

PEMBANGUNAN KAEDAH PENCIRIAN SIFAT MEKANIKAL BAHAN POLIMER MENGGUNAKAN ANALISIS I-KAZ 4D

DEVELOPMENT OF POLYMER MECHANICAL PROPERTIES CHARACTERISTICS USING I-KAZ 4D ANALYSIS METHOD

Mohd Irman Ramli^{a,b*}, Mohd. Zaki Nuawi^a, Mohammad Rasidi Mohammad Rasani^a, Shahrum Abdullah^a, Muhamad Arif Fadli Ahmad^a, Muhammad Fazrin Abdullah^a

^aJabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

^bJabatan Teknologi Kejuruteraan Mekanikal, Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia

Article history

Received

27 July 2017

Received in revised form

7 September 2017

Accepted

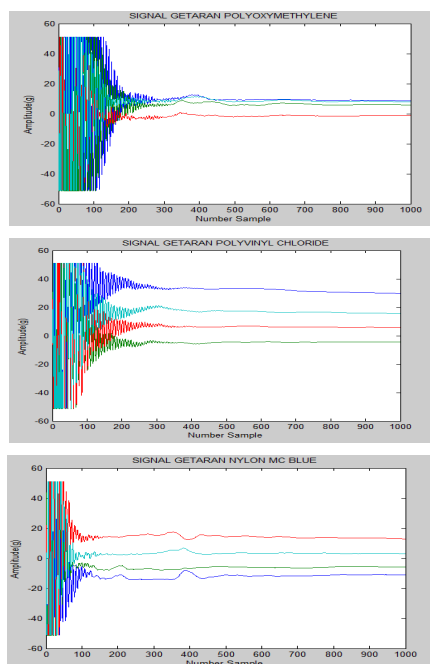
15 January 2018

Published online

1 April 2018

*Corresponding author
irman@utem.edu.my

Graphical abstract



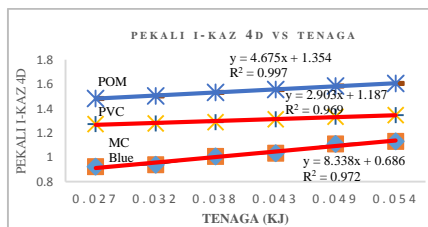
Abstract

This study was undertaken to develop an alternative method based on signal analysis known as I-kaz 4D or I-kaz 4 channels. The aim was to characterize several mechanical properties including Poisson Ratio (PR), Vickers Hardness (VH), Yield Strength (YS), Tensile Strength (TS), Compression Strength (CS) and Fatigue Strength (FS). Specimens used are Polyoxymethylene (POM), Polyvinylchloride (PVC) and Blue Nylon MC (MC Blue). Round bar shape specimens were impacted by steel ball from different heights, 20 cm to 40 cm. This test was conducted at semi-anechoic room and follow ASTM E1876 standard accordingly. 4 accelerometer sensors were placed on the specimen surface to capture vibration signal produced by ball impact. Transient signals which generated from ball impact were analysed using Matlab software based on mathematical model I-kaz 4D. As a result, a correlation was found between I-kaz linear coefficient and material mechanical properties. However the errors are within acceptable range for all specimens used. It was found that average errors for Poisson Ratio = 0.69%, Vickers Hardness = 2.12%, Yield Strength = 3.20%, Tensile Strength = 2.43%, Compression Strength = 2.75% and Fatigue Strength = 2.02%. It has potentiality to be used for further analysis of the respective materials.

Keywords: Polymer mechanical characteristic, steel ball impact, I-kaz 4D, accelerometer sensor, I-kaz linear coefficient, vibration signal, Matlab software

Abstrak

Kajian ini adalah untuk membangunkan satu kaedah alternatif berdasarkan analisis isyarat yang dikenali sebagai I-kaz 4D atau I-kaz 4 saluran. Kaedah ini bertujuan untuk melakukan pencirian sifat-sifat mekanikal bahan seperti Nisbah Poisson (NP), Kekerasan Vickers (KV), Kekuatan Yield (KY), Kekuatan Tegangan (KT), Kekuatan Mampatan (KM) dan Kekuatan Kelesuan (KK). Spesimen polimer yang digunakan ialah Polyoxymethylene (POM), Polyvinylchloride (PVC) dan Nilon MC Biru (MC Blue). Spesimen berbentuk bulatan bar akan dikenakan impak bebola besi dari ketinggian



berbeza iaitu 20 cm hingga 40 cm. Ujian ini dijalankan di bilik separa-anakoik dan kajian ini mengikuti piawaian ASTM E1876. Sebanyak 4 unit penderia meter pecutan telah diletakkan di atas permukaan spesimen untuk menangkap isyarat getaran yang dihasilkan daripada impak bebola. Isyarat transient yang terhasil daripada impak bebola akan dianalisis menggunakan perisian Matlab berdasarkan model matematik I-kaz 4D. Berdasarkan kajian ini terdapat hubungan baik antara pekali linear I-kaz dan sifat-sifat mekanikal bahan. Ralat kajian adalah rendah dan termasuk dalam julat yang boleh diterima untuk 3 jenis spesimen polimer yang digunakan. Purata ralat untuk Nisbah Poisson = 0.69%, Kekerasan Vickers = 2.12%, Kekuatan Yield = 3.20%, Kekuatan Tegangan = 2.43%, Kekuatan Mampatan = 2.75% dan Kekuatan Kelesuan = 2.02%.

Kata kunci: Sifat-sifat mekanikal bahan polimer, pengujaan impak bebola, I-kaz 4D, penderia meter pecutan, pekali linear I-kaz, isyarat getaran, perisian Matlab

© 2018 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Pencirian bahan menerangkan secara terperinci dan lengkap mengenai struktur dan komposisi sesuatu bahan tersebut [1, 2]. Ia melibatkan analisis terhadap sifat-sifat bahan, fabrikasi bahan dan kegunaan sesuatu bahan dengan tujuan menghasilkan barangan pengguna dan industri [3-5]. Kajian analisis kepada sifat-sifat bahan sangat penting untuk mengetahui potensi dan prestasi sesuatu bahan tersebut. Selanjutnya, dapat mengawal dan mengaplikasikan kegunaan sesuatu bahan itu dengan pelbagai cara untuk mengeluarkan prestasi terunggulnya [6-8].

Pencirian sifat-sifat bahan adalah satu faktor kepada penciptaan bahan baru dan meningkatkan kualiti, struktur, sifat bahan dan prestasi sesuatu bahan itu [9, 12]. Dalam kejuruteraan bahan, kajian pencirian sifat-sifat bahan bergantung kepada proses dan struktur bahan yang akan memberi kesan kepada prestasi sesuatu bahan [13-16]. Terdapat banyak masalah dalam bidang kejuruteraan melibatkan penggunaan sesuatu bahan. Antaranya ialah komponen gear mesin pembuatan, pembangunan dan pembinaan struktur bangunan di litar cip elektrik [17, 18].

Kaedah eksperimen konvensional boleh mengukur sifat bahan tertentu sahaja bagi setiap mesin ujian [3]. Sebagai contoh, mesin ujian universal hanya boleh mengukur sifat mekanik bahan tertentu seperti Modulus Young, kekuatan yield, kekuatan tegangan dan kekuatan lenturan maksimum. Pengukuran sifat bahan seperti kekerasan, ketumpatan dan kekuatan tidak boleh diuji dengan mesin ujian universal [9-11]. Mesin yang digunakan untuk proses eksperimen juga memerlukan penjagaan rapi dan pengorbanan dari segi masa untuk membersihkan mesin secara berkala di samping mengelakkan dari kos tambahan.

