

## PENGGUNAAN CAMPURAN PLASTIK DAN KACA KITAR SEMULA SEBAGAI AGREGAT GANTIAN DALAM CAMPURAN BERASFALT

Nur Mustakiza Zakaria\*, Derma Nur Ashikin Nong Radzif, Mohammad Kamal Hassan, Asmah Hamim, Nur Izzī Md. Yusoff

Jabatan Kejuruteraan Awam & Struktur, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

### Article history

Received

19 November 2015

Received in revised form

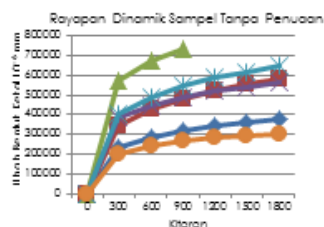
27 March 2015

Accepted

1 August 2015

\*Corresponding author  
mustakizakaria@gmail.com

### Graphical abstract



### Abstract

The major problem in landfill is the large amount of solid wastes dumped in landfill. Waste plastics and glass contribute greatly to the problem and this needs to be managed in order to extend the life of landfill sites. Hence, this study was conducted to investigate the feasibility of using these waste materials in asphalt mixtures for pavement applications. The mixtures were designed by means of the Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave) method. Various types of recycled waste plastics and glasses; namely bottle glass, LCD glass and sheet glass were selected in this study. Approximately 5% of recycled materials (by the total weight of asphalt mixtures) were used as an aggregate replacement. In this study, asphalt mixtures were aged in the laboratory to simulate the in-situ conditions of short-term and long-term ageing. After completion, samples were tested for resilient modulus, dynamic creep and static creep tests. It was found that replacements of 1% recycled plastics and 4% recycled glass show almost similar and satisfactory result compared to control sample for all tests. Consequently, recycled plastics and recycled glass, at their optimum blending, can be considered feasible to be used as an aggregate replacement in asphalt mixtures for road surfacing.

Keywords: Asphalt mixture, recycled glasses, recycled plastics, ageing, resilient modulus, dynamic creep

### Abstrak

Masalah utama di tapak pelupusan adalah sisa pepejal dibuang di tapak pelupusan dalam jumlah yang agak besar. Sisa plastik dan kaca paling banyak menyumbang kepada masalah ini. Perkara ini perlu diuruskan untuk memanjangkan hayat tapak pelupusan. Oleh itu, kajian ini telah dijalankan untuk mengkaji keberkesanan penggunaan bahan-bahan buangan di dalam campuran berasfalt untuk aplikasi turapan jalan raya. Campuran telah direka bentuk dengan menggunakan kaedah Superpave. Sisa plastik dan kaca kitar semula seperti kaca botol, kaca LCD dan lembaran kaca telah dipilih dalam kajian ini dan kemudiannya, campuran berasfalt ini diuji di bawah pelbagai keadaan iaitu tanpa penuaan, penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang dalam makmal untuk menggambarkan keadaan di tapak. Campuran berasfalt tersebut diuji dengan ujikaji modulus kebingkasan, ujikaji rayapan statik dan ujikaji rayapan dinamik untuk mengenalpasti prestasinya. Gantian campuran 1% plastik dan 4% kaca menunjukkan hasil yang hampir sama dan memuaskan berbanding sampel kawalan bagi semua ujikaji. Oleh yang demikian, plastik dan kaca kitar semula, pada pengadunan yang optimum, boleh dianggap sesuai digunakan sebagai pengganti agregat dalam campuran berasfalt pada permukaan jalan.

Kata kunci: Campuran berasfalt, kaca kitar semula, plastik kitar semula, penuaan, modulus kebingkasan, rayapan dinamik

© 2015 Penerbit UTM Press. All rights reserved

## 1.0 PENGENALAN

Risiko yang menyumbang kepada kerosakan jalan raya semakin meningkat dengan peningkatan penggunaan lalu lintas di jalan raya. Kebanyakan jalan raya yang dibina melebihi usia 20 tahun dan sehingga suatu jangkamasa, ia memerlukan penyelenggaraan bagi mengekalkan kualiti dan tahap perkhidmatannya [1]. Kerosakan jalan raya merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh pengguna jalan raya. Masalah ini telah menyebabkan kerajaan terpaksa membelanjakan jumlah yang besar untuk penyelenggaraan jalan. Oleh itu, kajian perlulah dilakukan bagi mengenal pasti suatu kaedah alternatif yang boleh diaplikasikan dalam penyelenggaraan jalan raya seterusnya dapat mengurangkan kos perbelanjaan. Al-Salem *et al.* [2] menyatakan bahawa bahan buangan seperti kaca dan plastik boleh dikitar dan digunakan sebagai agregat sekunder di dalam penyediaan campuran berasfalt. Bahan ini mempunyai tingkah laku dinamik yang lebih baik di mana ia boleh menahan beban trafik dalam jangka masa yang panjang.

Dalam kajian Airey *et al.* [3], dari segi praktisnya, peralatan pembuatan dan kaedah turapan untuk rekabentuk campuran berasfalt konvensional boleh juga digunakan untuk campuran berasfalt yang mengandungi kaca kitar semula. Syarikat RMC (sekarang dikenali sebagai CEMEX) United Kingdom telah menggunakan kaca kitar semula sebagai lapisan penghausan dan tapak pada kadar 30% gantian agregat. Manakala, pada 2002 campuran berasfalt yang mengandungi 10% kaca kitar semula telah digunakan dalam projek penurapan semula oleh Tarmac Situsec. *Waste Resource Action Programme* (WRAP) telah merekodkan aplikasi ini sebagai kos neutral. Sebelum itu, Airey *et al.* [3] membandingkan antara sampel biasa, campuran berasfalt yang mengandungi kaca dan agen anti pelucutan. Didapati bahawa campuran terubahsuai berasfalt mempunyai ketahanan modulus yang lebih tinggi walaupun selepas empat jam kitaran, walaupun campuran ini tidak membawa kepada peningkatan terhadap ketahanan kelembapan.

Su dan Chen [4] juga menyatakan bahawa kandungan bitumen boleh dikurangkan jika kaca dicampurkan dengan banyak di dalam campuran berasfalt. Tambahan pula, Arabani [5] menyimpulkan bahawa bentuk (kesegian) zarah kaca yang lebih besar boleh meningkatkan jangka hayat campuran berasfalt kerana ia akan membentuk sudut geseran dalaman yang lebih tinggi. Dalam kajian Huang *et al.* [6], plastik kitar semula sama seperti tayar getah di mana ia boleh menggantikan nisbah agregat dan bertindak sebagai pengikat. Penggunaan tayar getah dalam campuran berasfalt mempunyai dua pendekatan berbeza. Pertama ialah untuk melarutkan ke dalam bitumen sebagai pengikat, kedua adalah sebagai gantian nisbah agregat [7]. Dalam kajian ini campuran plastik kitar semula akan digunakan dalam campuran berasfalt sebagai gantian nisbah agregat. British Plastics Federation menyatakan penggunaan

plastik kitar semula dapat mengurangkan penggunaan tenaga dan pelepasan gas karbon dioksida. Kegunaan utama plastik kitar semula adalah untuk penebat, saluran dan paip. Setakat ini, plastik kitar semula adalah sangat sedikit digunakan di dalam pembinaan turapan [8].

