

## Pencirian Sifat Mekanikal Bahan dengan Pendekatan Analisis Fraktal

(Characterization of Mechanical Material Properties with Fractal Analysis)

Nor Syaheera Mohd Riza<sup>a</sup>, Nuryazmin Ahmat Zainuri<sup>b\*</sup>, Mohd Zaki Nuawi<sup>a</sup>, Noorhelyna Razali<sup>b</sup> & Haliza Othman<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

<sup>b</sup>Jabatan Pendidikan Kejuruteraan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

\*Corresponding author: nuryazmin@ukm.edu.my

Received 15<sup>th</sup> June 2022, Received in revised form 27<sup>th</sup> July 2022  
Accepted 1<sup>st</sup> September 2022, Available online 15<sup>th</sup> November 2022

### ABSTRAK

Pemilihan bahan merupakan salah satu faktor utama dalam struktur binaan. Dalam kajian ini, satu kaedah alternatif telah dilaksanakan iaitu dengan menggunakan kaedah analisis fraktal. Penggunaan kaedah ini dapat menyumbang kepada penjimatan kos dan mengurangkan kadar kemalangan untuk mengenalpasti pencirian sifat mekanikal setiap bahan. Tujuan penyelidikan ini adalah mengkaji siri masa yang terhasil dari ujikaji penggunaan sensor filem piezo menggunakan analisis fraktal dan menyiasat sifat bahan mekanikal (nisbah poisson) berlainan dengan daya hentaman berbeza menggunakan dimensi fraktal. Terdapat empat jenis bahan terpilih iaitu loyang, tembaga, keluli lembut dan keluli tahan karat yang berbentuk bulat. Daya hentaman berbeza dihasilkan dengan menggunakan tukul hentaman dan seterusnya isyarat getaran diperoleh daripada sensor filem piezo. Dengan menggunakan perisian Matlab, analisis menggunakan kaedah fraktal dijalankan. Dimensi fraktal diperoleh daripada nilai kecerunan graf log-log plot dan dimensi fraktal dihitung bagi setiap daya hentaman yang dikenakan pada setiap spesimen. Kemudian, nilai dimensi fraktal dibandingkan dengan menggunakan CES Edupack2012 bagi pencirian sifat setiap bahan. Hasil kajian menunjukkan bahawa nilai dimensi fraktal meningkat dengan peningkatan daya impak atau hentaman manakala penurunan dalam nilai nisbah poisson berlaku apabila dimensi fraktal setiap bahan meningkat.

Kata kunci: Pengiraan kotak; daya hentaman; sensor piezofilem; isyarat getaran; nisbah poisson

### ABSTRACT

Material selection is one of the main factors in the building structure. In this study, an alternative method was implemented using fractal analysis method. The use of this method can be used for cost savings and accident rates to identify the mechanical properties of each material. The purpose of this research is to study the time series resulting from experiments using piezo film sensors using fractal analysis and investigating the properties of different mechanical materials (poisson ratios) with different impact forces using fractal dimensions. There are four types of selected materials namely brass, copper, mild steel and stainless steel which is in round in shape. Different impact forces are generated by using an impact hammer and subsequently a vibration signal is obtained from a piezo film sensor. Using Matlab software, analysis using the fractal method was performed. The fractal dimension was obtained from the gradient values of the log-log plot and the fractal dimension was calculated for each impact force applied to each specimen. Then, fractal dimension values were compared using CES Edupack2012 for characterization of the properties of each material. It can be concluded that the value of fractal dimension increases when the impact forces increase too whereas a decrease in the poisson ratio occurs when the fractal dimensions of each material increase.

Keywords: Costing box; impact forces; piezofilem sensor; vibration signal; poisson ratio