Penggunaan polimer dalam sektor pembangunan sangat meluas sejak berabad dahulu. Untuk memastikan keselamatan dalam mengaplikasikan penggunaan polimer dalam sektor pembinaan di bawah tekanan yang tinggi, ianya harus memenuhi kriteria yang telah digariskan iaitu

keselamatan, berkualiti dan mempunyai sifat mekanikal yang unggul seperti kekuatan, kekerasan dan ketahanan tekanan impak [1, 18-20].

Bahan polimer boleh dikelaskan sebagai aplikasi yang mempunyai ketahanan kepada pengkaratan tetapi sifat polimer akan merosot di bawah sinaran cahaya matahari. Hal ini menyebabkan polimer biasanya tidak digunakan untuk aplikasi persekitaran luar [21, 22]. Satu cara untuk mengurangkan kemerosotan sifat polimer jika terdedah di bawah sinaran cahaya matahari dalam jangka masa tertentu ialah dengan mengaplikasikan penggunaan resin epoksi melalui kaedah matriks polimer [23, 24]. Kaedah ini dilakukan dengan membuat salutan atau lapisan ke seluruh bahagian yang terdedah kepada sinaran matahari. Resin epoksi perlu disebatkan dengan bahan pengisi ringan terdiri daripada habuk asap silika untuk mengurangkan kos dan menambah kekuatan mekanikal, ketahanan dan sifat kimia konkrit polimer tersebut [25-27].

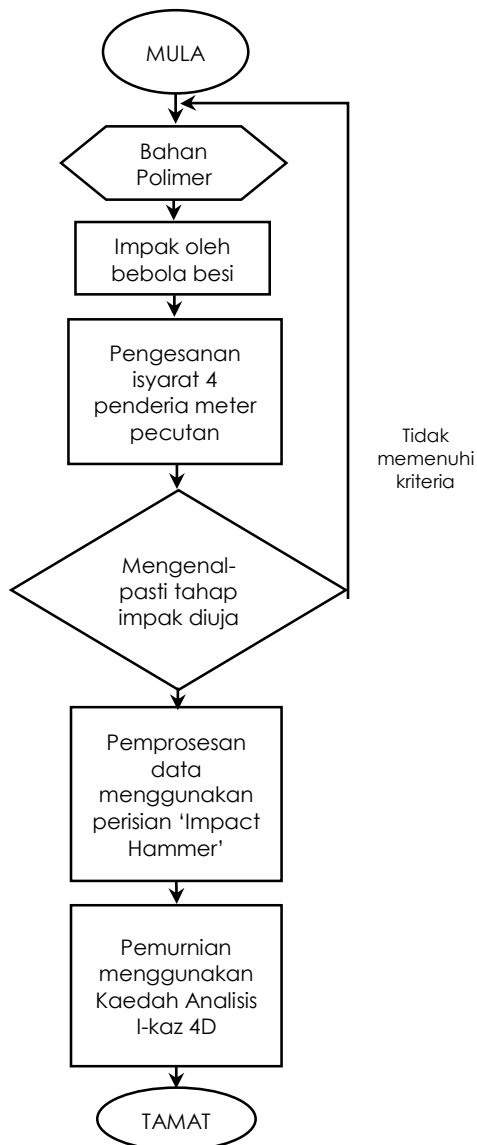
Polyoxymethylene (POM), Polyvinylchloride (PVC) dan Nilon MC Biru (MC Blue) membawa sifat polimer yang mempamerkan keadaan tekanan-rehat. Sifat ini menjelaskan mengapa polimer dikatakan mempunyai sifat viskoelastik [28-31].

Kajian ini akan menggunakan teknik pengujaan impak bebola besi berdasarkan model matematik I-kaz 4D. Model ini mengambil kira alternatif analisis statistik daripada dua sifat statistik yang penting, iaitu statistik deskriptif dan statistik inferens [32, 33]. Kaedah ini dikategorikan dalam kalangan non-destructive testing (NDT) iaitu tidak memusnahkan spesimen dan spesimen boleh digunakan semula untuk tujuan kajian yang lain [34]. Kelebihan kaedah ini adalah melibatkan kos yang rendah, mudah dilaksanakan dan tidak perlu melakukan penyelenggaraan berkala terhadap mesin yang digunakan seperti dalam kaedah konvensional [35-37]. Kajian menggunakan model matematik I-kaz 4D ini merupakan yang pertama seumpamanya dan merupakan permulaan kepada kajian-kajian seterusnya yang berkaitan dengan bahan selain polimer seperti logam.

2.0 METODOLOGI

Kajian ini akan menjurus kepada pencirian sifat bahan berdasarkan analisis isyarat getaran yang terhasil daripada impak bebola besi yang jatuh dari ketinggian yang berbeza. Dengan bantuan perisian Labview 2015 dan alat pengambilalihan data DAQ NI9234, data input daripada impak bebola akan diproses dan disimpan dalam bentuk txt.file. Semuanya bermula daripada membangunkan perisian 'Impact Hammer' dengan menggunakan bantuan Labview 2015 [38].

Perisian yang dihasilkan adalah bertujuan untuk mengukur dan menganalisis data input yang diperolehi daripada impak bebola besi yang diukur oleh 4 unit penderia meter pecutan yang diletakkan di atas permukaan spesimen. Oleh itu, kajian ini berpandukan kaedah I-kaz 4D ataupun formulasi I-kaz yang menggunakan 4 saluran penderia untuk mengesan 4 punca frekuensi daripada penjurru radius yang telah ditetapkan. Rujuk Rajah 1.



Rajah 1 Kaedah eksperimen

2.1 Senarai Kelengkapan

Dalam kajian ini, 4 unit penderia meter pecutan akan mengesan isyarat getaran di bawah kesan impak daripada bebola besi apabila jatuh ke atas permukaan spesimen. Kelengkapan dan bahan spesimen yang digunakan dalam kajian ini seperti tertera dalam Jadual 1.

Jadual 1 Senarai kelengkapan

Komponen	Spesifikasi	Bilangan
Bebola besi	D15 cm	1
Peralatan memproses data	NI9234	1
Perisian memproses isyarat	Multichannel high speed	1
Penderia meter pecutan	14020	4
Spesimen	Polyoxymethylene(POM)	1
	Polyvinylchloride(PVC)	1
	Nilon MC Biru (MC Blue)	1
Alat sokongan	Acrylic foam	1
Pad pengasingan	Acrylic	1

2.1.1 Prosedur Eksperimen

Tiga jenis polimer yang digunakan dalam ujian ini ialah Polyoxymethylene (POM), Polyvinylchloride (PVC) dan Nilon MC Biru (MC Blue). Bentuk dan parameter spesimen berdasarkan piawaian ASTM C1259-01 [39] iaitu berbentuk bar bulatan yang berdiameter 120 mm dan berketebalan 20 mm. Sifat-sifat bahan polimer yang digunakan boleh didapati melalui CES Edupack 2011 seperti dalam Jadual 2.

POM kerap diaplikasi di dalam komponen mesin seperti gear, spring, engsel dan lain-lain. POM biasanya beroperasi di bawah beban dan suhu melampau [40-42]. Seperti bahan polimer lain, POM membawa sifat viskoelastik yang mempunyai kelebihan untuknya digunakan sebagai antara bahan penting dalam penghasilan komponen mesin [43, 44].

