

## **Kesan Campuran Botol Kitar Semula Jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) Dengan PET Asli Terhadap Sifat Ketegangan Bahan**

**Haswa-Sofilah Ab. Wahab<sup>1\*</sup>, Muhammad Azam Ngah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

**\*Corresponding author E-mail:** sofilah@psmza.edu.my

### **Abstrak**

Amalan terbaik untuk mengatasi masalah pembuangan botol jenis PET adalah melalui amalan kitar semula. Antara kaedah kitar semula adalah dengan mengadun PET kitar semula ( $PET_{KS}$ ) dengan PET asli ( $PET_A$ ) atau dengan jenis polimer yang lain. Oleh yang sedemikian, objektif kajian ini adalah untuk menentukan dan membandingkan kesan nisbah campuran antara  $PET_{KS}$  dengan  $PET_A$  terhadap sifat ketegangan bahan tersebut.  $PET_{KS}$  dikumpul untuk dicampur bersama dengan  $PET_A$  dengan nisbah yang telah ditetapkan dan dilakukan ujian tegangan. Botol kitar semula jenis PET dikumpul, dibersihkan dan diasingkan secara manual sebelum diracik menjadi kepingan kecil bersaiz  $< 2\text{cm}$ . Sebanyak 5 jenis nisbah campuran disediakan dengan peratus komposisi  $100_A$ ,  $100_{KS}$ ,  $70_A30_{KS}$ ,  $50_A50_{KS}$  dan  $30_A70_{KS}$  sebelum menjalani proses penyuntikan. Proses penyuntikan dilakukan menggunakan mesin pengacuanan suntikan bagi menghasilkan spesimen mengikut standard ASTM D785 untuk dikenakan ujian tegangan. Keputusan bagi ujian tegangan telah berjaya diperolehi dan di analisa. Daripada keputusan tersebut Bacaan ujian tegangan menunjukkan sifat-sifat utama yang diperolehi bagi 100%  $PET_{KS}$  lebih rendah daripada 100%  $PET_A$ . Keputusan daripada kajian ini menunjukkan mengadun atau mencampur  $PET_{KS}$  dengan  $PET_A$  boleh digunakan untuk tujuan kitar semula tanpa mengorbankan sifat-sifat  $PET_A$  serta dapat membantu pengeluar menentukan nisbah campuran yang sesuai dengan produk yang berasaskan PET dan seterusnya dapat membantu mengurangkan pencemaran alam sekitar.

**Kata Kunci:** polimer; PET; kitar semula; sifat tegangan; nisbah campuran; pencemaran

## **1.0 PENGENALAN**

Kitar semula ialah proses mengolah semula bahan buangan untuk menghasilkan barangan yang baru. Jumlah sampah yang dihasilkan oleh botol plastik yang terkumpul ditapak pelupusan sampah di negara kita adalah amat membimbangkan. Mengikut laporan Buletin Pengguna KPDNHEP (2013) “kadar kitar semula plastik di negara kita ini masih rendah iaitu dalam lingkungan 3% dan botol plastik pula tidak dapat dibiodegrasikan” (Utusan Malaysia 2013).

Masalah bahan buangan botol plastik jenis PET di Malaysia dan mana-mana negara didunia adalah amat membimbangkan. Bilangan sampah yang terdiri dari botol ini adalah amat tinggi dan menjadi satu masalah kepada alam sekitar dan manusia disebabkan botol plastik ini tidak terbiodegrasi secara semulajadi. Akibatnya ia menjadi satu masalah besar kepada pusat pelupusan sampah kerana tidak mampu menampung kadar pembuangan sampah yang tinggi (Ahmad 2011).

Mengadun polimer asli dengan polimer kitar semula atau dengan polimer jenis lain telah menjadi bidang yang penting dalam kajian polimer terutamanya dalam permasalahan kitar semula. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangkan masalah sisa polimer. Ini diperkuatkan oleh kenyataan Dong (2010) bahawa terdapat banyak kajian menunjukkan dengan meningkatkan peratus PET<sub>KS</sub> dalam produk PET dapat mengurangkan kesan pencemaran alam sekitar dan menyediakan kelebihan dari segi kos.

Scheirs (1998) menyatakan PET dan PE adalah contoh polimer kitar semula yang selalunya diadun atau dicampur dengan resin asli (Guillermina 2001). PET juga ialah jenis plastik yang biasa digunakan dalam banyak pengeluaran produk hari ini dan ia mudah dikitar semula. Oleh yang sedemikian, kajian ini diharap dapat memberi satu kaedah alternatif dalam penggunaan bahan botol plastik terpakai agar dapat diperbanyakkan penggunaannya dan sekaligus dapat mengurangkan jumlah pembuangan botol plastik terpakai dan mengurangkan pencemaran alam sekitar.

