, 20°C, 30°C berturut-turut 6175 MPa, 4356 MPa, 3790 MPa, kekakuan campuran 2 pada temperatur 10°C, 20°C, 30°C berturut-turut 5980 MPa, 4568 MPa, 3980 MPa, kekakuan campuran 3 pada temperatur 10°C, 20°C, 30°C berturut-turut 8245 MPa, 7395 MPa, 5662 MPa. Nilai *ITSM* lebih besar pada temperatur yang lebih kecil, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang menjadi lebih kaku pada temperatur yang lebih rendah. Kekakuan campuran 3 lebih kaku dibandingkan campuran 1 dan campuran 2 karena material yang dipergunakan pada campuran 3 adalah RAP dan aspal pen 60/70 yang kandungan aspalnya sudah mengalami penuaan (*ageing*).

4.2. Hasil uji kelelahan (*fatigue*)

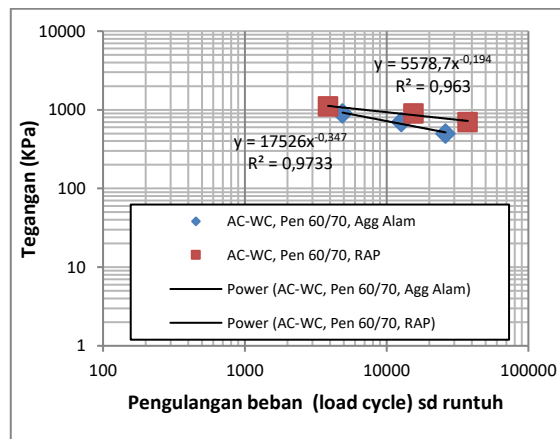
Kinerja kelelahan Camp.1 dan Camp 2, disajikan pada Gambar 2 Pada pembebanan dinamis uji kelelahan dengan tekanan 300, 500, dan 700 kPa, sampai 40.000 (empat puluh ribu) kali pengulangan beban, Camp. 1 mengalami keruntuhan sebelum 40.000 kali beban berulang. Sedangkan Camp. 2, tidak mengalami keruntuhan.

Keruntuhan bisa juga dikaji dengan cara lain, yaitu dengan mencari/membandingkan jumlah pengulangan beban, pada regangan yang besarnya dua kali regangan saat beban berulang 100 kali.



Gambar 2
Kinerja *fatigue* camp. 1 dan camp. 2

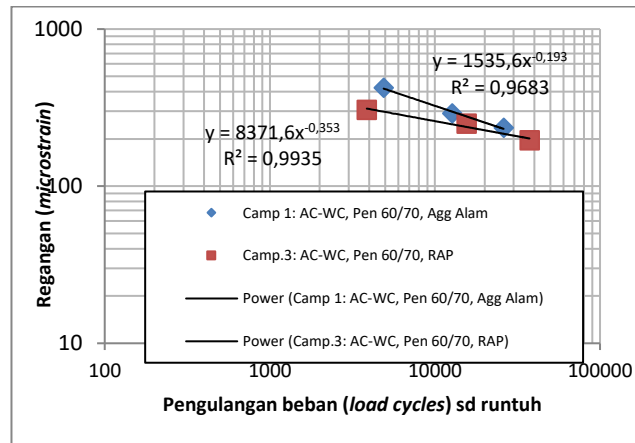
Kinerja *fatigue* Camp.1 dibandingkan juga dengan Camp.3. Hubungan antara beban berulang dan 3 tingkat tekanan disajikan dengan skala log pada Gambar 3. Kemudian dibuat garis regresi (*power line*) untuk mencari hubungan liniernya. Kalau garis regresi diperpanjang, untuk suatu tekanan tertentu, Camp.1 runtuh lebih cepat dari Camp.3. Hal ini menunjukkan Camp 1 mengalami *fatigue* lebih awal dari pada Camp3.