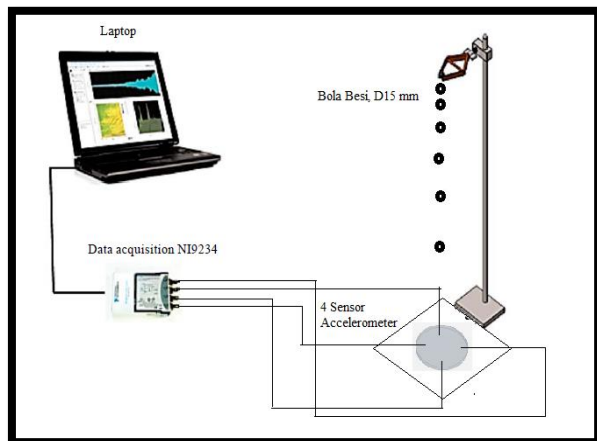
PVC adalah salah satu bahan polimer yang penting dan digunakan di lapangan seperti pembinaan, pelapis lantai, tetulang tingkap, paip dan lain-lain [20]. PVC juga dikenalpasti sebagai bahan yang sesuai digunakan sebagai bilah turbin angin untuk janakuasa elektrik. PVC mempunyai

kekuatan mekanikal dan keseimbangan sifat ketahanan haba yang baik jika digabungkan dengan polyurethane [45, 46].

Nilon MC Biru merupakan sejenis polimer yang dihasilkan melalui kaedah pemangkin-alkali anion (pempolimeran rantaian terbuka) dan berasal dari poliamida. Nilon MC Biru mempunyai ciri kekuatan mekanikal yang baik dan berprestasi pelincir mandiri yang bagus. Polimer ini selalu digunakan untuk penghasilan gear, bebola dan gelas [47, 48]. Nilon MC Biru semakin mendapat tempat di industri pembuatan dan kerap menggantikan peranan bahan logam seperti tembaga, aluminium dan keluli [49-51]. MC merupakan singkatan *Monomer Casting* dan terdiri dari pelbagai warna seperti hitam, putih gading dan merah selain dari biru.

Peralatan yang digunakan ialah bebola besi berdiameter 15 mm, pemegang retord, 4 unit penerima meter pecutan, peralatan pengambilalihan data NI9234, pita pelekat dan papan akrilik sebagai tapak sokongan serta sebuah komputer riba untuk tujuan merekod dan menganalisis data. 4 unit penerima meter pecutan diletakkan di atas empat penjuru permukaan spesimen untuk mengesan getaran impak yang terhasil.

Getaran impak dihasilkan apabila bebola besi dijatuhkan ke atas permukaan spesimen dengan ketinggian 20 cm hingga 40 cm. Rekabentuk kajian adalah seperti Rajah 2. Dengan bantuan peralatan pengambilalihan data NI9234 dan perisian Matlab berdasarkan model matematik I-kaz 4D, isyarat getaran direkodkan dan dianalisis. Untuk mengurangkan tahap gangguan bunyi, eksperimen ini dijalankan di dalam bilik separa anakoik dan berdasarkan piawaian ASTM E1876 [52].



Rajah 2 Rekabentuk ujian impak bebola besi

Jadual 2 Nilai ciri mekanik bahan berdasarkan CES Edupack 2011

Sifat Mekanikal	POM	PVC	MC Biru
Modulus Young	3.75	3.14	2.91
Modulus Ricih	1.555	1.128	1.08
Modulus Pukal	4.5	4.8	3.8
Nisbah Poisson	0.3685	0.395	0.35
Kekuatan Yield	60.5	52.9	127.5
Kekuatan Tegangan	74.8	52.9	127.5
Kekuatan Tekanan	99.45	66.05	79.5
Pemanjangan	42.5	45.95	65
Kekerasan	19.7	13.1	27.1
Vickers Kekuatan	28.05	21.15	51
Kelesuan 10 ⁷	2.955	3.25	3.92
Patah Pekali Mekanik yang hilang	0.01169	0.01418	0.0139

2.1.2 Analisis I-kaz 4D

Dalam kajian ini, kaedah analisis I-kaz 4D digunakan untuk menganalisis isyarat getaran spesimen polimer yang terhasil dari impak bebola. Formula I-kaz 4D adalah seperti berikut:

$$Z_{4D}^{\infty} = \frac{1}{n} \sqrt{k_1 s_1^4 + k_2 s_2^4 + k_3 s_3^4 + k_4 s_4^4} \quad (1)$$

di mana

Z_{4D}^{∞} : pekali I-kaz 4D

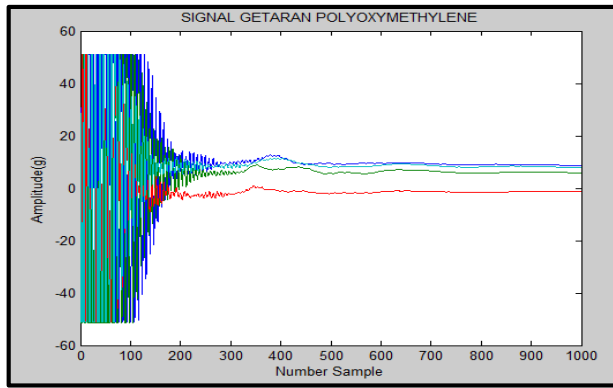
n : bilangan sampel

k : kurtosis

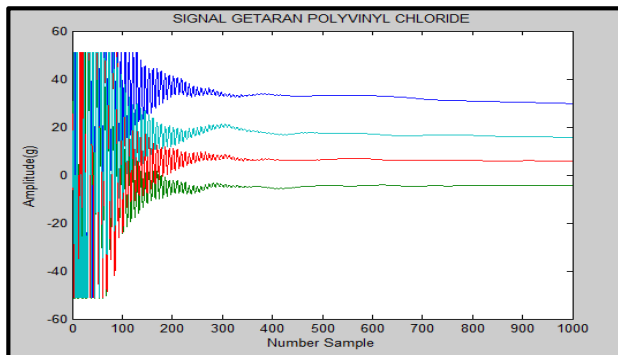
s : sisihan piawai

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

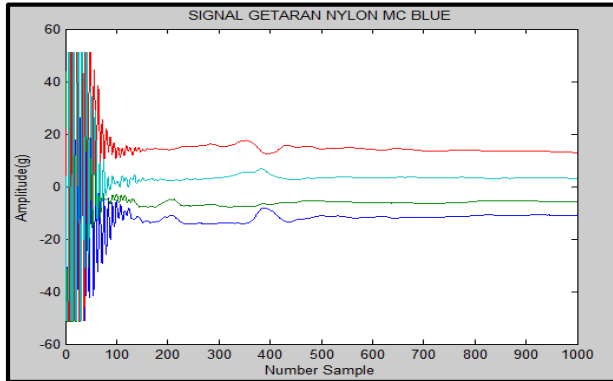
Hasil daripada ujian impak bebola besi pada ketinggian 20 cm dari spesimen, isyarat getaran telah direkodkan menggunakan peralatan pengambilalihan data dan data yang dihasilkan diplotkan ke dalam graf amplitud melawan bilangan sampel seperti Rajah 3: Graf isyarat getaran Polyoxymethylene 20 cm, Rajah 4: Graf isyarat getaran Polyvinylchloride 20 cm dan Rajah 5: Graf isyarat getaran Nilon MC Biru 20 cm. Daripada data yang telah diplotkan, terdapat varians bagi setiap bacaan penerima meter pecutan disebabkan mikrostruktur bahan spesimen tersebut.