Oleh itu, kajian ini telah dilakukan dan matlamat utama kajian adalah untuk menilai kesesuaian kaca dan plastik kitar semula sebagai pengganti agregat di dalam penyediaan campuran berasfalt serta mengenal pasti prestasi campuran yang didedahkan kepada pelbagai keadaan iaitu keadaan asal, penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang.

## 2.0 KAEDAH KAJIAN

### 2.1 Bahan

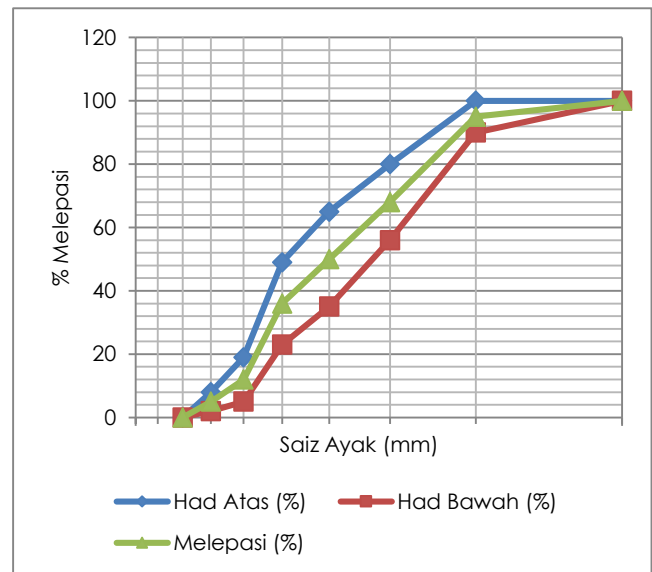
Dalam kajian ini, bahan yang digunakan adalah bitumen, agregat, batu kapur, campuran plastik kitar semula dan tiga jenis kaca kitar semula iaitu kaca botol, lembaran kaca dan kaca LCD. Rajah 1 menunjukkan saiz agregat yang diguna pakai serta carta penggredan agregat. Jadual 1 pula menunjukkan ciri-ciri bitumen bergred penusukan 60/70 yang telah digunakan sebagai bahan pengikat manakala Jadual 2 menunjukkan senarai penggredan bahan kitar semula yang digunakan. Semua saiz bahan kitar semula telah digunakan bagi memudahkan untuk penggunaan komersial dan juga bagi mengelakkan kos tambahan pemprosesan bahan kitar semula. Campuran plastik dan kaca kitar semula digunakan bagi menggambarkan keadaan sebenar bahan-bahan kitar semula di tapak pelupusan. Graviti tentu bagi bahan-bahan yang digunakan dalam kajian ini disenaraikan dalam Jadual 3.

### 2.2 Penyediaan Sampel

Dalam ujikaji ini, campuran simen asfalt bergred tumpat biasa dan terubahsuai telah disediakan dengan menggunakan kaedah Superpave. Prosedur untuk menyediakan sampel Superpave adalah merujuk kepada AASHTO T312 yang diterbitkan oleh Institut Asfalt Reka Bentuk Superpave, SP-2, edisi ke-3, "*Preparing and Determining the Density of Hot-Mix Asphalt (HMA)*". Kandungan pengikat optimum yang digunakan biasanya adalah sekitar 4-6% , namun nilai yang tepat akan diukur semasa penyediaan sampel. Campuran berasfalt biasa dan terubahsuai telah direka bentuk dan tiga kumpulan sampel telah disediakan iaitu :

- i. Campuran berasfalt konvensional, di mana ia digunakan sebagai sampel kawalan.
- ii. Campuran berasfalt yang mengandungi kaca atau plastik kitar semula.
- iii. Gabungan campuran kaca dan plastik kitar semula di dalam campuran berasfalt.

Kumpulan (i) mewakili 0% bahan kitar semula yang digunakan manakala kumpulan (ii) dan (iii) menggantikan 5% bahan kitar semula daripada berat keseluruhan campuran berasfalt sebagai pengganti agregat. Proses kering telah digunakan dalam penyediaan sampel ujikaji di mana bahan-bahan kitar semula telah dicampurkan dengan agregat sebelum bitumen ditambah. Di dalam kajian awal (pilot) ini, 6 jenis sampel ujikaji direka dengan pelbagai peratusan bahan kitar semula: Kawalan (0% Kaca 0% Plastik), 5% Kaca, 5% Plastik, 2.5% Plastik 2.5% Kaca, 4% Plastik 1% Kaca dan 1% Plastik 4% Kaca. Selain itu, batu kapur telah ditambah semasa penyediaan sampel bagi tujuan pengikatan [1] dan untuk mengekalkan rintangan pelucutan [6, 9-10]. Sampel-sampel ini kemudiannya menjalani proses penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang.



Rajah 1 Taburan saiz partikal agregat

Jadual 1 Ciri-ciri bitumen gred 60/70

Ujian Ke Atas Pengikat	Nilai	Unit	Spesifikasi	Kaedah
Penusukan @ 25 °C	63	0.1 mm	60-70	ASTM D5
Titik Lembut	47.2	°C	47 Min	ASTM D36
Kemuluran	>100	Cm	>100	ASTM D113
Graviti Tentu @ 25 °C	1.0354		D-70	ASTM D70
Titik Kilat	318	°C	250 Min	D-92
Larutan di dalam Trichloroethylene	99.5	wt %	99.5 Min	D-2042
Kandungan Wax	1.84	wt %	2.0 Max	DIN 52015
Kehilangan Nyalaan	0.2	wt %	0.2 Max	D-5
Penusukan Baki	76.0	% asal	75 Min	D-5

Jadual 2 Penggredan bahan kitar semula

Saiz Ayak	Peratus Lepas			
	Botol	Kaca LCD	Lembaran	Plastik
19 mm	0	1	0	0
9.5 mm	0	8.96	0	0
4.75 mm	1.27	23.22	3.48	21.69
2.36 mm	37.73	26.51	29.94	75.14
300 µm	56.39	29.40	56.20	3.17
75 µm	3.54	1.37	7.56	0
Dust	1.07	9.54	2.82	0

Jadual 3 Graviti tentu bahan

Bahan	Graviti Tentu (g/cm <sup>3</sup> )	
Agregat	19 mm	2.61
	9.5 mm	2.64
	4.75 mm	2.64
	2.36 mm	2.54
	300 µm	2.53
	75 µm	2.64
	Dust	2.65
Bahan Kitar Semula	Kaca botol	2.26
	Lembaran kaca	2.38
	LCD kaca	2.64
	Plastik campuran	0.95
Batu Kapur	2.24	

### 2.2.1 Prosedur Penuaan

Semua sampel menjalani penyamanan campuran. Penyamanan campuran untuk kaedah reka bentuk ciri-ciri volumetrik campuran berasfalt digunakan untuk penyediaan makmal, campuran yang belum dipadatkan. Tiada penyamanan campuran diperlukan ketika menjalankan kawalan kualiti atau jaminan kualiti pada penghasilan campuran. Campuran diletakkan ke dalam bekas dan diratakan sehingga tebalnya antara 25 dan 50 mm. Campuran dan bekas kemudiannya diletakkan ke dalam ketuhar selama 2 jam  $\pm$  5 minit pada suhu  $130 \pm 3$  °C iaitu suhu yang sama digunakan untuk proses pemadatan. Campuran tadi dikacau selepas 60 minit untuk mengekalkan keseragaman suhunya.