### PENGENALAN

Dalam bidang kejuruteraan, pemilihan bahan merupakan tunjang utama dalam kejayaan penghasilan sesuatu produk. Pengetahuan dan latar belakang sifat bahan adalah penting, terutama dalam penglibatan bidang analisis kerosakan di mana dapat mengelakkan malapetaka dalam kerosakan

kejuruteraan (M. Ramli 2019). Oleh hal yang demikian, kajian berkenaan sifat bahan perlu diberi perhatian untuk mengenalpasti dengan lebih mendalam permasalahan berkaitan tingkah laku bahan. Pemilihan bahan yang betul merupakan aspek yang penting dalam bidang kejuruteraan bahan (Goh et al. 2011) dan rekabentuk yang dihasilkan. Pemilihan bahan merangkumi nilai estetika, ergonomik,

memenuhi ciri-ciri keselamatan serta mengikut piawai yang dikehendaki dalam menghasilkan rekabentuk yang berkualiti dan mempunyai nilai pasaran. Kestabilan sesuatu struktur binaan juga bukan sahaja bergantung kepada rekabentuk struktur tersebut tetapi pada kualiti bahan yang digunakan. Pengembangan teknik analisis dan teknologi pengukuran untuk pencirian bahan tidak dapat di elakkan terutama dalam bidang di mana kawalan kualiti bahan amat dititiberatkan (Mohd Akil Tan 2011).

Selain itu, keluli dan aloi logam lazim turut menjadi bahan penting dalam teknologi kejuruteraan (Hilders et al. 2015). Dalam kajian ini, beberapa aloi logam lazim terpilih bagi menjalani ujian pencirian mekanikal. Sebelum ini, pelbagai kaedah telah dikaji dan diuji bagi mengenal pasti pencirian mekanikal sesuatu bahan.

Pelbagai kaedah kajian telah dilakukan bagi mengenal pasti sifat mekanikal bahan. Antaranya adalah teknik statik dan teknik dinamik. Teknik statik merujuk kepada pengukuran langsung tekanan dan regangan semasa menjalankan eksperimen piawai mekanikal. Spesimen mesti mematuhi bentuk dan dimensi tertentu untuk ujian. Modulus Young dan modulus ricih akan ditentukan dari kecerunan kawasan garis lurus lengkung tegangan dan terikan. Ujian ini biasanya mengakibatkan bentuk sampel yang diuji berubah. Ia diklasifikasikan sebagai ujian musnah, di mana sampel diuji hingga musnah atau tidak dapat dikembalikan ke bentuk asalnya dan tidak sesuai untuk pengujian seterusnya (M. Ramli, 2019).

Teknik dinamik pula merupakan kaedah ujian tanpa musnah. Ujian tanpa musnah adalah bentuk pemeriksaan yang tidak merosakkan integriti bahan. Ia dapat mengenal pasti kerosakan dan kecacatan pada permukaan bahan yang akan diperiksa, serta kecacatan yang tidak dapat dilihat. Menurut Karim et al. (2013), teknik dinamik dan statik juga boleh mengukur sifat kekenyalan sesuatu bahan. Istilah kekenyalan merupakan keupayaan bahan untuk kembali ke bentuk asalnya setelah beban dikenakan dan dikeluarkan. Contoh yang baik termasuk keluli ringan, getah dan beberapa plastik seperti nilon.

Dalam kejuruteraan bahan, setiap bahan mempunyai sifat mekanikal yang tersendiri apabila daya hentaman dikenakan. Mengikut kajian yang dijalankan oleh Zhu et al. (2020), sifat mekanikal keluli ringan dan keluli aloi mempunyai kekuatan yang berbeza kerana komposisi kimia dan teknik pembuatannya yang berbeza. Selain itu, kecenderungan penurunan modulus pemisah turut dapat diperhatikan dengan peningkatan kekuatan keluli.

Seterusnya, definisi kekerasan bahan adalah sifat bahan yang dapat menahan ubah bentuk kekal. Kekerasan bahan boleh diukur dengan ukuran lekukan yang diberikan oleh beban yang ditentukan. Selain itu, dengan penambahan bendasing dapat meningkatkan kekerasan sesuatu bahan tersebut. Pernyataan ini telah dibuktikan dalam kajian (Ali

et al. (2016) yang menyatakan bahawa dengan penambahan Fe dan Bi ke SAC105 akan meningkatkan kekerasan aloi dari 10.5 HV hingga 22.6 HV dan ini menunjukkan peningkatan lebih dari dua kali ganda.