Gambar 3
Hubungan beban berulang dan tegangan camp. 1 dengan camp. 3

Hubungan antara beban berulang dan regangan Camp 1 dan Camp.3 diberikan pada Gambar 4. Seperti halnya pada Gambar 3, bila garis regresi diperpanjang, ditunjukkan bahwa untuk mencapai regangan tertentu, diperlukan jumlah beban yang lebih besar pada Camp.3, dibandingkan Camp. 1. Hal ini juga menunjukkan Camp. 3 lebih mampu menahan kelelahan dari pada Camp 1. Hal ini terjadi karena Camp. 3, lebih kaku namun masih cukup lentur.

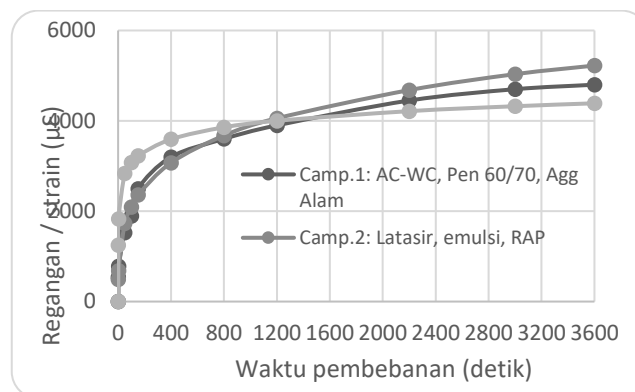
Diantara Camp.1, 2, dan 3, Camp. 1 memiliki kinerja kelelahan paling baik, karena tidak runtuh pada pembebanan berulang sampai 40.000 kali. Hal ini karena Camp.1 memiliki kadar aspal yang lebih tinggi dan gradasi yang lebih halus (Cooper and Pell, 1974 dan Sousa et. al., 1998).



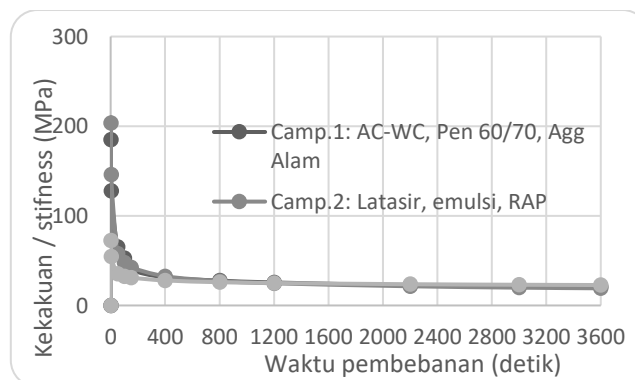
Gambar 4
Hubungan beban berulang dan regangan camp. 1 dengan camp. 3

4.3. Hasil uji rangkak (creep static creep)

Hasil uji *static creep* disajikan pada Gambar 5 dan 6. Hasil uji pada akhir waktu pembebanan 3600 detik dengan tekanan 100 kPa, memberi Regangan yang tidak terlalu berbeda (Gambar 5), sehingga demikian juga dengan kekakuan rangkak statis-nya (*static creep stiffness*), yang diperlihatkan pada Gambar 6.



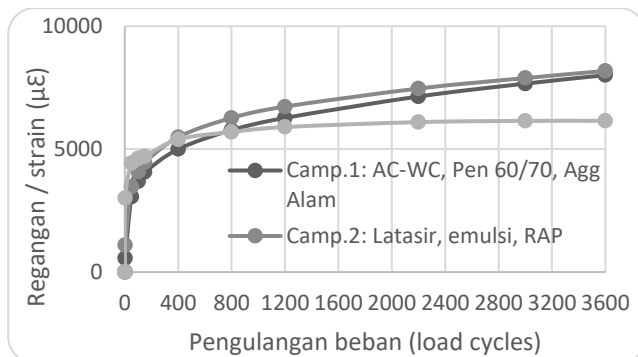
Gambar 5
Regangan hasil uji *static creep*



Gambar 6
Kekakuan rangkak statis (*static creep stiffness*)