Campuran penuaan jangka pendek diuji sifat mekanikalnya hanyalah sebelum campuran dipadatkan. Campuran diletakkan ke dalam bekas dan diratakan sehingga tebalnya sekitar 25 ke 50 mm. Campuran diletakkan ke dalam ketuhar selama 4 jam  $\pm$  5 minit pada suhu  $135 \pm 3$  °C. Campuran dikacau setiap 60  $\pm$  5 minit untuk mengekalkan keseragaman suhunya. Selepas 4 jam  $\pm$  5 minit, campuran dikeluarkan dari ketuhar. Kaedah penuaan dalam ketuhar digunakan untuk memastikan suhu adalah tetap seluruh ketuhar. Manakala campuran penuaan jangka panjang pula diuji sifat mekanikalnya selepas campuran dipadatkan. Sampel yang telah dipadatkan diletakkan ke dalam ketuhar pada suhu  $85 \pm 3$  °C, selama 120 jam  $\pm$  5 minit. Selepas 120 jam  $\pm$  5 minit, sampel dikeluarkan dan disejukkan pada suhu bilik.

### 2.3 Ujian Modulus Kebingkas

Ujian modulus kebingkas dijalankan dengan rujukan dari ASTM Standards :D 4123-82 (*Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*). Ujian ini ditakrifkan sebagai nisbah tekanan yang dikenakan ke atas terikan apabila beban dinamik dikenakan. Untuk mewujudkan tindak balas beban tayar kepada turapan, ujian modulus kebingkas digunakan untuk mengenalpasti elastik modulus campuran asfalt. Modulus kebingkas merupakan pembolehubah yang penting dalam reka bentuk mekanistik struktur turapan. Ia mengukur tindak balas turapan dalam dalam bentuk tekanan dinamik dan terikan.

Sebelum ujikaji dijalankan, sampel perlu dipanaskan selama dua jam sehingga mencapai suhu ujian. Ujikaji ini dijalankan pada dua suhu yang berbeza iaitu pada 25 dan 40°C. Pada suhu 25 °C, modulus kebingkas adalah petunjuk rintangan campuran kepada kelesuan, manakala modulus kebingkas pada suhu 40 °C merupakan rintangan campuran kepada aluran. Sampel dikenakan beban kitaran dalam bentuk gelombang sinusoidal. Beban dikenakan pada saat 0.1 dan mempunyai tempoh rehat 0.9 saat. Berdasarkan Tayfur *et al.* [11], masa pengulangan pulsa 1000 ms dipilih untuk isipadu trafik yang tinggi, manakala 3000 ms simulasi untuk isipadu trafik yang rendah. Parameter-parameter yang digunakan di dalam ujikaji modulus kebingkas adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 4.

Jadual 4 Parameter ujian modulus kebingkas

Parameter	Nilai
Suhu (°C)	25 dan 40
Lebar beban pulsa (ms)	310, 510, 1000
Masa pengulangan pulsa	3000
Beban	10% daripada kekuatan tegangan tidak langsung

## 2.4 Ujian Rayapan Dinamik

Ujian rayapan dinamik juga dikenali sebagai ujian beban paksi berulang menggunakan Mesin Ujikaji Universal (IPC-UTM-5) yang mengenakan tekanan unipaksi pulsa berulang ke atas sampel. Ujian ini dijalankan mengikut protokol yang dibangunkan oleh NCHRP-9-19 *Superpave Models, Draft Test Method W2 (7)*. Keputusan daripada ujian ini berguna untuk menganalisis pemadatan turapan pada peringkat awal ujian aluran, sifat turapan di bawah beban berulang dan perubahan bentuk kekal campuran asfalt yang mudah terjejas.

Ujian dijalankan pada suhu 40°C dan dikenakan pra beban selama 120 saat pada 10kPa sebagai tekanan pendinginan untuk memastikan plat beban terletak secara konsisten ke atas sampel. Suhu dalam ruang kawalan akan dikawal agar mencapai suhu yang telah ditetapkan dan sampel dipanaskan selama 2 jam untuk mencapai suhu seragam sebelum ujian dimulakan. Tekanan deviator setiap beban adalah 200kPa dan tekanan pulsa lebar adalah 0.1 s dan tempoh rehat adalah 0.9 s. Ujian dijalankan sehingga maksimum paksi terikan mencapai 10,000 mikro-terikan atau sehingga 3600 kitaran. Keputusan ubah bentuk paksi diukur. Terikan terkumpul direkodkan selepas setiap kitaran. Parameter-parameter yang digunakan di dalam ujian rayapan dinamik adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 5.

**Jadual 5** Parameter ujian rayapan dinamik

Parameter	Nilai
Suhu	40°C
Frekuensi	1000 ms
Beban bersentuh	15 kPa
Paksi terikan	Antara 75-150 mikro-terikan
Tekanan dinamik	100

## 2.5 Ujian Rayapan Statik

Ujian ini dijalankan merujuk kepada BS 598-111:1995. Piawaian British menerangkan tentang kaedah mengenalpasti rintangan kepada ubah bentuk kekal campuran asfalt pada suhu dan beban sama seperti apa yang dialami bahan-bahan ini di jalan. Kaedah ini juga boleh digunakan untuk menentukan peringkat campuran asfalt melalui rintangan ubah bentuk, sebagai panduan prestasi turapan. Selain itu, ia juga bertujuan untuk memperoleh data bagi membuat anggaran potensi ubah bentuk pada jalan.

Sampel yang sudah disediakan akan diuji menggunakan Mesin Ujian Universal. Keputusan daripada ujian ini berguna untuk menganalisis pemadatan turapan pada peringkat awal ujian aluran, sifat turapan di bawah beban statik dan perubahan bentuk kekal campuran asfalt yang mudah terjejas.

Jadual 6 menunjukkan nilai-nilai parameter yang digunakan di dalam ujian rayapan statik.

Sampel dipanaskan selama 2 jam pada suhu 40°C. Pastikan sampel diletakkan secara rata, permukaan melintang. Suhu ujian yang dicadangkan ialah 40°C. Paksi terikan ialah 100 kPa dan masa beban ialah 3600 s atau sehingga kegagalan telah berlaku. Pastikan plat beban bersih dan periksa jika ada kerosakan pada plat. Selepas sampel mencapai suhu yang dikehendaki, letakkan sampel tengah-tengah di plat bawah. Kemudian plat atas diletakkan di tengah-tengah sampel. Tetapkan parameter mesin dan lakukan pra beban sampel dengan beban bernilai 10 kPa selama 600 s.