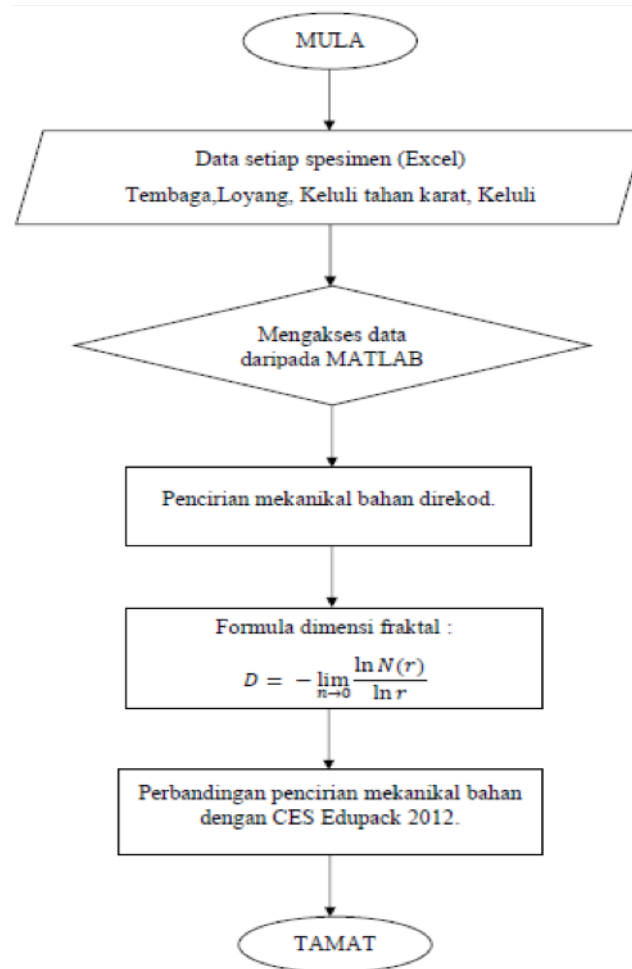
Dalam kajian ini, analisis fraktal digunakan dalam pencirian bahan mekanikal. Tang & Wang (2012) telah menggunakan dimensi fraktal untuk mengkaji sifat bahan mekanikal. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Wu et al. 2018, beliau mendapati bahawa sifat mekanikal bahan nisbah poisson berlaku penurunan dengan peningkatan dimensi fraktal. Salah satu kaedah yang biasa digunakan dalam analisis fraktal adalah kaedah algoritma pengiraan kotak. Kaedah ini telah digunakan untuk mengenal pasti dimensi fraktal bagi sesuatu spesimen (Lashgari et al. 2015). Dalam kaedah ini, signal getaran akan ditutup dengan jumlah kotak dengan ukuran sisi yang tertentu. Jumlah kotak yang telah dihasilkan untuk menutupi signal getaran tersebut akan dikira dan proses ini diulang untuk saiz kotak yang berbeza. Oleh itu, jumlah penggunaan kotak untuk menutupi signal getaran akan berbeza dan nilai dimensi fraktal dapat dikira (Kiew et al. 2020). Algoritma pengiraan kotak ini diprogramkan di dalam perisian MATLAB.

Mengikut kajian Agrawal (2008), beliau mendapati bahawa terdapat empat kategori dalam membuat pemilihan bahan yang mana ianya menjadi perkara yang perlu diambil kira dan tidak boleh dipandang remeh bagi jurutera iaitu pencirian sifat fizikal, pencirian sifat haba, pencirian sifat mekanikal dan pencirian sifat kimia. Walaubagaimanapun, tidak banyak kajian yang dijalankan bagi mengkaji keberkesanan analisis fraktal dalam mengenal pasti sifat mekanikal bahan terhadap bahan logam dan kebiasannya dalam industri kejuruteraan mereka akan memakai mesin ujikaji konvensional untuk mengenal pasti sifat mekanikal bahan.

Oleh itu, tujuan kajian ini dilakukan untuk mengkaji siri masa isyarat fana yang terhasil dari ujikaji penggunaan sensor filem piezo menggunakan analisis fraktal dan seterusnya menyiasat sifat-sifat bahan mekanikal dengan daya hentaman berbeza menggunakan dimensi fraktal.

## METODOLOGI

Ujikaji daya hentaman menggunakan tukul hentaman dijalankan untuk memperolehi data isyarat getaran bagi setiap bahan logam berbentuk bulat yang terpilih. Bahan logam yang digunakan adalah tembaga, loyang, keluli lembut dan keluli tahan karat. Data yang telah direkodkan disimpan dalam bentuk xls.file untuk pemprosesan data dalam perisian MATLAB. Sebanyak 65,536 data telah direkodkan dan disimpan untuk dianalisis dalam perisian MATLAB. Rajah 1 menunjukkan carta alir untuk menganalisa data bagi menentukan pencirian sifat mekanikal bahan yang dikaji.