Rajah 3 Graf isyarat getaran Polyoxymethylene 20 cm



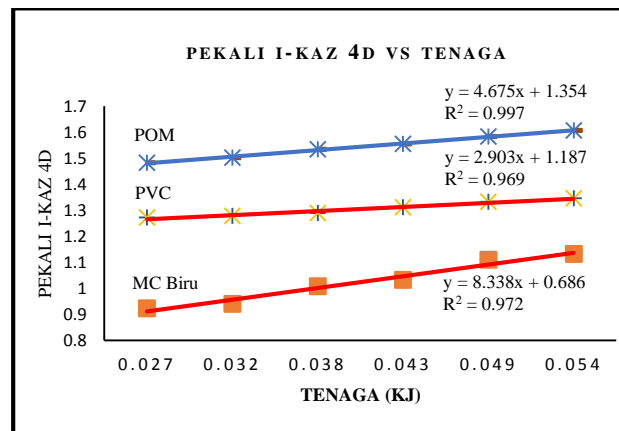
Rajah 4 Graf isyarat getaran Polyvinylchloride 20 cm



Rajah 5 Graf isyarat getaran Nylon MC Biru 20 cm

3.1 Analisis Isyarat Getaran Polimer

Jadual 3 pula menunjukkan nilai pekali I-kaz 4D bagi ketiga-tiga bahan specimen POM, PVC dan Nilon MC Biru. Nilai pekali tersebut telah dikira berdasarkan dari pelbagai ketinggian iaitu 20 cm, 24 cm, 28 cm, 32 cm, 36 cm dan 40 cm merujuk kepada piawaian yang dinyatakan sebelum ini. Daripada nilai tersebut corak keputusan telah dikenalpasti. Kemudian, nilai pekali I-kaz 4D tersebut telah diplotkan melawan Tenaga yang dihasilkan seperti di Rajah 6. Hubungan linear telah diperolehi antara pekali I-kaz 4D dengan Tenaga. Nilai korelasi, R^2 untuk 3 jenis polimer iaitu POM, PVC dan Nilon MC Biru adalah di antara 0.969 hingga 0.997 (rujuk Jadual 4).



Rajah 6 Graf pekali I-kaz 4D melawan tenaga

Jadual 4 Nilai korelasi, R^2

Polimer	Nilai Korelasi, R^2
Polyoxymethylene (POM)	0.997
Polyvinylchloride (PVC)	0.969
Nilon MC Biru (MC Blue)	0.972

Jadual 3 Nilai pekali I-kaz 4D

Ketinggian (cm)	Tenaga (kj)	Kelajuan (m/s)	POM I-kaz 4D	PVC I-kaz 4D	MC Blue I-kaz 4D
20	0.027016740	1.980908882	1.4827	1.2730	0.9234
24	0.032420088	2.169976958	1.5030	1.2790	0.9404
28	0.037823436	2.343842998	1.5341	1.2897	1.0085
32	0.043226784	2.505673562	1.5558	1.3117	1.0329
36	0.048630132	2.657668151	1.5842	1.3330	1.1104
40	0.054033480	2.801428207	1.6065	1.3460	1.1319

3.2 Analisis I-kaz 4D dan Sifat Mekanikal Bahan

Isyarat getaran yang dihasilkan oleh setiap jenis spesimen polimer adalah unik dan mempunyai hubungan dengan sifat mekanikalnya. Oleh, itu getaran yang dihasilkan oleh setiap spesimen polimer adalah berbeza dan mempunyai nilai pekali linear I-kaz tersendiri. Apa yang boleh diperhatikan ialah perbezaan julat getaran I-kaz untuk sesuatu jenis polimer dengan ketinggian impak hentaman bebola besi dari 20 cm hingga 40 cm. Daripada analisis tersebut akan menentukan nilai pekali linear antara hubungan I-kaz dan tenaga. Nilai pekali linear ini mempunyai hubungan baik dengan sifat mekanikal bahan tersebut.

3.2.1 Nisbah Poisson

Berdasarkan Jadual 5, didapati peningkatan nilai pekali linear I-kaz berkadar songsang dengan nilai Nisbah Poisson. Ini bermaksud jika sesuatu bahan itu mempunyai nilai nisbah yang lebih besar maka julat getaran pekali linear I-kaz akan lebih rapat.

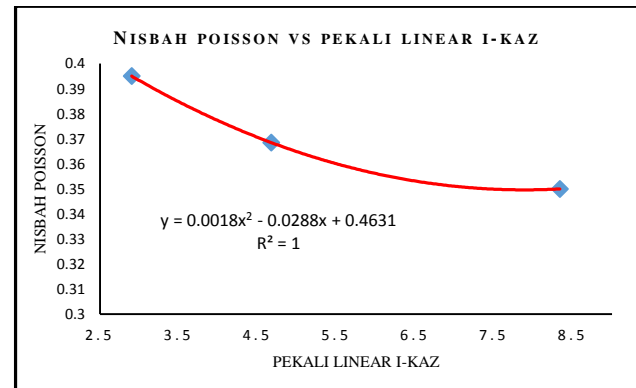
Rajah 7 menunjukkan wujudnya persamaan kuadratik secara songsang antara pekali linear I-kaz dengan Nisbah Poisson. Nilai korelasi, R^2 ialah 1.0.

Seterusnya ralat bagi ketiga-tiga jenis polimer dikira daripada persamaan kuadratik tersebut (rujuk Jadual 6).

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{NP eksperimen} - \text{NP CES Edupack}}{\text{NP CES Edupack}} \right| \times 100$$

Jadual 5 Nisbah Poisson vs pekali linear I-kaz

Polimer	Pekali Linear I-kaz	Nisbah Poisson
Polyoxymethylene (POM)	4.675	0.369
Polyvinyl chloride (PVC)	2.903	0.395
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	0.350



Rajah 7 Nisbah Poisson melawan pekali linear I-kaz

Jadual 6 Ralat Nisbah Poisson antara eksperimen dan CES Edupack 2011

Polimer	Nisbah Poisson Eksperimen	Nisbah Poisson CES	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	0.366	0.369	0.72
Polyvinylchloride (PVC)	0.399	0.395	1.00
Nilon MC Biru (MC Blue)	0.349	0.350	0.35

Purata ralat untuk Nisbah Poisson ialah 0.69%.

Jadual 7 Kekerasan Vickers vs pekali linear I-kaz

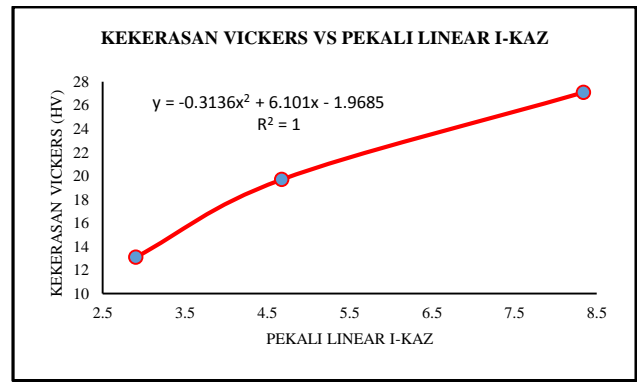
Polimer	Pekali Linear I-kaz	Kekerasan Vickers (HV)
Polyoxymethylene (POM)	4.675	19.70
Polyvinylchloride (PVC)	2.903	13.10
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	27.10

3.2.2 Kekerasan Vickers

Dengan merujuk Jadual 7, didapati peningkatan nilai pekali linear I-kaz berkadar terus dengan Kekerasan Vickers. Ini bermaksud jika sesuatu bahan itu mempunyai nilai Kekerasan Vickers yang lebih besar maka julat getaran pekali I-kaz akan lebih jauh. Rajah 8 menunjukkan wujudnya persamaan kuadrat secara terus antara pekali linear I-kaz dengan Kekerasan Vickers. Nilai korelasi, R² ialah 1.0.