**Jadual 6** Parameter ujian rayapan statik

Parameter	Nilai
Suhu	40°C
Frekuensi	1000 ms
Beban bersentuh	10 kPa
Masa	3600 s

## 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

### 3.1 Modulus Kebingkas

#### 3.1.1 Tanpa Penuaan

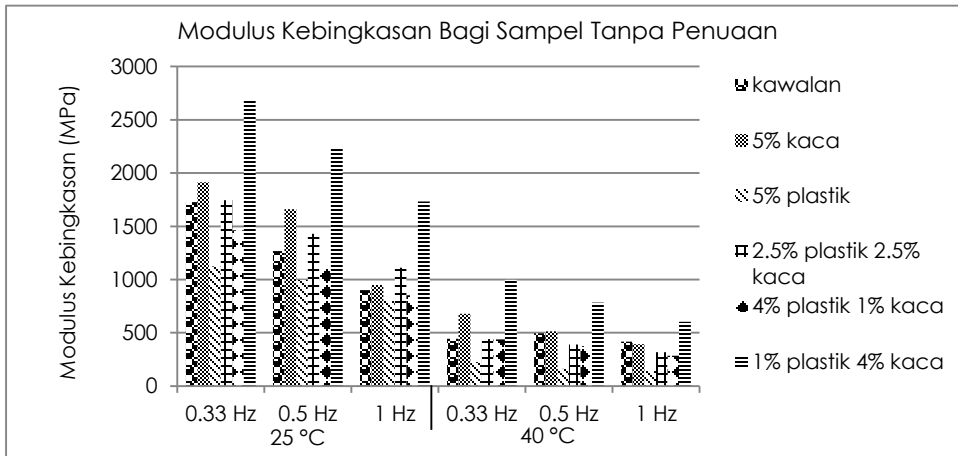
Rajah 2 menunjukkan data modulus kebingkas bagi sampel tanpa penuaan dengan tiga jenis frekuensi iaitu 0.33, 0.5 dan 1 Hz pada suhu 25 dan 40 °C. Arah (trend) keputusan untuk setiap frekuensi (0.33, 0.5 dan 1.0 Hz) adalah sama dari segi bentuknya, oleh itu hanya graf bagi frekuensi 0.33 Hz dibentangkan dalam bahagian ini. Berdasarkan Rajah 2, pada suhu 25 °C, 4% kaca dan 1% plastik menunjukkan yang paling kurang terdedah kepada kelesuan campuran berasfalt, dengan nilai modulus kebingkas yang paling tinggi iaitu 2691 MPa, diikuti oleh 5% kaca, 2.5% kaca dan 2.5% plastik, kawalan, 4% plastik dan 1% kaca dan 5% plastik. Peningkatan suhu menunjukkan nilai modulus kebingkas berubah sangat ketara dengan pengurangan kekukuhan pada suhu 40 °C. Pada frekuensi 0.33 Hz dalam ujian modulus kebingkas, keputusan menunjukkan 4% kaca dan 1% plastik mempunyai rintangan aluran yang paling baik dengan nilai modulus kebingkas yang tertinggi iaitu 997 MPa, diikuti oleh 5% kaca, kawalan, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 4% plastik dan 1% kaca dan 5% plastik. Hasil ini adalah bagus kerana menurut Airey et al. [1] menyatakan bahawa kehadiran kaca meningkatkan kekukuhan modulus dalam campuran berasfalt. Manakala, plastik kitar semula pula didapati mungkin telah mengalami pencairan semasa proses reka bentuk sampel. Keadaan ini telah menyebabkan plastik kitar semula tidak lagi bertindak sebagai bahan ganti agregat, tetapi lebih kepada bahan pengubah suai kepada bahan pengikat bitumen.

3.1.2 Penuaan Jangka Pendek

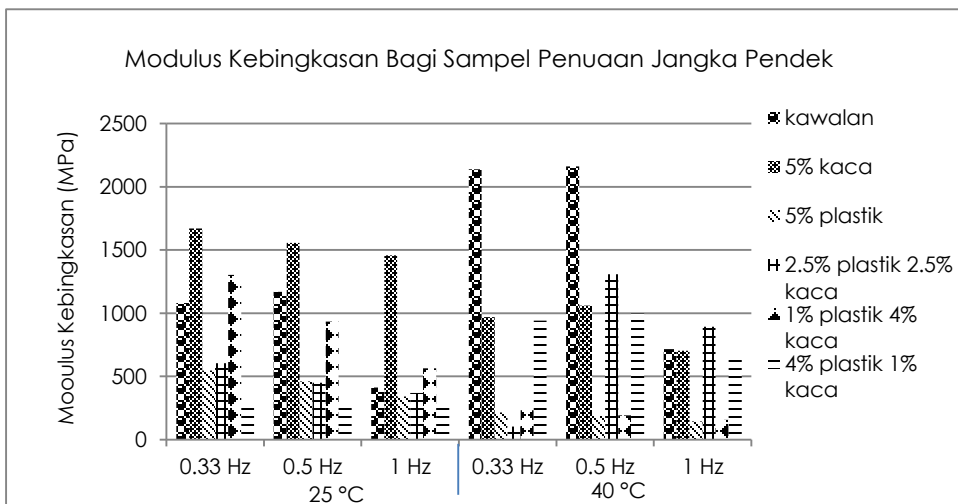
Rajah 3 menunjukkan nilai modulus kebingkasan bagi sampel yang dikenakan penuaan jangka pendek yang dijalankan pada frekuensi 0.33, 0.5 dan 1.0 Hz pada suhu 25 dan 40 °C. Trend keputusan untuk setiap frekuensi (0.33, 0.5 dan 1.0 Hz) adalah sama dari segi bentuknya, oleh itu hanya graf bagi frekuensi 0.33 Hz dibincangkan. Rajah 3 menunjukkan nilai modulus kebingkasan bagi sampel penuaan jangka pendek yang dikenakan frekuensi 0.33 Hz pada suhu 25 dan 40 °C. Berdasarkan Rajah 3, sampel 5% kaca pada suhu 25 °C mempunyai nilai modulus kebingkasan yang paling tinggi iaitu 1671 MPa, oleh itu ia paling kurang terdedah kepada masalah kelesuan, diikuti oleh sampel 1% plastik dan 4% kaca, sampel kawalan, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% plastik, 4% plastik dan 1% kaca. Manakala pada suhu 40 °C pula, sampel kawalan paling banyak mempunyai rintangan kepada masalah aliran kerana mempunyai nilai modulus kebingkasan tertinggi iaitu 2137 MPa, diikuti oleh sampel 5% kaca, 4% plastik dan 1% kaca, 1% plastik dan 4% kaca, 5% plastik dan 2.5% plastik dan 2.5% kaca.