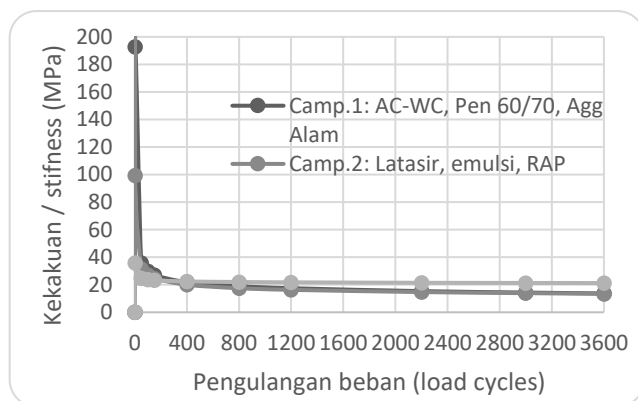
4.4. Dynamic creep

Hasil uji rangkai dinamis (*dynamic creep*) disajikan pada Gambar 7 dan 8. Camp.1 dan 2 memberi regangan yang relatif sama. Campuran 3, memberi regangan yg lebih kecil yang artinya memiliki ketahanan deformasi lebih baik.



Gambar 7.
Regangan hasil uji *dynamic static creep*

Gambar 8, menunjukkan kekakuan rangkai dinamis (*dynamic creep stiffness*) Camp.1 dan 2 yang relatif sama, pada pembebanan dinamis 100 kPa, sampai 3600 kali pengulangan beban. Camp.3, member kekakuan sedikit lebih besar sejalan dengan regangannya yang lebih kecil sesuai Gambar 7

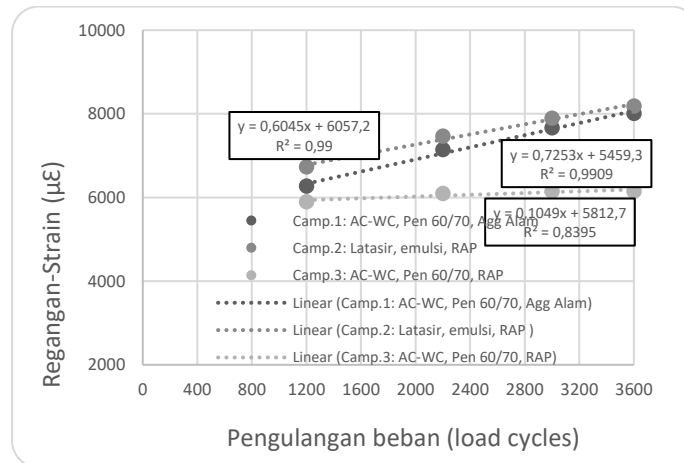


Gambar 8
Kekakuan rangkai dinamis (*dynamic static creep stiffness*)

Perbandingan secara umum, antara hasil uji *static creep* (Gambar 5 dan 6) dan *dynamic creep* (Gambar 7 dan 8), menunjukkan bahwa pada beban dinamis, sampel mengalami regangan yang lebih besar sehingga kekakuannya menjadi lebih kecil, dibandingkan dengan beban statis. Dengan kata lain beban dinamis mengakibatkan deformasi yang lebih besar pada sampel.

4.5. Kemiringan rangkai dinamis (*dynamic creep slope*)

Kajian kemiringan rangkai dinamis, dilakukan pada bagian regangan yang memberi hubungan linier antara beban berulang dan regangan yang terjadi (Gambar 6 dan 8). Untuk itu diambil nilai regangan pada beban berulang 1200, 2200, 3000 dan 3600, yang digambarkan pada Gambar 9. Titik-titik koordinat pengulangan beban dan regangan, di hubungkan dengan garis regresi linier. Nilai koefisien variabel x adalah kemiringan (*slope*) campuran yang bersangkutan. *Slope* yang lebih kecil menunjukkan ketahanan deformasi yang lebih baik. Dari ketiga campuran, Camp.1 dan 2, memiliki *slope* yang tidak jauh berbeda. Camp.3 memiliki *slope* yang terkecil, yang artinya memiliki ketahanan deformasi yang paling baik, atau paling kaku.