## 2.0 PROSEDUR EKSPERIMEN

### 2.1 Penyediaan Komposisi Bahan Bagi PET<sub>KS</sub> Dan PET<sub>A</sub>

Botol-botol minuman jenis PET dikutip di tempat-tempat pembuangan sampah seperti didalam tong sampah yang berada di tepi jalan dan dikumpul dengan cara daripada hasil pembelian air mineral sebagai bahan minuman. Sebahagiannya dibeli di pusat kitar semula dengan harga RM0.20 sebotol. Botol-botol minuman yang sudah dikumpul diasingkan mengikut warna. Untuk kajian ini pemilihan botol hanya yang berwarna putih jernih sahaja seperti dirajah 1.



**Rajah 1:** Botol minuman jenis PET

Botol-botol plastik yang sudah siap dibuang penutupnya dan bahan-bahan lain seperti ditunjukkan didalam rajah 2 akan dibiarkan kering. Pada proses ini, botol-botol tersebut diletakkan dan dikeringkan pada suhu bilik dan bukannya dijemur dibawah cahaya matahari kerana kluatir akan mengganggu struktur kimia bahan botol PET tersebut.



**Rajah 2:** Botol minuman yang telah di bersih dan di kering

Secara amnya, langkah pertama dalam kitar semula melibatkan pengurangan saiz plastik kepada bentuk yang lebih sesuai seperti berbentuk pelet, serbuk atau kepingan. Ini biasanya boleh dicapai dengan melakukan proses pengisaran, pencanaian atau meracik (Khalid 2007). Oleh yang sedemikian botol-botol plastik yang sudah dibersihkan, dikeringkan dengan udara biasa lebih kurang 2 hari (48 jam) kemudiannya diracik dengan menggunakan mesin pengisar di pusat kitar semula Bukit Koh, Marang seperti di tunjukkan didalam rajah 3 (a). Dimensi botol yang sudah diracik tersebut adalah  $<2$  cm.



(a)



(b)

**Rajah 3:** (a) Proses Meracik Botol (b) Botol telah siap diracik

Kepingan botol yang telah siap diracik seperti ditunjukkan dalam rajah 3(b) diletakkan ke dalam bekas kedap udara dengan suhu  $50^{\circ}\text{C}$  dikekalkan selama 12 jam bagi mengelakkan terkena lembapan udara. Jisim kepingan  $\text{PET}_{\text{KS}}$  yang diperolehi selepas siap proses meracik adalah sebanyak 25 kg.

Resin  $\text{PET}_{\text{A}}$  yang dibungkus dalam plastik kedap udara bagi mengelakkan berlaku penyerapan lembapan udara sekeliling ditimbang mengikut jisim yang ditentukan. Bagi menjalankan kajian ini, komposisi bahan Antara  $\text{PET}_{\text{KS}}$  dan  $\text{PET}_{\text{A}}$  telah ditimbang mengikut pecahan nisbah yang ditentukan seperti ditunjukkan dalam jadual 1.

Kepingan  $\text{PET}_{\text{KS}}$  dan resin  $\text{PET}_{\text{A}}$  tersebut digaul secara manual didalam bekas dengan menggunakan kayu pengacau. Setiap nisbah campuran adalah berjisim 3kg setiap satu digaul rata selama 25 minit didalam bekas sehingga mendapat campuran yang homogen. Tiada bendasing diperhatikan semasa kerja-kerja penggaulan dibuat dan selepas kerja tersebut siap.

**Jadual 1:** Jadual Nisbah dan Jisim Campuran PET<sub>KS</sub> dan PET<sub>A</sub>

PET <sub>A</sub> (%)	PET <sub>KS</sub> (%)	JISIM (KG)	
		PET <sub>A</sub>	PET <sub>KS</sub>
100	0	3	0
0	100	0	3
70	30	2.1	0.9
50	50	1.5	1.5
30	70	0.9	2.1

## 2.2 Penyediaan Spesimen

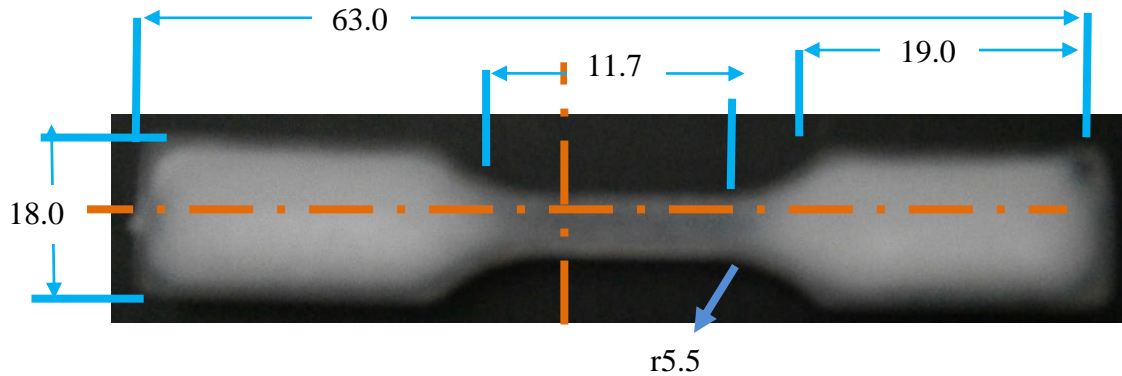
Setelah campuran antara kedua dua bahan PET<sub>KS</sub> dan PET<sub>A</sub> telah siap dicampur mengikut nisbah campuran yang telah ditentukan seperti di jadual 1, langkah seterusnya dijalankan iaitu membuat spesimen dengan menggunakan mesin pengacuanan suntikan.