3.1.3 Penuaan Jangka Panjang

Rajah 4 menunjukkan nilai modulus kebingkasan bagi sampel yang dikenakan penuaan jangka panjang yang dijalankan pada frekuensi 0.33, 0.5 dan 1.0 Hz pada suhu 25 dan 40 °C. Trend keputusan untuk setiap frekuensi (0.33, 0.5 dan 1.0 Hz) adalah sama dari segi bentuknya, oleh itu hanya graf bagi frekuensi 0.33 Hz dibincangkan. Rajah 4 menunjukkan keputusan modulus kebingkasan bagi 0.33 Hz pada suhu 25 dan 40 °C. Sampel 1% plastik dan 4% kaca pada suhu 25 °C mempunyai modulus kebingkasan yang tertinggi iaitu 3466 MPa maka ia paling kurang terdedah kepada masalah kelesuan, diikuti sampel 5% kaca, sampel kawalan, 5% plastik, 2.5% plastik dan 2.5% kaca dan 4% plastik dan 1% kaca. Pada suhu 40 °C pula, sampel 5% kaca paling kurang terdedah pada masalah aliran kerana mempunyai modulus kebingkasan yang paling tinggi iaitu 1324 MPa, diikuti dengan kawalan, 1% plastik dan 4% kaca, 5% plastik, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 4% plastik dan 1% kaca dan 5% plastik.

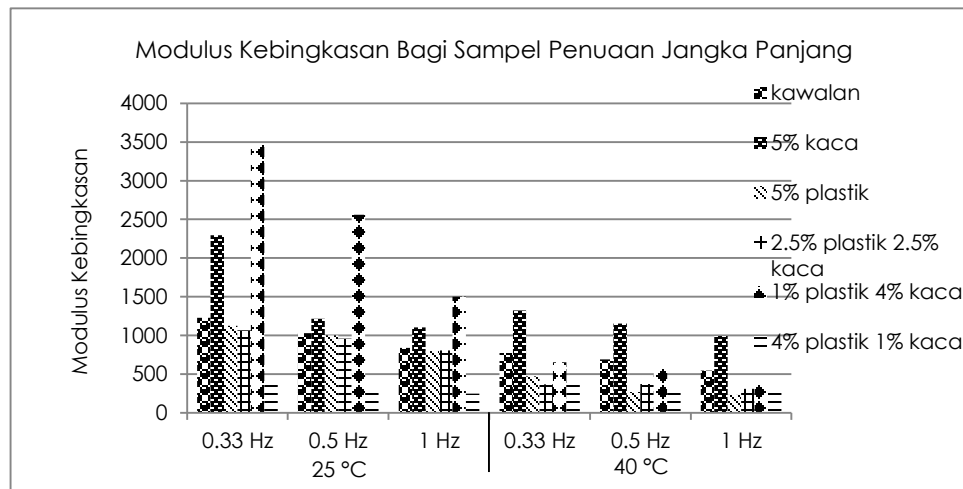


Rajah 2 Modulus kebingkasan bagi sampel tanpa penuaan



Rajah 3 Modulus kebingkasan bagi sampel penuaan jangka pendek





Rajah 4 Modulus kebingkasn bagi sampel penuaan jangka panjang

### 3.1.4 Indeks Modulus Kebingkasn

Jadual 7 menunjukkan indeks modulus kebingkasn pada suhu 25 °C bagi sampel tanpa penuaan, penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang. Indeks ini diperolehi melalui sampel yang mengandungi bahan kitar semula dibahagikan dengan sampel kawalan. Berdasarkan Jadual 7, sampel 1% plastik dan 4% kaca mempunyai indeks tertinggi untuk sampel tanpa penuaan dan penuaan jangka panjang iaitu 1.56 dan 2.82. Bagi sampel untuk penuaan jangka pendek pula sampel 5% kaca mempunyai nilai indeks modulus kebingkasn tertinggi iaitu 1.55. Indeks modulus kebingkasn membuktikan bahawa semakin tinggi nilai indeks semakin tinggi nilai modulus kebingkasn. Maka, sampel yang mempunyai nilai indeks modulus kebingkasn yang tinggi adalah

paling kurang terdedah kepada masalah kelesuan campuran berasfalt.

Jadual 8 pula menunjukkan nilai indeks modulus kebingkasn pada suhu 40 °C. Sampel 1% plastik dan 4% kaca pada keadaan tanpa penuaan mempunyai nilai indeks modulus kebingkasn yang paling tinggi. Manakala 5% kaca pada keadaan penuaan jangka pendek dan panjang mempunyai nilai indeks modulus kebingkasn tertinggi iaitu 0.45 dan 1.71. Hasil ini adalah bagus dan selari dengan hasil yang diperolehi oleh Airey *et al.* [1]. Hal ini dijangkakan bahawa bahan kitar semula plastik cair ketika proses penuaan dan terus mengurangkan modulus kebingkasn campuran berasfalt.

Jadual 7 Indeks modulus kebingkasn pada 25 °C

Sampel	Indeks Modulus Kebingkasn 25 °C		
	Tanpa Penuaan	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Kawalan	1.00	1.00	1.00
5% kaca	1.11	1.55	1.87
5% plastik	0.64	0.51	0.91
2.5% plastik dan 2.5% kaca	1.01	0.56	0.87
4% plastik dan 1% kaca	0.85	0.26	0.29
1% plastik dan 4% kaca	1.56	1.21	2.82

Jadual 8 Indeks modulus kebingkasan pada 40 °C

Sampel	Indeks Modulus Kebingkasan 40 °C		
	Tanpa Penuaan	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Kawalan	1.00	1.00	1.00
5% kaca	1.53	0.45	1.71
5% plastik	0.51	0.10	0.61
2.5% plastik dan 2.5% kaca	1.00	0.05	0.48
4% plastik dan 1% kaca	0.98	0.44	0.47
1% plastik dan 4% kaca	2.25	0.11	0.84

### 3.2 Rayapan Dinamik

Kekuatan campuran berasfalt dalam ubah bentuk plastik dikenalpasti dengan ujikaji rayapan dinamik. Ujikaji ini adalah untuk mengenalpasti perubahan bentuk aluran pada suhu tinggi.