Seterusnya ralat untuk ketiga-tiga jenis polimer dikira daripada persamaan kuadratik tersebut (rujuk Jadual 8).

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{KV eksperimen} - \text{KV CES Edupack}}{\text{KV CES Edupack}} \right| \times 100$$



Rajah 8 Kekerasan Vickers melawan pekali linear I-kaz

Jadual 8 Ralat Kekerasan Vickers antara eksperimen dengan CES Edupack 2011

Polimer	Kekerasan Vickers Eksperimen (HV)	Kekerasan Vickers CES (HV)	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	20.01	19.70	1.60
Polyvinylchloride (PVC)	12.49	13.10	4.60
Nilon MC Biru (MC Blue)	27.05	27.10	0.15

Purata ralat untuk Kekerasan Vickers ialah 2.12%.

Jadual 9 Kekuatan Yield vs pekali linear I-kaz

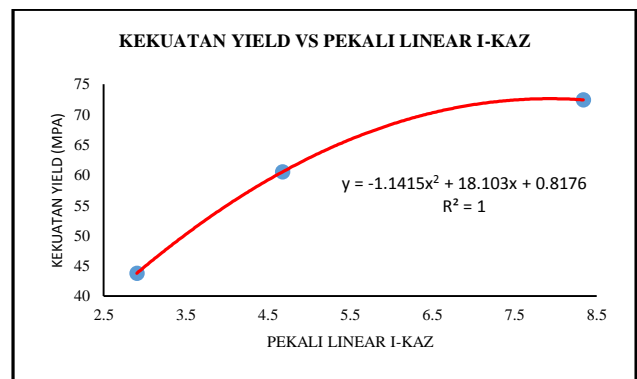
Polimer	Pekali Linear I-kaz	Kekuatan Yield (Mpa)
Polyoxymethylene (POM)	4.675	60.50
Polyvinylchloride (PVC)	2.903	43.75
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	72.40

3.2.3 Kekuatan Yield

Berdasarkan Jadual 9, peningkatan nilai pekali I-kaz berkadar terus dengan Kekuatan Yield. Ini bermaksud jika sesuatu bahan itu mempunyai nilai Kekuatan Yield yang lebih besar maka julat getaran pekali I-kaz akan lebih jauh. Rajah 9 menunjukkan wujudnya persamaan kuadratik secara terus antara pekali linear I-kaz dengan Kekuatan Yield. Nilai korelasi, R² ialah 1.0.

Seterusnya mencari ralat untuk ketiga-tiga jenis polimer daripada persamaan kuadratik tersebut (rujuk Jadual 10).

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{KY eksperimen} - \text{KY CES Edupack}}{\text{KY CES Edupack}} \right| \times 1$$



Rajah 9 Kekuatan Yield melawan pekali linear I-kaz

Jadual 10 Ralat Kekuatan Yield antara eksperimen dengan CES Edupack 2011

Polimer	Kekuatan Yield Eksperimen (Mpa)	Kekuatan Yield CES (Mpa)	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	62.03	60.50	2.50
Polyvinylchloride (PVC)	40.78	43.75	6.80
Nilon MC Biru (MC Blue)	72.19	72.40	0.29

Purata ralat untuk Kekuatan Yield ialah 3.20%.

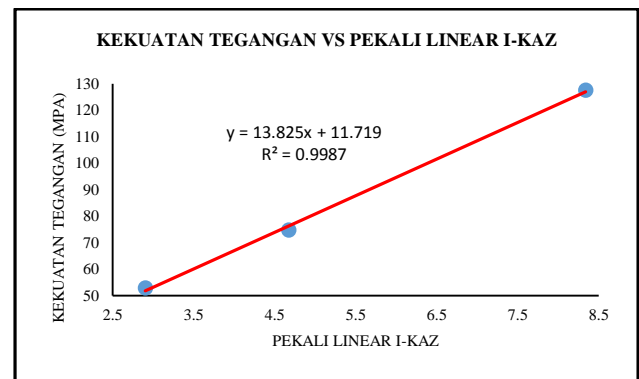
Jadual 11 Kekuatan Tegangan vs pekali linear I-kaz

Polimer	Pekali Linear I-kaz	Kekuatan Tegangan (Mpa)
Polyoxymethylene (POM)	4.675	74.80
Polyvinylchloride (PVC)	2.903	52.90
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	127.50

3.2.4 Kekuatan Tegangan

Merujuk Jadual 11, peningkatan nilai pekali I-kaz berkadar terus dengan Kekuatan Tegangan. Ini bermaksud jika sesuatu bahan itu mempunyai nilai Kekuatan Tegangan yang lebih besar maka julat getaran pekali I-kaz akan lebih jauh. Rajah 10 menunjukkan wujudnya persamaan linear antara pekali linear I-kaz dengan Kekuatan Tegangan. Nilai korelasi, R^2 ialah 0.999.

Seterusnya mencari ralat untuk ketiga-tiga jenis polimer daripada persamaan linear tersebut (rujuk Jadual 12).

**Rajah 10** Kekuatan Tegangan melawan pekali linear I-kaz

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{KT eksperimen} - \text{KT CES Edupack}}{\text{KT CES Edupack}} \right| \times 100$$

Jadual 12 Ralat Kekuatan Tegangan antara eksperimen dengan CES Edupack 2011

Polimer	Kekuatan Tegangan Eksperimen (Mpa)	Kekuatan Tegangan CES (Mpa)	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	76.27	74.80	0.23
Polyvinylchloride (PVC)	49.34	52.90	6.70
Nilon MC Biru (MC Blue)	127.90	127.50	0.36

Purata ralat untuk Kekuatan Tegangan ialah 2.43%.

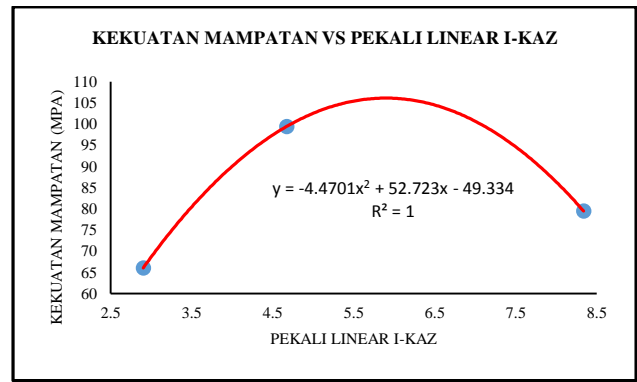
Jadual 13 Kekuatan Mampatan vs pekali linear I-kaz

Polimer	Pekali Linear I-kaz	Kekuatan Mampatan (Mpa)
Polyoxymethylene (POM)	4.675	99.45
Polyvinylchloride (PVC)	2.903	66.05
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	79.5

3.2.5 Kekuatan Mampatan

Rajah 11 menunjukkan wujudnya persamaan kuadratik antara pekali linear I-kaz dengan Kekuatan Mampatan. Nilai korelasi, R² ialah 1.0. Hubungan antara sifat mekanikal Kekuatan Mampatan dengan pekali linear I-kaz dapat dibuktikan lebih jauh dengan menggunakan lebih banyak jenis spesimen polimer pada masa depan (rujuk Jadual 13).