Gambar 12
Kemiringan rangkak dinamis (*dynamic creep slope*)

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. Kinerja AC-WC pada Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah:
 - a. Kinerja kekakuan (*stiffness*) campuran AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan agregat alam pada temperatur 10°C, 20°C, 30°C berturut-turut 6175 MPa, 4356 MPa, 3790 MPa. Nilai ITSM lebih besar pada temperatur yang lebih kecil, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang menjadi lebih kaku pada temperatur yang lebih rendah.
 - b. Kinerja kelelahan (*fatigue*) campuran AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan agregat alam pada pembebanan dinamis dengan tekanan 300, 500, dan 700 kPa, sampai 40.000 (empat puluh ribu) kali pengulangan, pada tekanan 300 kPa runtuh pada 37401 kali pengulangan beban, pada tekanan 500 kPa runtuh pada 15513 kali pengulangan beban, pada tekanan 700 kPa runtuh pada 3866 kali pengulangan beban
 - c. Kinerja rangkak statis (*static creep*) campuran AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan agregat alam hasil uji pada akhir waktu pembebanan 3600 detik dengan tekanan 100 kPa yaitu regangan sebesar 4800 µε dan memberikan kekakuan sebesar 20,84 MPa
 - d. Kinerja kekakuan rangkak dinamis (*dynamic creep stiffness*) campuran AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan agregat alam pada pembebanan dinamis 100 kPa, sampai 3600 kali pengulangan beban memberikan regangan sebesar 8184,17 µε dan memberikan kekakuan sebesar 13,69 MPa. memberi *slope* (kemiringan) 0,725 yang bisa untuk perkerasan dengan beban lalu lintas sedang.
2. Perbandingan kinerja *siffness*, *fatigue*, *static creep* dan *dynamic creep* AC – WC aspal penetrasi 60/70 agregat alam (camp.1) dengan Latahir perekat aspal emulsi dan material RAP (camp.2) dengan AC-WC perekat aspal penetrasi 60/70, dan RAP (camp.3) adalah:
 - a. Perbandingan Kinerja kekakuan campuran 1 AC-WC aspal penetrasi 60/70 agregat alam dibandingkan campuran 2 Latahir perekat aspal emulsi dengan RAP dengan campuran 3 AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan RAP Kekakuan campuran 3 lebih kaku dibandingkan campuran 1 dan campuran 2. hal ini disebabkan karena campuran AC-WC dengan RAP kandungan aspal nya telah mengalami penuaan (*ageing*), hal ini juga didukung oleh nilai stabilitas marshall yang lebih tinggi.
 - b. Kinerja kelelahan (*fatigue*) campuran 1 AC-WC aspal pentrasi 60/70 agregat alam dibandingkan campuran 2 Latahir perekat aspal emulsi dengan RAP dengan campuran 3 AC-WC menggunakan perekat aspal penetrasi 60/70 dengan RAP yaitu Diantara campuran 1, 2, dan 3, campuran 2 memiliki kinerja kelelahan paling baik, karena tidak runtuh pada pembebanan berulang sampai 40.000 kali.
 - c. Kinerja rangkak statis (*static creep*) dibandingkan dengan campuran 1,2,dan 3 relatif sama pada akhir waktu pembebanan 3600 detik dengan tekanan 100 kPa campuran 1

memberikan kekakuan sebesar 20,84 MPa, campuran 2 sebesar 19,15 MPa, dan campuran 3 sebesar 22,79 MPa.

- d. Kinerja kekakuan rangkai dinamis (*dynamic creep stiffness*) dibandingkan dengan campuran 1, 2, dan 3 yaitu campuran 1 dan 2 memberi regangan yang relatif sama, campuran 3 memberi regangan yang lebih kecil yang artinya memiliki ketahanan deformasi lebih baik.