#### 3.2.1 Tanpa Penuaan

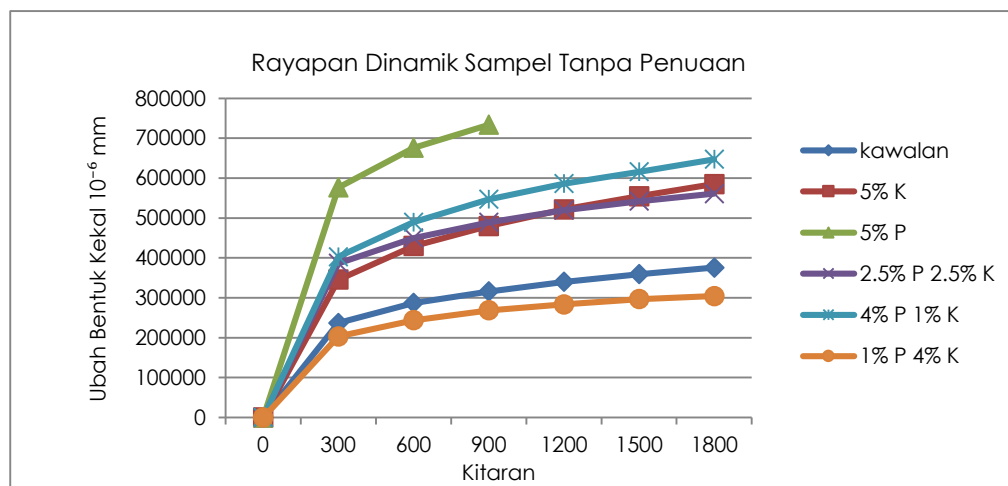
Rajah 5 menunjukkan graf ubah bentuk kekal melawan kitaran. Ujikaji dijalankan pada suhu 40 °C. Sampel 1% plastik dan 4% kaca mempunyai nilai ubah bentuk kekal yang paling rendah iaitu  $304029 \times 10^{-6}$  mm, maka sampel ini paling kurang terdedah kepada pembentukan aluran ada suhu tinggi. Nilai ini diikuti oleh sampel kawalan, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% kaca, 4% plastik dan 1% kaca dan 5% plastik. Oleh itu, sampel 5% plastik paling banyak berlaku perubahan bentuk kekal ketika ujian dijalankan dan paling banyak berlaku pembentukan aluran dalam campuran berasfalt.

#### 3.2.2 Penuaan Jangka Pendek

Rajah 6 menunjukkan data ubah bentuk kekal bagi sampel penuaan jangka pendek melawan kitaran. Melalui data ini, sampel 5% plastik paling sedikit berlaku ubah bentuk iaitu  $230769 \times 10^{-6}$  mm, dijangkakan campuran plastik kitar semula pada penuaan jangka pendek telah keras seterusnya mengukuhkan lagi campuran berasfalt. Nilai ini diikuti oleh sampel kawalan, 5% kaca, 1% plastik dan 4% kaca, 4% plastik dan 1% kaca dan 2.5% plastik dan 2.5% kaca.

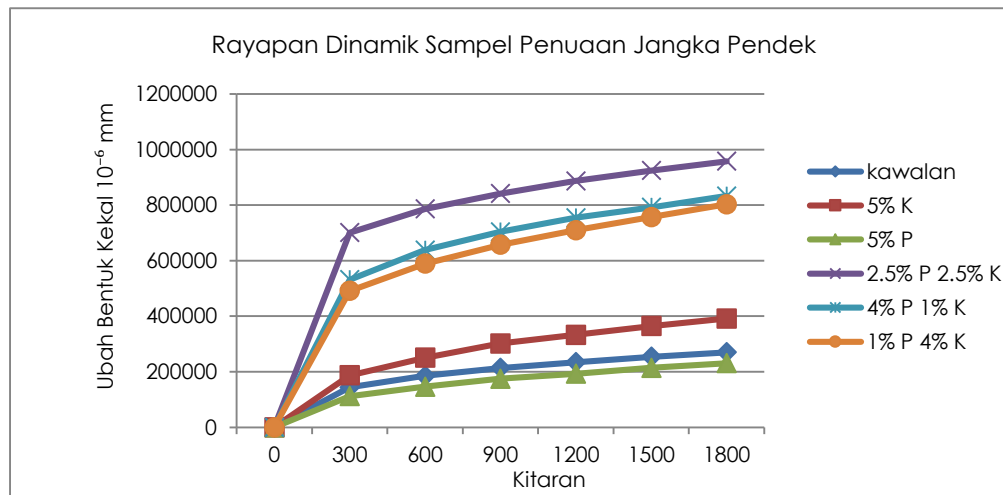
#### 3.2.3 Penuaan Jangka Panjang

Rajah 7 menunjukkan data rayapan dinamik bagi sampel di bawah keadaan penuaan jangka panjang. Berdasarkan graf, sampel 1% plastik dan 4% kaca menunjukkan nilai ubah bentuk kekal yang paling rendah iaitu  $268010 \times 10^{-6}$  mm, maka ia adalah paling kurang terjejas daripada pembentukan aluran ketika ujian dijalankan. Nilai ini diikuti dengan sampel kawalan, 5% kaca, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% plastik dan 4% plastik dan 1% kaca. Oleh itu, sampel 1% plastik dan 4% kaca paling kurang berlaku pembentukan aluran manakala 4% plastik dan 1% kaca paling banyak berlaku pembentukan aluran dalam campuran berasfalt.

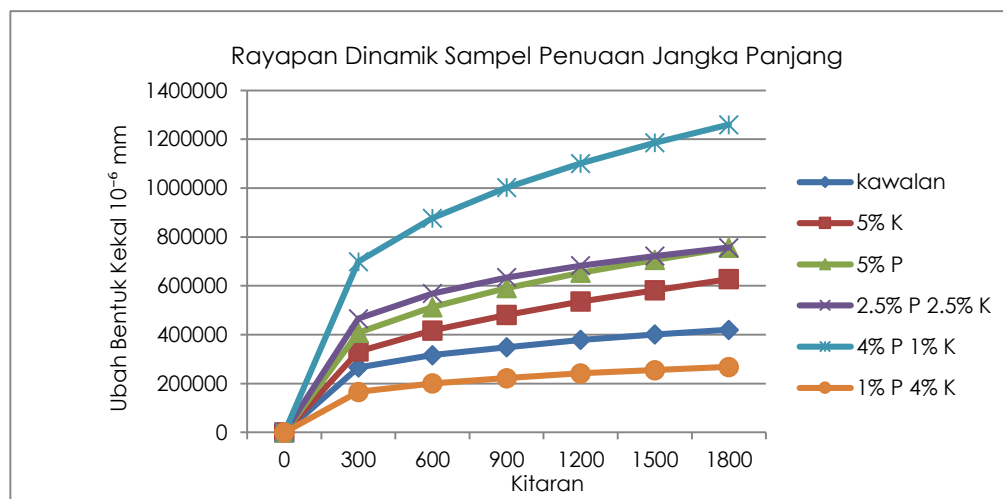


Rajah 5 Data rayapan dinamik bagi sampel tanpa penuaan





Rajah 6 Data rayapan dinamik bagi sampel penuaan jangka pendek



Rajah 7 Data rayapan dinamik bagi sampel penuaan jangka panjang

### 3.2.4 Indeks Rayapan Dinamik

Jadual 9 menunjukkan indeks rayapan dinamik yang diperoleh daripada hasil bahagi antara nilai ubah bentuk setiap sampel dengan nilai ubah bentuk sampel kawalan di bawah pelbagai keadaan. Dapat dilihat sampel 5% plastik pada keadaan tanpa penuaan mempunyai nilai indeks rayapan dinamik paling iaitu 2.32, ini bermakna sampel ini paling banyak berlaku pembentukan aluran. Diikuti 4% plastik dan 1% kaca, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% kaca, sampel kawalan dan 1% plastik dan 4% kaca. Ini dapat dilihat, sampel 1% plastik dan 4% kaca mempunyai nilai ubah bentuk kekal yang paling rendah dan sedikit pembentukan aluran. Di bawah keadaan penuaan jangka pendek, sampel 2.5% plastik dan 2.5% kaca mempunyai nilai DRI paling tinggi iaitu 3.55 dan ia

mempunyai pembentukan aluran yang tinggi, diikuti 4% plastik dan 1% kaca, 1% plastik dan 4% kaca, 5% kaca, sampel kawalan dan 5% plastik.