RAJAH 1. Carta alir penentuan sifat-sifat mekanikal bahan

## DIMENSI HAUSDORFF

Dimensi ini telah diperkenalkan pada tahun 1991 (Han & Qilin 2016). Dimensi Hausdorff yang telah diaplikasikan dalam kajian ini adalah seperti dibawah:

$$DF = -\frac{\log \log N(r)}{\log \log r} \quad (1)$$

yang mana;

- DF : Dimensi Fraktal
- N(r) : Bilangan kotak
- r : Saiz kotak

Saiz kotak dan bilangan kotak dilihat menerusi kaedah pengiraan kotak melalui perisian MATLAB.

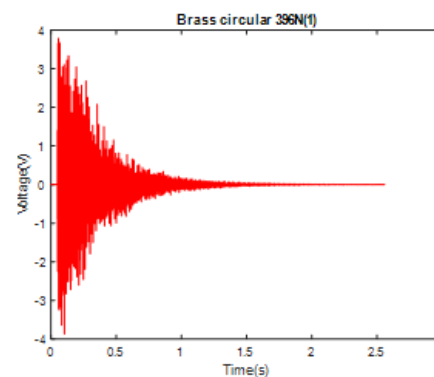
## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

## ISYARAT GETARAN

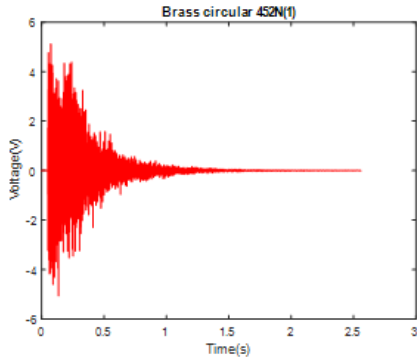
Isyarat getaran yang terhasil dan dikesan daripada empat sensor filem piezo akan dianalisis menggunakan kaedah fraktal. Setiap isyarat getaran mempunyai spesifikasi dan tona tersendiri kesan daripada getaran yang dihasilkan daripada tukul hentaman bahan dan daya dikenakan adalah

berbeza. Rajah 2 dan Rajah 3 menunjukkan isyarat getaran bahan loyang pada daya hentaman atau impak yang berbeza iaitu pada daya impak 396N dan 452N.

Melalui isyarat masa domain seperti di dalam Rajah 2 dan 3 menunjukkan bahawa penggunaan sensor filem piezo adalah sesuai bagi menggantikan sensor meter pecutan untuk membantu dalam mengenalpasti pencirian sifat mekanikal bahan logam terpilih.

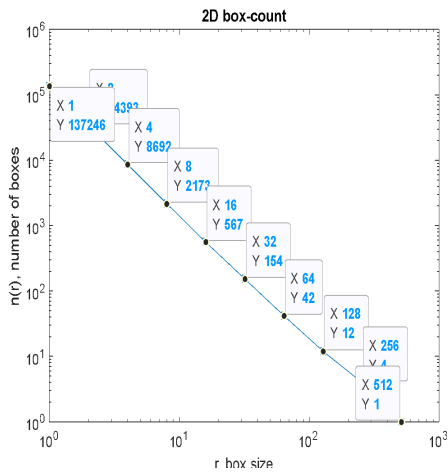


RAJAH 2. Isyarat getaran bahan loyang bulat pada daya impak 396N.

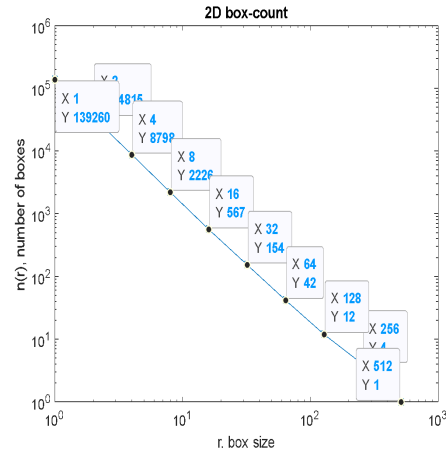


RAJAH 3. Isyarat getaran bahan loyang bulat pada daya impak 452N.