Seterusnya mencari ralat untuk ketiga-tiga jenis polimer daripada persamaan kuadratik tersebut (rujuk Jadual 14).



Rajah 11 Kekuatan Mampatan melawan pekali linear I-kaz

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{KM eksperimen} - \text{KM CES Edupack}}{\text{KM CES Edupack}} \right| \times 100$$

Jadual 14 Ralat Kekuatan Mampatan antara eksperimen dengan CES Edupack 2011

Polimer	Kekuatan Mampatan Eksperimen (Mpa)	Kekuatan Mampatan CES (Mpa)	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	101.46	99.45	2.00
Polyvinylchloride (PVC)	62.16	66.05	5.90
Nilon MC Biru (MC Blue)	79.63	79.50	0.34

Purata ralat untuk Kekuatan Mampatan ialah 2.75%.

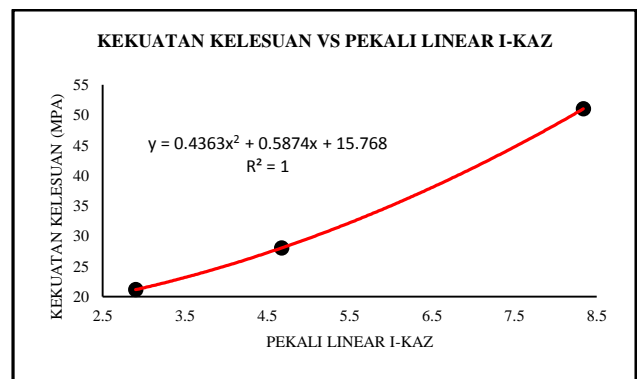
Jadual 15 Kekuatan Kelesuan vs pekali linear I-kaz

Polimer	Pekali Linear I-kaz	Kekuatan Kelesuan (Mpa)
Polyoxymethylene (POM)	4.675	28.05
Polyvinylchloride (PVC)	2.903	21.15
Nilon MC Biru (MC Blue)	8.338	51.00

3.2.6 Kekuatan Kelesuan

Berdasarkan Jadual 15, peningkatan nilai pekali I-kaz berkadar terus dengan Kekuatan Kelesuan. Ini bermaksud jika sesuatu bahan itu mempunyai nilai Kekuatan Kelesuan yang lebih besar maka julat getaran pekali I-kaz akan lebih jauh. Rajah 12 menunjukkan wujudnya persamaan kuadratik antara pekali linear I-kaz dengan Kekuatan Kelesuan. Nilai korelasi, R² ialah 1.0.

Seterusnya mencari ralat untuk ketiga-tiga jenis polimer daripada persamaan kuadratik tersebut (rujuk Jadual 16).



Rajah 12 Kekuatan Kelesuan melawan pekali linear I-kaz

$$\text{Ralat} = \left| \frac{\text{KK eksperimen} - \text{KK CES Edupack}}{\text{KK CES Edupack}} \right| \times 100$$

Jadual 16 Ralat Kekuatan Kelesuan antara eksperimen dengan CES Edupack 2011

Polimer	Kekuatan Kelesuan Eksperimen (Mpa)	Kekuatan Kelesuan CES (Mpa)	Ralat (%)
Polyoxymethylene (POM)	27.43	28.05	0.20
Polyvinylchloride (PVC)	22.35	21.15	5.70
Nilon MC Biru (MC Blue)	51.08	51.00	0.16

Purata ralat untuk Kekuatan Kelesuan ialah 2.02%.

3.3 Perbandingan Dengan Kajian Terdahulu

Perbandingan antara kajian ini dengan kajian terdahulu iaitu melalui rujukan [2] yang melakukan ujian impak bebola besi terhadap spesimen polimer yang berbentuk plat berdasarkan analisis I-kaz (rujuk Jadual 17).

Seterusnya melakukan perbandingan dengan kajian ini dengan kajian terdahulu melalui rujukan [32] yang melakukan ujian impak bebola terhadap spesimen polimer yang berbentuk bulatan bar berdasarkan analisis I-kaz 4D (rujuk Jadual 18).

Jadual 17 Perbandingan ralat Kekuatan Mampatan

Bahan	Ralat I-kaz 4D (%)	Ralat I-kaz (%)
Polyoxymethylene (POM)	2.00	6.20
Polyvinylchloride (PVC)	5.90	7.10
Nilon MC Biru (MC Blue)	0.34	9.30
Purata ralat	2.75	7.53

Jadual 18 Perbandingan ralat antara 2 polimer dan 3 polimer

Sifat Mekanikal Bahan	Ralat I-kaz 4D 2 polimer (%)	Ralat I-kaz 4D 3 polimer (%)
Nisbah Poisson	0.86	0.69
Kekerasan Vickers	3.10	2.12
Kekuatan Yield	4.65	3.20
Kekuatan Tegangan	3.47	2.43
Kekuatan Mampatan	3.95	2.75
Kekuatan Kelesuan	2.95	2.02

Berdasarkan Jadual 18, dapat difahami, semakin bertambah bahan yang digunakan, nilai ralat I-kaz 4D semakin mengecil.

4.0 KESIMPULAN

Dalam kajian ini, pencirian sifat mekanikal bahan polimer menggunakan teknik pengujian impak bebola besi berdasarkan model matematik analisis I-kaz 4D telah berjaya dibangunkan. Terdapat hubungan antara julat pekali linear I-kaz dengan sifat mekanikal bahan polimer. Sifat mekanikal yang mempunyai hubungan dengan pekali linear I-kaz ialah Nisbah Poisson, Kekerasan Vickers, Kekuatan Yield, Kekuatan Tegangan, Kekuatan Mampatan dan Kekuatan Kelesuan.

Nilai korelasi, R^2 untuk hubungan sifat mekanikal bahan (bagi 3 jenis polimer) dengan pekali linear I-kaz 4D ialah dari 0.969 hingga 0.997. Merujuk kepada nilai mekanikal bahan daripada CES Edupack 2011

dan nilai mekanikal bahan yang diperolehi melalui eksperimen, ralat yang dikenal pasti ialah purata ralat untuk Nisbah Poisson = 0.69%, Kekerasan Vickers = 2.12%, Kekuatan Yield = 3.20%, Kekuatan Tegangan = 2.43%, Kekuatan Mampatan = 2.75% dan Kekuatan Kelesuan = 2.02%.

Difahami juga nilai kekuatan untuk 3 jenis polimer ini bergantung kepada pergerakan struktur molekulnya terhadap tindakbalas rangsangan luar. Pergerakan molekul di dalam polimer berubah dengan beban mekanikal yang dikenakan [43, 44, 53]. Kajian juga mendapati nilai kekuatan bahan polimer menunjukkan kesan viskoelastik yang signifikan, dikenalpasti dengan perubahan pada kadar tegangan yang terhasil akibat daya tambahan yang dikenakan ke atas sesuatu objek polimer [54-56].