Pengacuanan suntikan untuk menghasilkan spesimen bagi ujian kekerasan telah dilakukan di Universiti Malaysia Pahang (UMP) dengan menggunakan mesin pengacuanan suntikan model NS20-2A seperti di tunjukkan dirajah 4. Spesimen untuk ujian kekerasan adalah menggunakan ukuran dan acuan yang sama dengan ujian tegangan memandangkan ujian kekerasan hanya menggunakan permukaan spesimen sahaja. Suntikan bagi setiap campuran berjisim 3kg berjaya menghasilkan secara purata sepuluh batang spesimen.



**Rajah 4:** Mesin pengacuanan Suntikan model NS20-2A Nissei, Japan (Sumber : Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UMP)

Didapati spesimen PET<sub>A</sub> yang dihasilkan berwarna putih jernih manakala PET<sub>KS</sub> berwarna legap. Hasil yang sama diperolehi oleh Torres (1999) dalam kajiannya iaitu bar ujian PET<sub>A</sub> berwarna jernih dan bar PET<sub>KS</sub> berwarna legap. Ukuran piawai untuk semua spesimen bagi ujian adalah seperti didalam rajah 5.



**Rajah 5:** Spesimen yang dihasilkan (Unit mm)

### 3.0 KEPUTUSAN UJIAN TEGANGAN

Modulus Keanjalan, adalah pengukuran yang berhubungkait dengan tegasan dan terikan pada had keseimbangan. Makin tinggi bacaan modulus keanjalan tersebut, menunjukkan kekuatan sesuatu bahan adalah tinggi. Keputusan ujian adalah seperti di tunjukkan didalam jadual 2 – jadual 8 dibawah. Dari ujikaji yang dibuat didapati bacaan modulus keanjalan bagi 100% PET<sub>A</sub> adalah 1052.88 MPa (lihat jadual 2) berbanding 100% PET<sub>KS</sub> iaitu 933.44 seperti didalam jadual 3. Ini menunjukkan PET<sub>A</sub> mempunyai sifat kekuatan yang tinggi berbanding PET<sub>KS</sub>.

**Jadual 2:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 100% PET<sub>A</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	1098.63	62.97	64.09	6.47	377
2	1055.72	61.17	64.07	4.95	376
3	1004.30	60.99	64.94	4.83	366
<b>Purata</b>	<b>1052.88</b>	<b>61.71</b>	<b>64.37</b>	<b>5.42</b>	<b>373</b>

**Jadual 3:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 100% PET<sub>KS</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	980.63	65.99	62.75	28.40	8
2	825.99	74.63	66.78	4.57	369
3	993.71	41.65	49.09	23.29	5
<b>Purata</b>	<b>933.44</b>	<b>60.75</b>	<b>59.54</b>	<b>18.75</b>	<b>128</b>

**Jadual 4:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 70% PET<sub>KS</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	1171.52	80.84	83.56	7.48	129
2	1061.49	82.08	82.66	9.30	415
3	1127.07	79.77	82.14	6.71	407
<b>Purata</b>	<b>1120.03</b>	<b>80.90</b>	<b>82.78</b>	<b>7.83</b>	<b>317</b>

**Jadual 5:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 60% PET<sub>KS</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	868.86	64.64	65.71	6.05	475
2	860.71	66.90	66.96	7	400
3	892.17	57.70	62.17	8.71	8
<b>Purata</b>	<b>873.91</b>	<b>63.08</b>	<b>64.95</b>	<b>7.25</b>	<b>294</b>

**Jadual 6:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 50% PET<sub>KS</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	884.78	64.28	65.81	6.59	402
2	830.84	64.25	64.74	6.24	219
3	865.16	64.68	65.77	6.43	440
<b>Purata</b>	<b>860.26</b>	<b>64.40</b>	<b>65.44</b>	<b>6.42</b>	<b>353</b>