Seterusnya, setiap isyarat getaran menghasilkan bilangan kotak dan saiz kotak yang berbeza bergantung kepada isyarat getaran tersebut. Pencirian sifat fraktal dijalankan dengan menggunakan kaedah “perhitungan kotak” yang mana N ialah bilangan kotak berukuran r yang diperlukan untuk menutup isyarat getaran. Jumlah kotak yang telah dihasilkan untuk menutupi isyarat getaran tersebut akan dikira dan proses ini diulang untuk saiz kotak yang berbeza. Rajah 4 dan Rajah 5 menunjukkan salah satu keputusan pengiraan kotak bagi isyarat getaran bahan loyang pada daya hentaman atau impak 396N dan 452N.



RAJAH 4. Dimensi kotak bahan loyang pada daya hentaman 396N.

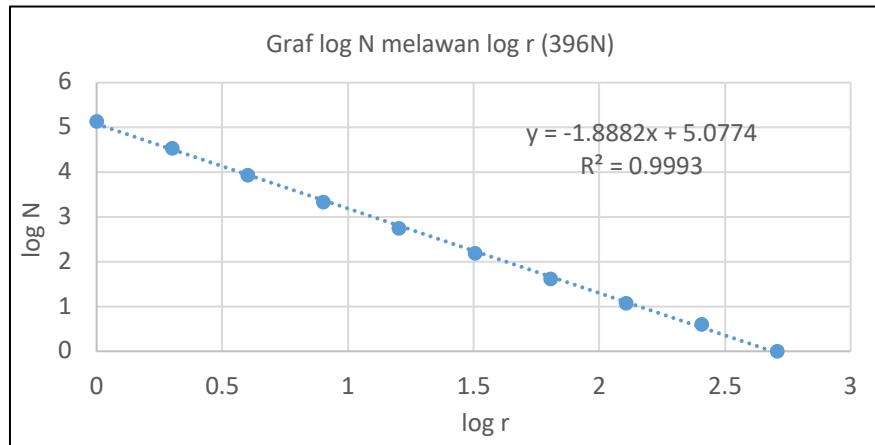


RAJAH 5. Dimensi kotak bahan loyang pada daya hentaman 452N.

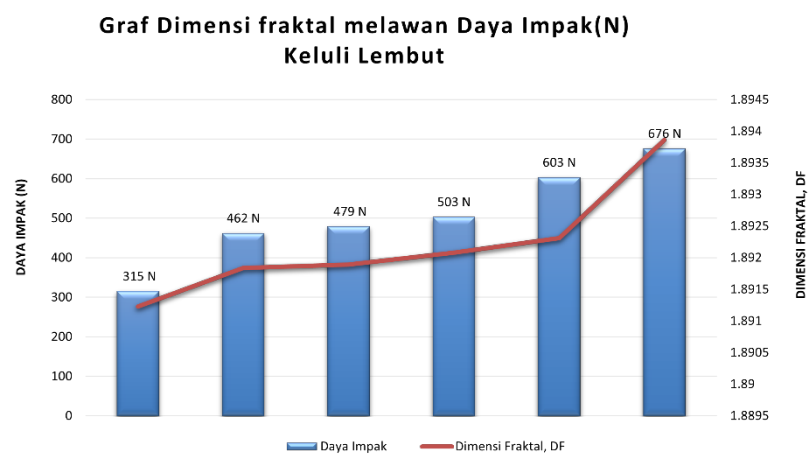
ANALISA ISYARAT GETARAN MENGGUNAKAN DIMENSI FRAKTAL

Pengiraan dimensi fraktal merupakan salah satu kaedah untuk menganalisa fraktal. Dimensi fraktal telah diperolehi dengan mengkaji siri masa isyarat fana yang terhasil dari ujikaji penggunaan sensor filem piezo. Setiap bahan yang mempunyai kerosakan berbeza yang terhasil dari daya hentaman akan mempunyai nilai dimensi fraktal tersendiri berdasarkan tahap kerosakan dan pencirian mekanikal terhadap bahan tersebut (Sun et al. 2019).