Di bawah keadaan penuaan jangka panjang pula 4% plastik dan 1% kaca mempunyai nilai indeks rayapan dinamik paling tinggi iaitu 3.00 maka ia mempunyai ubah bentuk kekal yang paling tinggi dan paling terdedah kepada pembentukan aluran, diikuti dengan 5% plastik, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% kaca, sampel kawalan dan 1% plastik dan 4% kaca. Sampel 1% plastik dan 4% kaca mempunyai nilai indeks rayapan dinamik paling rendah iaitu 0.64 dan membuktikan ia adalah paling kurang terdedah dengan pembentukan aluran.

Jadual 9 Indeks rayapan dinamik

Sampel	Indeks Rayapan Dinamik		
	Tanpa Penuaan	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Kawalan	1.00	1.00	1.00
5% kaca	1.52	1.45	1.49
5% plastik	2.32	0.86	1.80
2.5% kaca dan 2.5% plastik	1.55	3.55	1.80
4% plastik dan 1% kaca	1.73	3.09	3.00
1% plastik dan 4% kaca	0.85	2.98	0.64

### 3.3 Rayapan Dinamik

Ujian ini dijalankan untuk menentukan ubah bentuk kekal dalam campuran berasfalt yang berkaitan dengan keupayaan aluran. Ujikaji dijalankan pada suhu 40 °C.

#### 3.3.1 Tanpa Penuaan

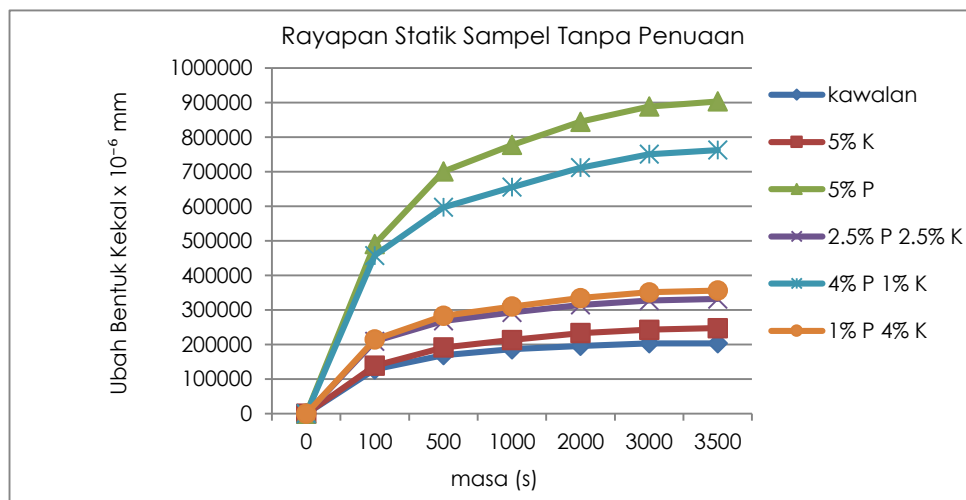
Rajah 8 menunjukkan graf ubah bentuk kekal melawan masa (s) bagi sampel di bawah keadaan tanpa penuaan. Berdasarkan graf, sampel kawalan mempunyai nilai ubah bentuk kekal yang paling rendah iaitu  $203907 \times 10^{-6}$  mm, diikuti dengan 5% kaca, 2.5% kaca dan 2.5 % plastik, 1% plastik dan 4% kaca, 4% plastik dan 1% kaca dan 5% plastik. Melalui analisis data ini membuktikan bahawa sampel kawalan adalah paling kurang terdedah kepada pembentukan aluran pada suhu tinggi.

#### 3.3.2 Penuaan Jangka Pendek

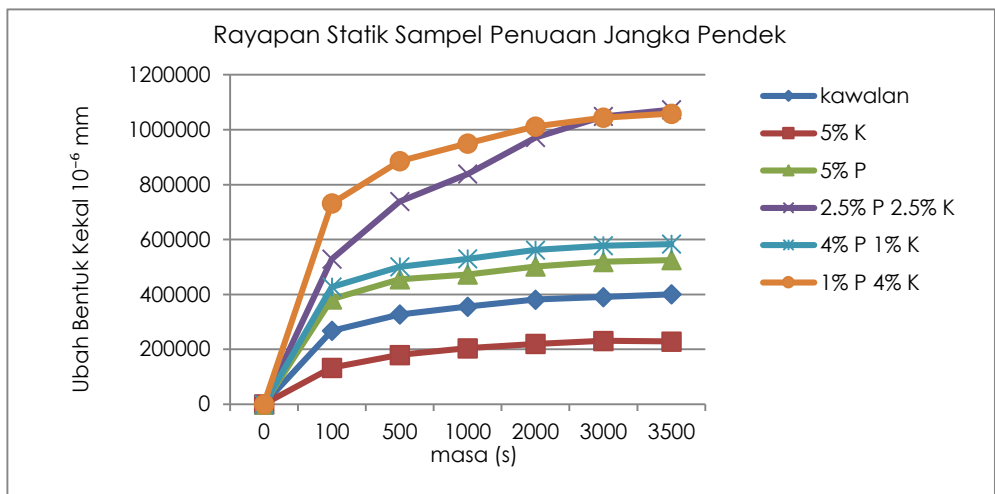
Rajah 9 menunjukkan graf ubah bentuk kekal melawan masa bagi sampel di bawah keadaan penuaan jangka pendek. 5% kaca adalah paling kurang terdedah kepada keupayaan aluran kerana mempunyai nilai ubah bentuk kekal yang paling rendah iaitu  $228327 \times 10^{-6}$  mm, diikuti dengan kawalan, 5% plastik, 4% plastik dan 1% kaca, 2.5% plastik dan 2.5% kaca dan 1% plastik dan 4% kaca.