**Jadual 7:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 40% PET<sub>KS</sub>

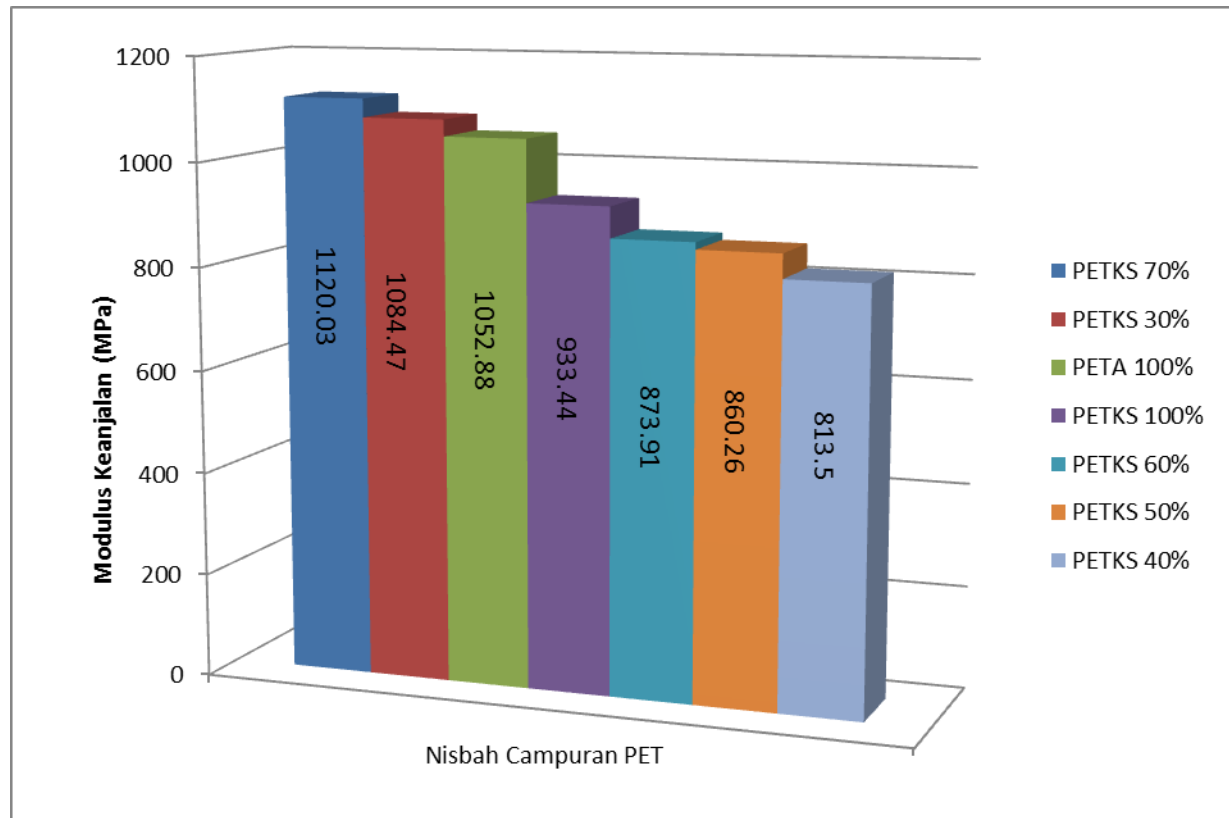
Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	804.97	59.89	63.68	18.35	570
2	820.17	60.83	62.92	5.01	103
3	815.34	60.53	64.58	3.54	327
<b>Purata</b>	<b>813.5</b>	<b>60.42</b>	<b>63.63</b>	<b>8.96</b>	<b>333</b>

**Jadual 8:** Keputusan Bacaan Ujian Tegangan 30% PET<sub>KS</sub>

Bilangan Spesimen	Modulus Keanjalan (MPa)	Tegasan Tegangan pada takat alah (MPa)	Tegasan Tegangan pada beban maksimum (MPa)	Tegasan Tegangan pada titik putus (MPa)	Pemanjangan Pada titik putus (%)
1	1099.89	68.87	79.45	4.35	405
2	1074.76	64.44	69.55	6.06	382
3	1078.76	67.75	74.96	4.35	76
<b>Purata</b>	<b>1084.47</b>	<b>67.02</b>	<b>74.65</b>	<b>4.92</b>	<b>288</b>

Dari rajah 6, graf bacaan PET<sub>KS</sub> 70% menunjukkan bacaan modulus keanjalan yang tertinggi iaitu 1120.03 MPa dan di ikuti bacaan PET<sub>KS</sub> 30% iaitu 1084.47 MPa. Ini jelas menunjukkan hasil adunan atau campuran PET<sub>KS</sub> kedalam PET<sub>A</sub> memberikan peningkatan terhadap modulus keanjalan seterusnya memberi sifat kekuatan atau daya ketahanan yang kuat pada bahan hasil campuran tersebut.