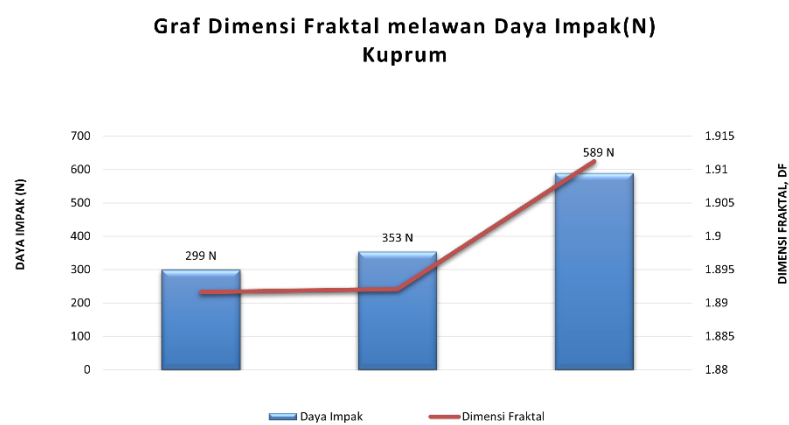
Rajah 6 menunjukkan graf log-log plot bagi data yang diperolehi daripada perisian MATLAB iaitu data bilangan kotak dan saiz kotak yang dikenakan kepada rajah isyarat getaran untuk loyang. Analisa isyarat getaran merupakan proses mengenalpasti kelainan dan pemantauan perubahan daripada penghasilan getaran sesuatu sistem tersebut (M. Ramli, 2019). Seterusnya dimensi fraktal boleh diperolehi dari kecerunan graf log-log plot.



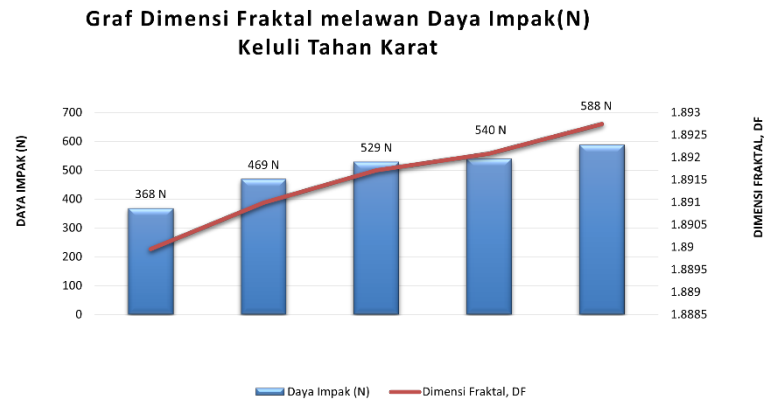
RAJAH 6. Graf log N melawan log r bahan loyang pada daya 396N.



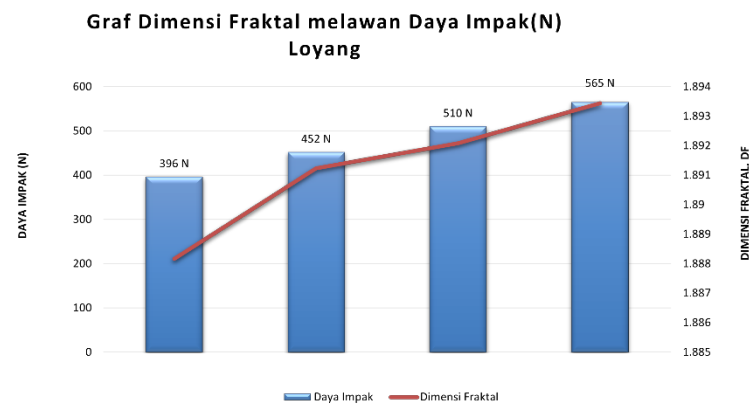
RAJAH 7. Graf Dimensi Fraktal melawan Daya Impak (N) bagi Keluli Lembut



RAJAH 8. Graf Dimensi Fraktal melawan Daya Impak (N) bagi Tembaga (Kuprum)



RAJAH 9. Graf Dimensi Fraktal melawan Daya Impak (N) bagi Keluli Tahan Karat



RAJAH 10. Graf Dimensi Fraktal melawan Daya Impak (N) bagi Loyang

Rajah 7 hingga Rajah 10 menunjukkan graf dimensi fraktal melawan daya impak (N) bagi keluli lembut, tembaga, keluli tahan karat dan loyang. Di dapati bahawa nilai dimensi fraktal adalah berbeza bagi daya impak atau hentaman yang berbeza bagi bahan keluli lembut, keluli tahan karat dan loyang. Selain itu, nilai dimensi fraktal juga didapati semakin meningkat dengan peningkatan daya impak yang dikenakan terhadap bahan yang digunakan. Keputusan ini adalah selari dengan hasil dapatan yang diperolehi oleh Sun et al. (2019) yang mana beliau mendapati bahawa dimensi fraktal meningkat apabila bebanan yang dikenakan juga meningkat.

tukul hentaman dan bahan spesimen ujkaji. Nilai nisbah poisson dalam CES Edupack2012 bagi loyang, tembaga, keluli lembut dan keluli tahan karat dinyatakan dalam Jadual 1.