Daripada pemerhatian, semakin banyak bahan polimer digunakan, nilai ralat I-kaz 4D didapati semakin mengecil. Ini bertepatan dengan andaian statistik yang mengatakan semakin banyak bahan

kajian digunakan, semakin jitu keputusan yang diperoleh. I-kaz 4D membuktikan juga bahawa semakin banyak penderia dipasang pada spesimen, bacaan yang diperolehi semakin menghampiri nilai asli (dengan pembuktian peratusan ralat yang semakin mengecil).

Penghargaan

Pengarang ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) dan Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia (KPTM) di atas sokongan kewangan untuk kajian ini. Berbanyak penghargaan juga ditujukan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) kerana membantu dari segi pembiayaan di bawah geran penyelidikan FRGS/1/2016/TK03/UKM/02/5. Tidak dilupakan, terima kasih diucapkan kepada Profesor Madya Dr. Mohd. Zaki Nuawi dan Profesor Dr. Shahrum Abdullah di atas bantuan dan sokongan dalam memastikan projek ini diselesaikan mengikut jadual.

Rujukan

- [1] S. S. Ziyad, M. Z. Nuawi, M. T. Jasim, A. R. Bahari, F. M. Nadia. 2015. Characterisation of Polymer Material using I-kaz™ Analysis Method Under Impact Hammer Excitation Technique. *Journal of Applied Science*. 15(1): 138-145.
- [2] M. T. Jasim, M. Z. Nuawi, S. S. Ziyad, A. R. Bahari, F. M. Nadia, M. H. Mohammad. 2014. Characterisation of Mechanical Properties using I-kaz™ Analysis Method Under Steel Ball Excitation Technique. *Journal of Applied Science*. 14(24): 3595-3603.
- [3] M. S. Ahmad, M. Z. Nuawi, A. Othman. 2015. Characterisation of Metallic Material Characterisation using I-kaz™ Method under Impact Hammer Excitation Technique. *National Research and Education Conference (NAREC) March 2015*.
- [4] M. A. Meyers, K. K. Chawla. 2009. *Mechanical Behaviour of Materials*. University Press, Cambridge. 856.
- [5] M. I. Ramli, M. F. Basar, N. H. A. Razik. 2013. Natural Energy Water Pump: Revisit the Water Sling Pump. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 188-191.
- [6] M. H. Tan, F. Mat, I. M. A. Rahim, N. T. Lile, S. Yaacob. 2011. Classification of Materials by Modal Analysis and Neural Network. *Proceedings of International Conference on Information Technology and Multimedia November 14-16, 2011, Kuala Lumpur*. 1-5.
- [7] M. I. Ramli, M. Z. Nuawi, M. R. M. Rasani, S. Abdullah, K. K. Seng. 2017. Modal Analysis Study on Aluminum 6061 using Accelerometer and Piezoelectric Film Sensor. *International Journal of Applied Engineering Research*. 12(5): 787-792.
- [8] J. D. Badiá, O. Gil-Castell, A. Ribes-Greus. 2017. Long-term Properties and End-of-life of Polymers from Renewable Resources. *Polymer Degradation and Stability*. 137: 35-57.
- [9] Z. Karim, H. A. R. Izatul, S. A. S. Azuan, S. Mastura, A. Y. M. Said, A. R. Bahari, J. A. Ghani, M. Z. Nuawi. 2013. Material Mechanical Property Correlation Study using Vibration Signal Analysis. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 7(4): 94-99.
- [10] J.A. Salem, A. Singh. 2006. Polynomial Expressions for Estimating Elastic Constants from the Resonance of Circular Plates. *Mater. Sci. Eng.* 422: 292-297.
- [11] M. Radovic, E. Lara-Curzio, L. Riestler. 2004. Comparison of Different Experimental Techniques for Determination of Elastic Properties of Solids. *Mater. Sci. Eng. A*. 368: 56-70.
- [12] C. Maletta, L. Pagnotta. 2004. Determining Material Properties in Anisotropic Plates using Genetic Algorithms and Vibration Test Data. *Int. Journal of Mechanical Material*. 1(10): 199-211.
- [13] M. I. Ramli, M. Z. Nuawi, S. Abdullah, M. R. M. Rasani, M. S. Salleh, M. F. Basar. 2017. The Study of EMA Effect on Modal Identification: A Review. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 9(1).
- [14] M. Z. Nuawi, A. R. Bahari, S. Abdullah, A. K. Ariffin, Z. M. Nopiah. 2013. Time Domain Analysis Method of the Impulse Vibro-Acoustic Signal for Fatigue Strength Characterisation of Metallic Material. *Procedia Engineering*. 66: 539-548.
- [15] M. Z. Nuawi, A. R. Bahari, S. Abdullah. 2011. Impact Test on Steel Structures – An Experimental Investigation. *Adv. Mater. Res.* 146-147: 1514-1518.
- [16] M. Shadpour, H. Masoud. 2017. Condensation Polymer/Layered Double Hydroxide NCs: Preparation, Characterization and Utilizations. *European Polymer Journal*. 90: 273-300.
- [17] T. Yoshida, K. Sakurada, M. Hoshino. 2010. Measurement of Static Stress in Round Bar by Impact Sound. *Proceedings of the 14th International Conference on Experiment Mechanics, July 4- 9, Poitiers, France*. 1-2.
- [18] M. D. Zhu, B. H. Emory. 2005. On Simple Impact Test Method for Accurate Measurement of Material Properties. *Journal of Sound and Vibration*. 287: 637-643.
- [19] J.A.H. Rami, M.A. Megat Johari, H.H. Rami. 2017. Mechanical Properties and Bond Characteristics of Different Fiber Reinforced Polymer Rebars at Elevated Temperatures. *Construction and Building Materials*. 142: 521-535.
- [20] A. M. Hezma, I. S. Elashmawi, E. M. Abdelrazek, A. Rajeh, M. Kamal. 2017. Enhancement of the Thermal and Mechanical Properties of Polyurethane/Polyvinyl chloride Blend by Loading Single Walled Carbon Nanotubes. *Progress in Natural Science: Materials International*. 27: 328-343.
- [21] E. C. Botelho, A. N. Campos, E. de Barros, L. C. Pardini, M. C. Rezende. 2006. Damping Behaviour of Continuous Fiber/Metal Composite Materials by Free Vibration Method. *Compos. Part B; Eng.* 37: 255-263.
- [22] L. Bruno, F. M. Furgiuele, L. Pagnotta, A. Poggialini. 2002. A Full-field Approach for the Elastic Characterisation of Anisotropic Materials. *Optics and Lasers in Engineering*. 37(4): 417-431.
- [23] W. Ferdous, A. Manalo, T. Aravinthan, G. Van Erp. 2016. Properties of Epoxy Polymer Concrete Matrix: Effect of Resin-to-filler Ratio and Determination of Optimal Mix for Composite Railway Sleepers. *Construction and Building Materials*. 124: 287-300.
- [24] W. Ferdous, A. Manalo, A. Khennane, O. Kayali. 2015. Geopolymer Concrete-filled Pultruded Composite Beams-Concrete Mix Design and Application. *Cem. Concrete Composite*. 58: 1-13.
- [25] W. Lokuge, T. Aravinthan. 2013. Effect of Fly Ash on the Behaviour of Polymer Concrete with Different Types of Resin. *Material Design*. 51: 175-181.
- [26] M. Barbuta, M. Harja, I. Baran. 2010. Comparison of Mechanical Properties for Polymer Concrete with Different Types of Filler. *Journal of Material Civil Engineering*. 22: 696-701.
- [27] O. Elaloui, E. Ghorbel, V. Mignot, M. B. Ouedzou. 2012. Mechanical and Physical Properties of Epoxy Polymer Concrete after Exposure to Temperatures up to 250°C. *Construction Building Material*. 27(1): 415-424.
- [28] D. Tscharnuter, A. Muliana. 2013. Nonlinear Response of Viscoelastic Polyoxymethylene (POM) at Elevated Temperatures. *Polymer*. 54: 1208-1217.
- [29] B. Madhab, K.M. Pradip. 2017. Effect of Structural Disparity of Graphene-based Materials on Thermo-mechanical and