Secara praktikal, peratus kandungan PET<sub>KS</sub> yang dicampur melebihi 20% akan memberikan sifat – sifat yang menyamai PET<sub>A</sub> (Masoud 1997). Dalam kes sifat mekanikal, ujian tegangan yang dibuat menunjukkan PET<sub>A</sub> mempunyai tegasan tegangan hampir menyamai semua nisbah campuran PET<sub>A</sub> yang telah diadun dengan PET<sub>KS</sub>. Bacaan modulus keanjalan bagi PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> juga hampir sama dengan bacaan bagi campuran keduanya (Pattabiraman 2005).

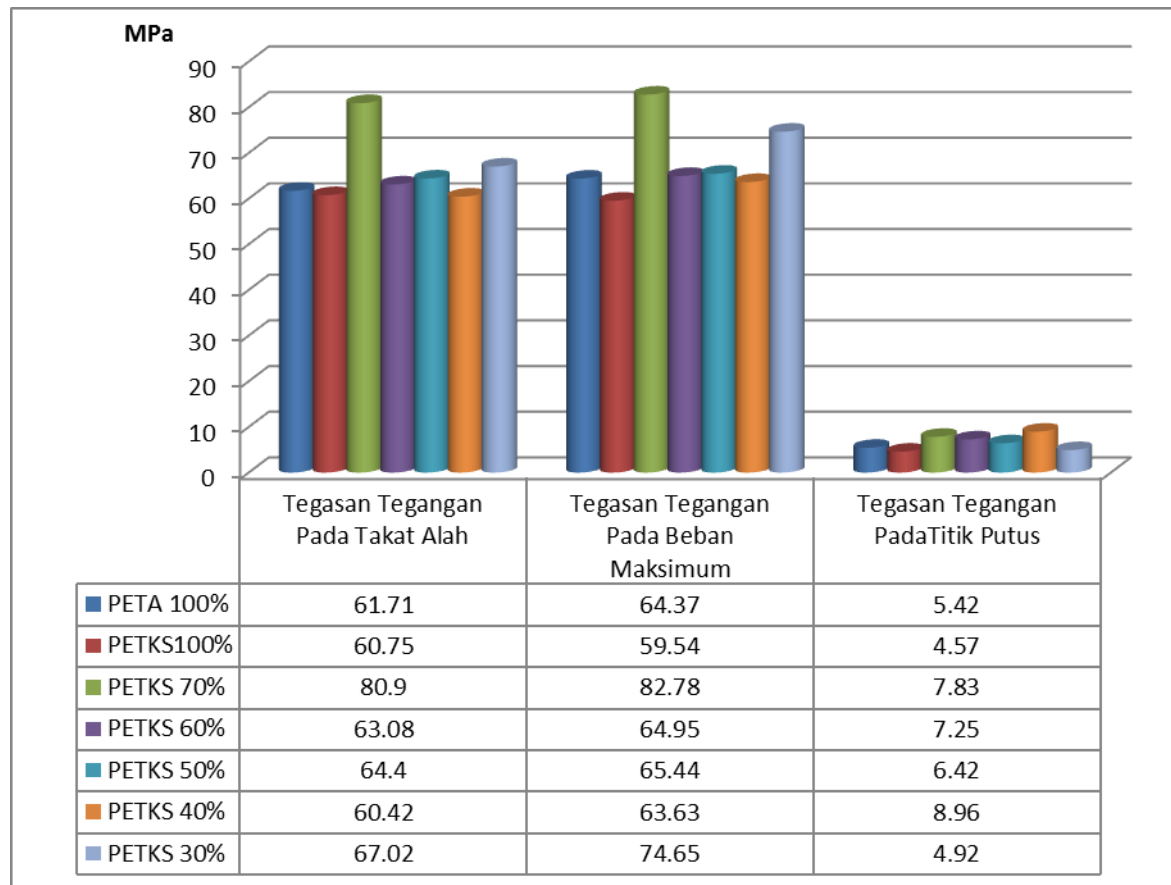


**Rajah 6 :** Graf Perbandingan Nilai Modulus Keanjalan antara nisbah campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub>

Nilai tegasan tegangan pada titik takat alah tiada menunjukkan perbezaan yang ketara kecuali pada bacaan 70% PET<sub>KS</sub> seperti ditunjukkan dalam rajah 7. Ini menunjukkan, hasil campuran 70% PET<sub>KS</sub> dapat menampung beban yang lebih tinggi berbanding 100% PET<sub>A</sub>, 100% PET<sub>KS</sub> dan hasil campuran yang lain. Biasanya, pereka bentuk mengambil nilai 50% daripada angka keputusan ujian yang diperolehi sebagai faktor keselamatan.

Rajah 7 juga menunjukkan nilai bacaan bagi 100% PET<sub>A</sub> dan 100% PET<sub>KS</sub> masing-masing adalah 61.71 dan 60.75 MPa. Jurang bacaan antara PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> adalah amat kecil dan tidak menunjukkan perbezaan yang ketara. Keputusan yang hampir sama diperolehi oleh Masoud (1997) dalam kajiannya iaitu nilai bacaan bagi 100% PET<sub>A</sub> dan 100% PET<sub>KS</sub> masing-masing adalah 61.37 dan 60.54 MPa.