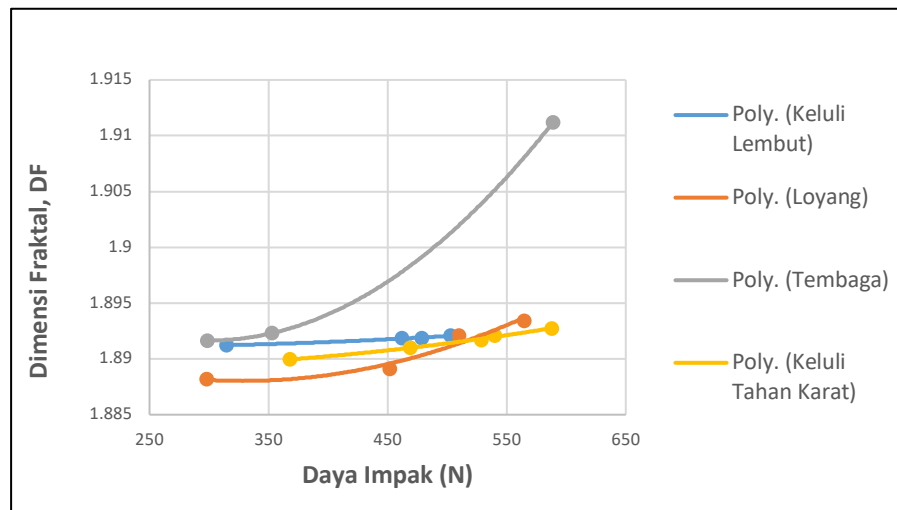
JADUAL 1. Nisbah Poisson dalam CES Edupack2021.

Bahan	Nisbah poisson, $\mu$
Loyang	0.345
Tembaga	0.335
Keluli Lembut	0.300
Keluli Tahan Karat	0.280

KORELASI ANTARA DIMENSI FRAKTAL DAN PENCIRIAN SIFAT MEKANIKAL BAHAN

Berdasarkan data yang diperolehi nilai dimensi fraktal yang dibincangkan akan membantu dalam penentuan sifat-sifat mekanikal bahan. Spesimen yang digunakan adalah berbentuk bulat dan dianalisis menggunakan kaedah fraktal. Isyarat getaran ini dijana ketika proses hentaman di antara

Pola perubahan dalam dimensi fraktal ini berkenaan dengan perubahan daya impak yang berlaku pada spesimen untuk logam berbentuk bulat telah dikaji. Rajah 11 menunjukkan graf dimensi fraktal melawan daya impak (N) manakala Jadual 2 adalah persamaan kuadrat dan pekali korelasi yang diperolehi daripada graf.



RAJAH 11. Graf Dimensi Fraktal melawan Daya Impak (N)

JADUAL 2. Persamaan kuadratik dan pekali korelasi untuk bahan logam.

Bahan	Persamaan Kuadratik	Pekali Korelasi ( $R^2$ )
Loyang	$y = 1E-07x^2 - 7E-05x + 1.8989$	0.9573
Tembaga	$y = 2E-07x^2 - 0.0001x + 1.9127$	1
Keluli Lembut	$y = 1E-08x^2 - 4E-06x + 1.8915$	0.9967
Keluli Tahan Karat	$y = 2E-08x^2 - 7E-06x + 1.8898$	0.9954

JADUAL 3. Persamaan kuadratik dan pekali korelasi untuk bahan logam.