- Surface Properties of Thermoplastic Polyurethane Nanocomposites. *Polymer*. 119: 118-133.
- [30] K. S. Ravi Chandran. 2016. Mechanical Fatigue of Polymers: A New Approach to Characterize the S-N Behaviour on the Basis of Macroscopic Crack Growth Mechanism. *Polymer*. 91: 222-238.
- [31] W. Xin, N. K. Ehsan, W. Jin-Tao, W. De-Yi. 2017. Carbon-family Materials for Flame Retardant Polymeric Materials. *Progress in Polymer Science*. 69: 22-46.
- [32] M. Z. Nuawi, M. J. M. Nor, N. Jamaludin, S. Abdullah, F. Lamin, C. K. E. Nizwan. 2008. Development of Integrated Kurtosis-Based Algorithm for Z-filter Technique. *Journal of Applied Science*. 8: 1541-1547.
- [33] M. Z. Nuawi, A. R. Bahari, S. Abdullah, A. K. Ariffin. 2014. Comparison of Young's Modulus Property Determination of Metallic Materials under Two Statistical Analysis Methods. *Adv. Mater. Res.* 894: 186-191.
- [34] M. I. Ramli, M. Z. Nuawi, S. Abdullah, M. R. M. Rasani, K. K. Seng, M. A. F. Ahmad. 2017. Novel Technique of Modal Analysis for Light Structure via Piezofilm Sensor: A Comparison Study. *Jurnal Teknologi*. 79(5-2): 15-20.
- [35] L. R. Deobald, R. F. Gibson. 1988. Determination of Elastic Constants of Orthotropic Plates by Modal Analysis/Rayleigh-Ritz Technique. *Journal of Sound and Vibration*. 124: 269-283.
- [36] J. P. L. Dos Santos, P. M. Amaral, A. C. Diego, L. G. Rosa. 2013. Comparison of Young Moduli of Engineered Stones using Different Test Methods. *Key Eng. Master*. 548: 220-230.
- [37] Z. Karim, M. Z. Nuawi, J. A. Ghani, S. Abdullah, M. J. Ghazali. 2011. Optimization of Integrated Kurtosis-Based Algorithm for Z-Filter (I-kazTM) Coefficient using Multilevel Signal Decomposition Technique. *World Applied Sciences Journal*. 14(10): 1541-1548.
- [38] M. I. Ramli, M. Z. Nuawi, S. Abdullah, M. R. M. Rasani, K. K. Seng, M. A. F. Ahmad. 2016. Development on Simulation of Small Structure Modal Analysis Method using Piezoelectric Film Sensor. *Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration (ICSV23), July 10-14, 2016, Athens, Greece*. 1-8.
- [39] ASTM C1259-01. 2001. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration. *American Standard of Testing Materials*, PO Box C700, West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, USA.
- [40] L. Zhang, H. Qi, G. Li, G. Zhang, T. Wang, Q. Wang. 2017. Impact of Reinforcing Filler's Properties on Transfer Film Structure and Tribological Performance of POM-based Materials. *Tribology International*. 109: 58-68.
- [41] W. Luo, Q. M. Ding, Y. Li, S. T. Zhou, H. W. Zhou, M. Liang. 2015. Effect of Shape Morphology on Mechanical, Rheological and Tribological Properties of Polyoxymethylene/aramid Composites. *Polym Sci Ser A*. 57: 209-220.
- [42] Y. Y. Zhang, S. W. Zhu, Y. Liu, B. Yang, X. L. Wang. 2015. The Mechanical and Tribological Properties of Nitric Acid-treated Carbon Fiber-reinforced Polyoxymethylene Composites. *Journal Applied Polymer Science*. 41812-41819.
- [43] J. Mohanraj, D. C. Barton, I. M. Ward, A. Dahoun, J. M. Hiver, C. G'Sell. 2006. Plastic Deformation and Damage of Polyoxymethylene in the Large Strain Range at Elevated Temperatures. *Polymer*. 47: 5852-5861.
- [44] S. Vogiatzoglou, D. C. Barton, J. Mohanraj. 2010. Plane Strain Compression Testing of Polyoxymethylene at Varying Strain Rates and Elevated Temperatures. *Plastics, Rubber Composites*. 39: 256-263.
- [45] E. M. Abdelrazek, I. S. Elashmawi, A. M. Hezma, A. Rajeh, M. Kamal. 2016. Effect of an Encapsulate Carbon Nanotubes (CNTs) on Structural and Electrical Properties of PU/PVC Nanocomposites. *Physica B*. 502: 48-55.
- [46] A. M. Hezma, I. S. Elashmawi, A. Rajeh, M. Kamal. 2016. Change Spectroscopic, Thermal and Mechanical Studies of PU/PVC Blends. *Physica B*. 495: 4-10.
- [47] L. Ning, L. Jian, S. Yang, J. Wang, J. Ren, J. Wang. 2010. Effect of Carbon Black on Triboelectrification Electrostatic Potential of MC Nylon Composites. *Tribology International*. 43: 568-576.
- [48] B. Pan, S. Zhang, W. Li, J. Zhao, J. Liu, Y. Zhang, Y. Zhang. 2012. Tribological and Mechanical Investigation of MC Nylon Reinforced by Modified Graphene Oxide. *Wear*. (294-295): 395-401.
- [49] C. Li, M. Xiang, L. Ye. 2017. Intercalation Structure and Highly Enhancing Tribological Performance of Monomer Casting Nylon-6/Graphene Nano-composites. *Composites: Part A*. 95: 274-285.
- [50] W. Wang, L. Meng, K. Leng, Y. Huang. 2017. Hydrolysis of Waste Monomer Casting Nylon Catalyzed by Solid Acids. *Polymer Degradation and Stability*. 136: 112-120.
- [51] M. Xiang, C. Li, L. Ye. 2017. Structure and Conformation of Polyetheramine in Confined Space of Graphene Oxide and its Enhancement on the Electrically Conductive Properties of Monomer Casting Nylon-6. *Composites: Part A*. (95): 1-11.
- [52] ASTM E1876-09. 2009. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. *American Standard of Testing Materials*, PO Box C700, West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, USA.
- [53] T. Sakai, S. Somiya. 2011. Analysis of Creep Behaviour in Thermoplastic Based on Viscoelastic Theory. *Mech Time-dependent Mater* 15: 293-308.
- [54] K.R. Rajagopal, A.S. Wineman. 2008. A Quasi-correspondence Principle for Quasi-linear Viscoelastic Solids. *Mech Time-dependent Mater*. 12:1-14.
- [55] K.R. Rajagopal, A.S. Wineman. 2009. Response of Anisotropic Nonlinearly Viscoelastic Solids. *Math Mech Solids*. 14: 490-501.
- [56] A. Muliana, K.R. Rajagopal. 2012. Modeling the Response of Nonlinear Viscoelastic Biodegradable Polymeric Stents. *Int. Journal Solids and Structures*. 49(7-8): 989-1000.