**Rajah 7:** Graf Perbandingan Nilai Tegangan Tegangan pada Takat Alah, Beban Maksimum dan Titik Putus antara nisbah campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub>

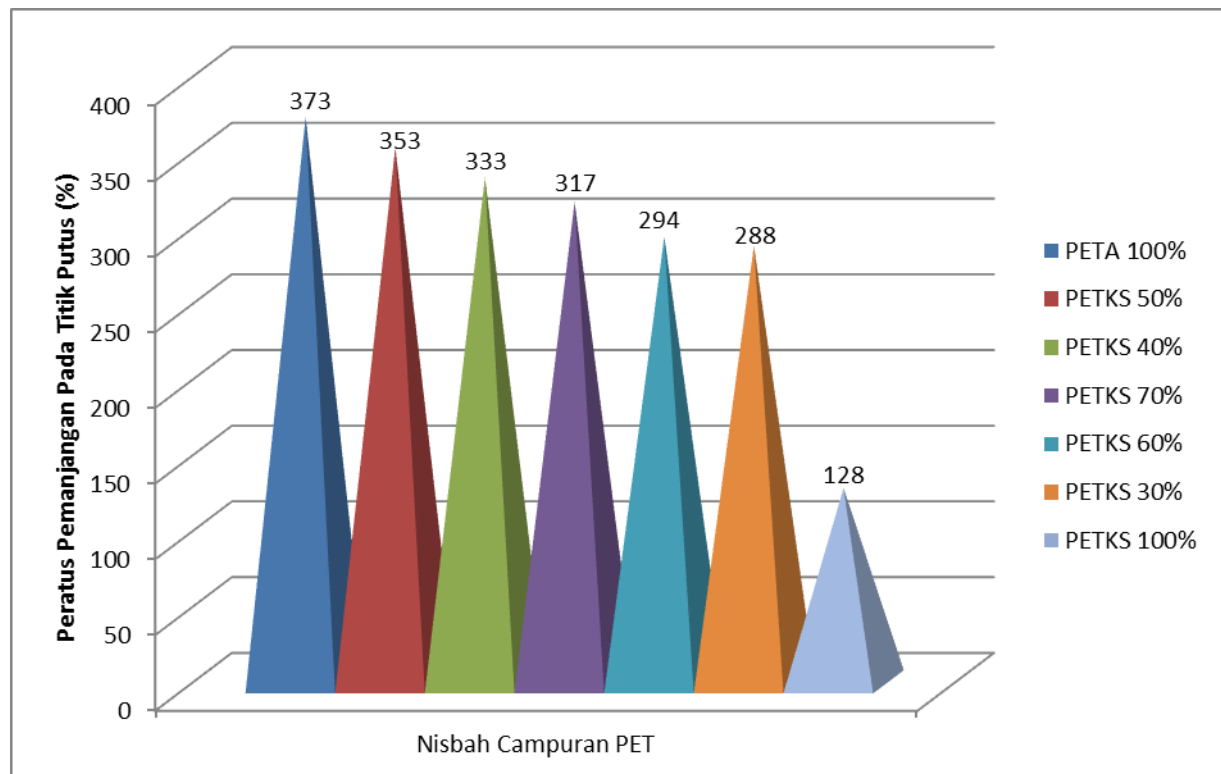
Tegangan tegangan pada beban maksimum disebut juga sebagai kekuatan tegangan muktamad atau kekuatan tegangan tertinggi. Nilai ini adalah penting dalam kerja merekabentuk kerana jika beban yang berlebihan dari nilai yang dikenakan, bahan tersebut akan gagal.

Rajah 7 juga menunjukkan bacaan yang tinggi pada komposisi 70% PET<sub>KS</sub> iaitu 82.78 MPa dan diikuti bacaan 30% PET<sub>KS</sub> iaitu 74.65 MPa. Bacaan bagi 100% PET<sub>A</sub> dan 100% PET<sub>KS</sub> masing-masing adalah 64.37 dan 59.54 MPa. Untuk komposisi yang lain bacaan tidak jauh berbeza dan konsisten. Keputusan ini jelas menunjukkan ada signifikan antara tegangan tegangan pada takat alah dengan tegangan tegangan pada beban maksimum bagi campuran 70% PET<sub>KS</sub>. Komposisi ini adalah sesuai untuk produk yang memerlukan kekuatan tegangan atau menampung beban yang tinggi.

Tegangan tegangan pada titik putus pula menunjukkan bacaan yang tinggi pada komposisi 40% PET<sub>KS</sub> iaitu 8.96 MPa diikuti bacaan 70% PET<sub>KS</sub> iaitu 7.83 MPa. Bacaan bagi 100% PET<sub>A</sub> dan 100% PET<sub>KS</sub> masing-masing adalah 5.42 dan 4.57 MPa. Untuk komposisi yang lain bacaan tidak jauh berbeza dan konsisten. Keputusan bacaan bagi komposisi 40% PET<sub>KS</sub> adalah signifikan dengan bacaan yang diperolehi pada tegangan tegangan pada takat alah iaitu 60.42 MPa dimana bacaannya adalah yang paling rendah.