5.2. Saran

Dari hasil simpulan penelitian ini adapun saran yang dapat diberikan adalah :

1. Set up parameter uji *indirect tensile stiffness modulus* (ITSM), kelelahan (*fatigue*), ketahanan deformasi (*creep*) disesuaikan dengan standar terbaru yang ada
2. Pengujian dilakukan pada variasi temperatur perkerasan lapangan 30-50° C

DAFTAR PUSTAKA

- Aderson, A. 1995. *Gyropac and Matta Training Course*. Australian: Australian Road Research Board Ltd.
- AASHTO, 1998a. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Nineteenth Edition Part I. Washington D.C.
- AASHTO, 1998b. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Nineteenth Edition Part II. Washington D.C.
- ASTM, 1997. *Road and Paving Materials Vehicle – Pavement Systems*. Washington D.C : The American Society of Testing Material Officials.
- Atkins, H. N. 1997. *Highway Materials, Soils and Con cretes*. 3th Edition Prentice Hall. New Jersey.
- Alderson, A. 1995. *Gyropac and Matta Training Cours*. Australian Road Research Board Ltd.
- Beneto, D. and Roche D. L.. 1998. State of the Art of Stiffnes Modulus and Fatigue of Bituminous Mixture In Bituminous Binder and Mixes. *Rilem Report 17th, Belgian Road Research Centre*. Brussels. Belgium. Edited by Francken L.. pp. 137-180. E & F Spon. London.
- British Standards Institution. 2005. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt, Part 25: Cyclic compression test*. BS EN 12697-25:2005.
- British Standards Institution. 2012. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt, Part 26:Stiffness*. BS EN 12697-26:2012.
- British Standard Institution. 2012. *Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt, Part 24: Resistance to fatigue*. BS EN 12697-24:2012.
- Cooper, K. E. and Pell, P. S. 1974. The effect of mix variables on the fatigue strength of bituminous materials. Transport and Road Research Laboratory, Report 633.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2015. *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas 2010 Revisi 3*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Krebs, R.D. and Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*. McGraw-Hill Book Company.
- Nono, 2011. *Pengaruh Waktu Pembebanan Terhadap Beton Aspal Lapis Permukaan*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Bandung.
- Pradani dkk, 2012. *Kinerja Kelelahan Campuran Beton Aspal Lapis Aus Menggunakan Material Hasil Daur Ulang dan Polimer Styrene-Butadiene-Styrene*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi ITB Bandung.
- Purbanto, I G.R. Mataram, I N. K. 2015, Studi Sifat Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (Ac-Wc) Dengan Bahan Utama Bongkaran Aspal Beton Lama Dan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) Sebagai *Filler*, Laporan Akhir Penelitian Hibah Penelitian Dosen Muda, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Udayana.
- Shell Bitumen, 1990. *The Shell Bitumen Hand Book*. East Molesey Serrey: Shell Bitumen.
- Sousa, B. Jorge, Pais, C. Jorge, Prates, Manuel et al. 1998. Effect of Aggregate Gradation on Fatigue Life of Asphalt Concrete Mixes, Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board, no. 1630, Washington, D.C.
- Soehartono, 2010. *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta: P.T. Mediatama Sapta karya.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Granit.
- Sukirman, S. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta, Yayasan Obor Indonesia.

Kinerja Stiffness, Fatigue, dan Creep Campuran Aspal Panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)

- The Asphalt Institute, 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*. Manual Series No. 2 (MS-2). Lexington USA: Asphalt Institute.
- Thanaya, I N.A.. 2003. *Improving The Performance Of Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CBEMs) Incorporating Waste Materials (Thesis)*. Leeds: The University of Leeds.
- Thanaya, I N.A.. 2017. *Manual Prosedur Uji Sampel (Dynapave Universal Testing Machine (UTM) 30)*. Badung: Universitas Udayana.
- Thanaya, I N.A. 2008. *Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran.
- Thanaya, I N. A, Purbanto, I G. R. 2015, Karakteristik Campuran Latasir Yang Menggunakan Hasil Garukan Aspal Lama Dengan Penambahan Aspal Emulsi, Laporan Akhir Penelitian Hibah Unggulan Program Studi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Udayana.
- Whitoeak, D. 1991. *The Shell Bitumen Hand Book*. UK: Shell Bitumen.