#### 3.3.3 Penuaan Jangka Panjang

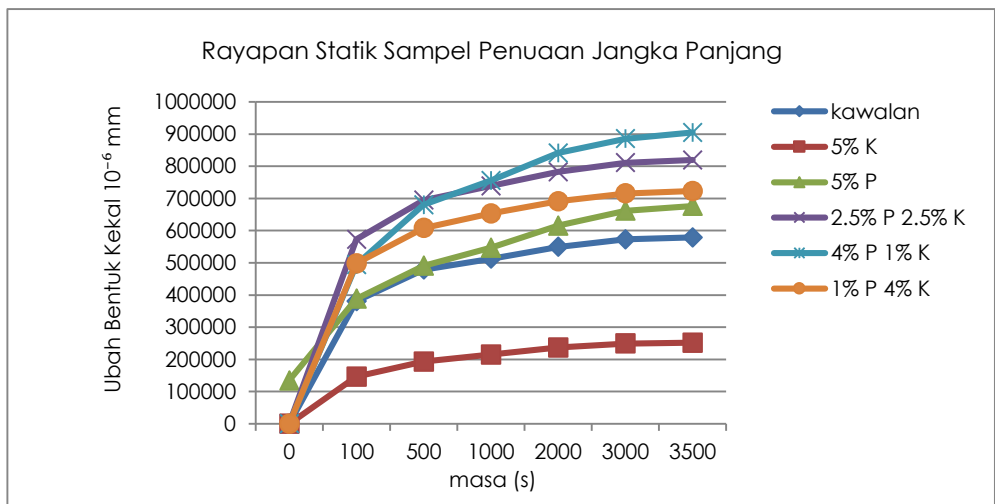
Rajah 10 menunjukkan graf ubah bentuk kekal melawan masa. Sampel yang paling kurang terdedah daripada keupayaan aluran ialah 5% kaca iaitu  $251526 \times 10^{-6}$  mm, diikuti dengan kawalan, 5% plastik, 1% plastik dan 4% kaca, 2.5% plastik dan 2.5% kaca dan 4% plastik dan 1% kaca.



Rajah 8 Data rayapan statik bagi sampel tanpa penuaan



Rajah 9 Data rayapan statik bagi sampel penuaan jangka pendek



Rajah 10 Data rayapan statik bagi sampel penuaan jangka panjang

3.3.4 Indeks Rayapan Statik

Jadual 10 menunjukkan nilai indeks rayapan statik bagi setiap jenis sampel di bawah pelbagai keadaan iaitu tanpa penuaan, penuaan jangka pendek dan panjang. Nilai indeks ini diperolehi melalui hasil bahagi antara data ubah bentuk kekal sampel dengan data ubah bentuk kekal sampel kawalan. Dapat dilihat, nilai indeks rayapan statik yang paling tinggi dalam keadaan tanpa penuaan ialah 5% plastik iaitu 3.43, diikuti dengan 4% plastik dan 1% kaca, 1% plastik dan 4% kaca, 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 5% kaca dan sampel kawalan. Oleh itu, 5% plastik dalam keadaan tanpa penuaan adalah paling banyak menerima keupayaan aluran manakala sampel kawalan paling sedikit menerima keupayaan aluran.

Bagi keadaan penuaan jangka pendek, nilai indeks rayapan statik paling tinggi ialah 2.5% plastik dan 2.5%

kaca iaitu 2.68, diikuti dengan 1% plastik dan 4% kaca, 4% plastik dan 1% kaca, 5% plastik, sampel kawalan dan 5% kaca. Oleh itu, sampel 2.5% plastik dan 2.5% kaca paling banyak menerima perubahan ubah bentuk yang menyumbang kepada keupayaan aluran manakala 5% kaca adalah paling sedikit. Bagi keadaan penuaan jangka panjang pula, nilai indeks rayapan statik paling tinggi ialah 1.56 iaitu sampel 4% plastik dan 1% kaca, diikuti dengan 2.5% plastik dan 2.5% kaca, 1% plastik dan 4% kaca, 5% plastik, sampel kawalan dan 5% kaca. Maka, sampel 5% kaca mempunyai keupayaan aluran yang rendah berbanding sampel 4% plastik dan 1% kaca. Dijangkakan bahawa campuran plastik kitar semula akan berubah bentuk di bawah beban yang berat dan suhu tinggi.

Jadual 10 Indeks rayapan statik

Sampel	Indeks Raya Statik		
	Tanpa Penuaan	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Kawalan	1.00	1.00	1.00
5% kaca	1.22	0.57	0.43
5% plastik	4.43	1.31	1.17
2.5% kaca dan 2.5% plastik	1.63	2.68	1.42
4% plastik dan 1% kaca	3.74	1.46	1.56
1% plastik dan 4% kaca	1.75	2.64	1.25

#### 4.0 KESIMPULAN

Antara kesimpulan yang dapat diambil daripada ujikaji ini adalah:

- Hasil daripada kajian ini mendapati bahawa gantian 1% plastik dan 4% kaca menunjukkan keputusan yang paling lebih kurang sama dan memuaskan berbanding sampel kawalan untuk semua ujikaji makmal.
- Keputusan yang sama boleh didapati untuk sampel-sampel yang didedahkan keadaan kesan penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang, di mana gantian 1% plastik dan 4% kaca menunjukkan keputusan yang memuaskan apabila dilakukan ujikaji prestasi seperti ujian modulus kebingkasan, ujian rayapan statik dan ujian rayapan dinamik.
- Kesimpulannya, bahan seperti plastik dan kaca kitar semula, pada optimum pengadunannya, boleh dijadikan sebagai alternatif bahan gantian agregat dalam campuran berasfalt untuk turapan boleh lentur.

#### Rujukan

- [1] O'Flaherty, C. A. 2002. *Highway: The Location, Design, Construction & Maintenance of Pavements*. 4th ed. Reprinted. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- [2] Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. 2009. Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A review. *Waste Management*. 29(10): 2625-2643.
- [3] Airey, G. D., Collop, A. C., & Thom, N. H. 2004. Mechanical Performance of Asphalt Mixtures Incorporating Slag and Glass Secondary Aggregates. In *Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA '04)*, South Africa. 12: 16.
- [4] Su, N., & Chen, J. S. 2002. Engineering Properties of Asphalt Concrete Made with Recycled Glass. *Resources, Conservation and Recycling*. 35(4): 259-274.
- [5] Arabani, M. 2011. Effect of Glass Cullet on the Improvement of the Dynamic Behaviour of Asphalt Concrete. *Construction and Building Materials*. 25(3): 1181-1185.
- [6] Huang, Y., Bird, R. N., & Heidrich, O. 2007. A Review Of The Use of Recycled Solid Waste Materials in Asphalt Pavement. *Resources, Conservation & Recycling*. 52: 58-73.
- [7] FHWA. 1997. *User Guidelines for Waste and By Product Materials in Pavement Construction*.
- [8] WRAP. 2003. *Aggregate Materials Information - Recycled Plastics*.
- [9] Arabani, M., & Kamboozia, N. 2013. The Linear Visco-Elastic Behaviour of Glasphalt Mixture Under Dynamic Loading Conditions. *Construction and Building Materials*. 41: 594-601.
- [10] Little, D. N., Epps, J. A., & Sebaaly, P. E. 2006. *Hydrated Lime In Hot Mix Asphalt*. National Lime Association.
- [11] Tayfur, S., Ozen, H. and Aksoy, A. 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. *Construction and Building Materials*. 21: 328-337.