Menurut Asmadi (2004), secara teorinya makin rendah bacaan yang diperolehi dalam tegasan tegangan pada takat alah maka makin tinggi bacaan yang akan di perolehi pada tegasan tegangan pada titik putus. Ini adalah kerana bahan tidak dapat menampung beban yang tinggi dan ketidakupayaannya untuk menahan beban tegasan pada titik putus adalah tinggi.

Rajah 8 menunjukkan perbezaan bacaan peratus pemanjangan yang ketara antara 100% PET<sub>A</sub> dan 100% PET<sub>KS</sub> iaitu 373% dan 128% masing-masing. Didapati bacaan bagi 100% PET<sub>KS</sub> adalah paling rendah dan ia cepat mengalami kegagalan iaitu putus atau patah.



**Rajah 8:** Graf Perbandingan Peratus Pemanjangan pada Titik Putus antara nisbah campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub>

Keputusan yang diperolehi ini menunjukkan PET<sub>A</sub> mengalami tingkahlaku mulur manakala PET<sub>KS</sub> menunjukkan tingkahlaku rapuh. Keputusan ini diperkuatkan lagi dengan keputusan kajian yang pernah dibuat oleh Torres (1999) yang menunjukkan bahawa PET dikitar semula mengalami degradasi termomekanikal semasa acuan suntikan. Oleh sebab itu, PET<sub>A</sub> mempunyai tingkahlaku mulur manakala PET<sub>KS</sub> mempamerkan sifat yang rapuh.

Ujian sifat mekanikal menunjukkan perbezaan yang besar wujud di antara spesimen PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> yang disuntik menggunakan mesin pengacuan suntikan dimana PET mempamerkan tingkahlaku rapuh dan satu lagi pula menunjukkan tingkahlaku mulur. Keputusan ini adalah akibat perbezaan dalam penghabluran antara bahan-bahan, walaupun kedua-duanya telah dibentuk di bawah keadaan yang sama (Muller 2004).

PET<sub>KS</sub> 50% pula mengalami peratus pemanjangan sebanyak 353% dan ini menggambarkan, spesimen campuran komposisi ini mengambil masa yang lama untuk mengalami keadaan putus dan ini menunjukkan ia lebih mulur berbanding nisbah campuran komposisi yang lain.

Dengan mempunyai sifat kemuluran yang tinggi, campuran PET<sub>KS</sub> 50% adalah sesuai dicadangkan untuk produk yang melibatkan proses penarikan, peniupan dan lain-lain proses yang memerlukan sifat mulur yang tinggi dan bacaan nilainya adalah hampir setara dengan bacaan 100% PET<sub>A</sub>. Bagi komposisi campuran yang lain bacaannya tidak jauh berbeza dan agak konsisten

#### 4.0 KESIMPULAN

Ujian tegangan yang dibuat untuk mengenalpasti sifat-sifat mekanikal berkaitan kekuatan tegangan terhadap nisbah campuran antara PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> telah berjaya dilaksanakan mengikut objektif dan skop yang ditentukan. Merujuk kepada keputusan dan perbincangan sebelum ini, di dapati secara keseluruhannya sifat mekanikal bagi PET<sub>A</sub> 100% adalah lebih tinggi berbanding PET<sub>KS</sub> 100%. Menurut Liu (1992) secara umumnya sifat mekanikal yang tinggi bagi 100% polimer asli adalah kerana struktur molekul semulajadinya dan sifat mekanikal yang rendah bagi 100% kitar semula adalah disebabkan pelbagai jenis tegasan yang dikenakan semasa penggunaan yang lepas.

Kajian ini berjaya menunjukkan bahawa botol jenis PET yang dikitar semula boleh diguna pakai untuk dihasilkan semula menjadi botol atau produk lain. Ini adalah kerana daripada keputusan yang diperolehi menunjukkan bacaan nilai yang tidak jauh berbeza terutamanya antara PET<sub>A</sub> 100% dengan adunan atau campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub>. Sifat-sifat mekanikal hasil dari ujian tegangan yang dijalankan terhadap adunan atau campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> tidak banyak berubah atau menurun walaupun PET<sub>KS</sub> telah digunakan dan diproses semula.

Dari hasil keputusan ujian tegangan yang dibuat cadangan komposisi yang paling sesuai untuk produk yang memerlukan kekuatan dan menahan beban yang tinggi adalah campuran dengan komposisi 70% PET<sub>KS</sub> dan 30% PET<sub>A</sub>. Cadangan ini dibuat berdasarkan keputusan yang diperolehi dimana bacaan modulus keanjalan, tegasan tegangan pada takat alah dan tegasan tegangan pada beban maksimum yang tinggi iaitu 1120.03, 80.9 dan 82.78 MPa masing-masing seperti ditunjukkan didalam jadual 4. Keputusan ini jelas menunjukkan campuran komposisi ini mempunyai sifat ketahanan yang tinggi dan mampu menahan beban yang tinggi berbanding komposisi yang lain. Daripada keputusan ujian tegangan jadual 3 yang diperolehi juga didapati tegasan tegangan pada titik putus dan peratus pemanjangan bagi 100% PET<sub>KS</sub> menunjukkan bacaan yang signifikan iaitu 4.57 MPa dan 128%.

Ini bermaksud kekuatan menahan beban pada titik putus bagi bahan 100% PET<sub>KS</sub> adalah amat rendah dan peratus pemanjangannya juga rendah. Ia menunjukkan seperti tingkahlaku rapuh pada bahan tersebut. Bacaan peratus pemanjangan yang tertinggi diperolehi dalam ujian tegangan ini seperti di jadual 6, ialah hasil nisbah campuran bagi komposisi 50% PET<sub>KS</sub> dan 50% PET<sub>A</sub> dengan bacaan peratus pemanjangan sebanyak 353%. Oleh yang sedemikian, komposisi ini adalah amat sesuai dicadangkan untuk menghasilkan produk yang dihasilkan melalui proses penarikan kerana ia mempunyai sifat kemuluran yang tinggi.

Daripada hasil cadangan komposisi yang diperolehi, ia akan dapat memperbanyakkan penggunaan botol kitar semula dan akan mengurangkan pembuangan botol tersebut seterusnya dapat membantu menjaga alam sekitar. Hasil kajian ini juga dapat mengurangkan penggunaan PET<sub>A</sub> dalam penghasilan produk baru secara berterusan dan ini dapat menjimatkan kos untuk mendapatkan bahan mentah. Disamping itu juga, hasil kajian berkenaan campuran PET<sub>A</sub> dan PET<sub>KS</sub> boleh dinilai dan dibentangkan kepada industri tertentu bagi membantu pembuat atau pengeluar menentukan komposisi campuran yang paling sesuai untuk aplikasi mereka. Oleh yang demikian, ia sekaligus dapat memberikan cetus idea kepada pembuat produk bagaimana untuk meningkatkan pengeluaran produk dengan kos yang rendah tetapi dapat menghasilkan produk yang mempunyai sifat mekanikal yang baik.

## 5.0 RUJUKAN

- Ahmad sobri. (2011). Sifat-sifat konkrit dengan botol plastik terbuang. Tesis Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia.
- A.J. Muller, J.L. Feijoo, M.E. Alvarez, and A.C. Febles. 2004. The Calorimetric and Mechanical Properties of Virgin and Recycled Poly( Ethylene Terephthalate)From Beverage Bottles. *Polymer Engineering and Science* Vol. 27 : No. 11.
- Dalen M.B. & Nasir T. 2009. Plastic Waste Recycling. *Science World Journal* Vol 4 : No 1.
- Dong Ho Kang, Rafael Auras, Keith Vorst, Jay Singh. 2010. An exploratory model for predicting post-consumer recycled PET content in PET sheets. *Polymer Testing* 30: 60-68.
- Guillermina Burillo, Roger L. Clough, Tibor Czvikovszky, olgun Guven, Alain Le Moel,Weiwei Liu, Ajit Singh, Jingtian Yang, Traian Zaharescu. 2001. Polymer recycling: potential application of radiation technology. *Radiation Physics and Chemistry* 64: 41-51.
- Khalid Mahmood Zia, Haq Nawaz Bhatti, Ijaz Ahmad Bhatti. 2007. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive & Functional Polymers* 67(8): 675-692.
- Liu, P. & Waskom T. L. 1992. The mechanical properties of recycled HDPE. Laporan Akhir untuk Fakulti Penyelidikan, Universiti Eastern Illinois.

- Masoud Frounchi, Mahmood Mehrabzadeh and Reza Ghiaee. 1997. Studies on Recycling of Poly(ethylene terephthalate) Beverage Bottles. Iranian Polymer Journal Volume 6 Number 4.
- Mohd Asmadi. 2004. Permudahan Lengkung Tegasan Terikan bagi struktur kayu. Tesis Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia.
- N. Torres a, J.J.Robin a, B. Boutevin. 1999. Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) before and after injection molding. European Polymer Journal 36: 2075-2080.
- Parthasarathy Pattabiraman, Dr. Igor Sbarski, Prof Tom Spurling. 2005. Thermal and Mechanical properties of recycled PET and its blends. IRIS, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia.
- Sumber Buletin Pengguna KPDNHEP. 2013. Kurangkan Penggunaan Botol Plastik. Utusan Malaysia, 16 Ogos 2013.