Bahan	Persamaan kuadratik Dimensi Fraktal 'a' ( $10^{-8}$ )	Nisbah Poisson (CES Edupack2012)
Loyang	0.1	0.345
Tembaga	0.2	0.335
Keluli Lembut	1.0	0.3
Keluli Tahan Karat	2.0	0.28

#### KORELASI DI ANTARA ISYARAT SENSOR FILEM PIEZO DAN NISBAH POISSON

Jadual 3 memaparkan pekali kuadratik dimensi fraktal 'a' dan nisbah poisson bagi setiap bahan yang dikaji. Dengan membandingkan di antara turutan pekali kuadratik dimensi fraktal 'a', didapati bahawa turutan pekali kuadratik dimensi fraktal adalah bertentangan dengan tertib turutan nisbah poisson bahan yang dikaji. Analisis fraktal merupakan kaedah alternatif yang digunakan dalam penyiasatan ini. Garis arah aliran polinomial kuadratik dipilih kerana ia mempunyai pekali korelasi terbaik ( $R^2$ ) iaitu antara 0.9573 hingga 1.000.

#### KESIMPULAN

Data yang telah direkod dan analisis yang dilakukan telah membuktikan bahawa getaran adalah satu unsur mekanik yang boleh dijadikan alternatif selain daripada cara konvensional iaitu ujian musnah bagi mengenalpasti pencirian sifat mekanikal bahan. Dalam kajian ini berlaku peningkatan dimensi fraktal apabila daya hentaman yang

dikenakan ke atas bahan meningkat (Sun et al. 2019). Melalui pemurnian ciri-ciri lekuk kuadratik bersama sifat bahan yang diuji dapat dikenalpasti hubungkait di antara dimensi fraktal bagi isyarat getaran yang diperolehi daripada sensor filem piezo dengan nisbah poisson.

Oleh itu penggunaan analisis fraktal dapat menyumbang kepada pencirian sifat mekanikal bahan terutamanya dalam sektor pembangunan (Zhu et al. 2020) atau pengangkutan. Kajian ini turut berjaya membangunkan satu kaedah bukan konvensional menggunakan sensor filem piezo dalam bidang pencirian sifat mekanikal bahan melalui kaedah analisis fraktal.

#### PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas pembiayaan di bawah geran GUP-2020-016.

#### RUJUKAN

Agrawal, B. K. 2008. Introduction to Engineering Materials. New Delhi: McGraw-Hill, India.

- Ali, B., Sabri, M. F. M., Jauhari, I. & Sukiman, N. L. 2016. Impact toughness, hardness and shear strength of Fe and Bi added Sn-1Ag-0.5Cu lead-free solders. *Microelectronics Reliability* 63(2015): 224–230.
- Goh, T. L., Rafek, A. G. & Samsudin, A. R. 2011. Pencirian geomekanik jasad batuan dengan menggunakan kaedah seismos : nisbah poisson. *Sains Malaysiana* 40(6): 561–568.
- Han, Z. & Qilin, W. U. 2016. Application study of fractal theory in mechanical transmission application situation of fractal theory in mechanical transmissions. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 29(5).
- Hilders, O. A., Zambrano, N. & Caballero, R. 2015. Microstructure , strength , and Fracture topography relations in AISI 316L stainless steel , as seen through a fractal approach and the Hall-Petch Law. *International Journal of Metals*. 2015.
- Jasim, M. T., Nuawi, M. Z., Ziyad, S. S., Bahari, A. R., Nadia, F. M. & Mohammed, M.. 2014. Characterisation of mechanical properties using I-Kaz analysis method under steel ball excitation technique. *Journal of Applied Sciences* 14(24): 3595–3603.
- Karim, Z., Izatul, H. A. R., Mastura, S., Bahari, A. R., Ghani, J. A. & Nuawi, M. Z. 2013. Material mechanical property correlation study using vibration signal analysis. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 7(4): 94–99.
- Kiew, C. L., Brahmananda, A., Islam, K. T., Lee, H. N., Venier, S. A., Saraar, A. & Namazi, H. 2020. Analysis of the rRelation Bbetween fFractal sStructures of sMachined sSurface and mMachine vVibration sSignal In Turning Operation. *Fractals* 28(1): 1–8.
- Lashgari, A., Ghamami, S., Shahbazkhany, S., Salgado-Morán, G. & Glossman-Mitnik, D. 2015. Fractal dimension calculation of a manganese-chromium bimetallic nanocomposite using image processing. *Journal of Nanomaterials* 16(1): 144 2015.
- Mohd Akil Tan, M. H. 2011. Characterization of materials by vibration technique. *IJUM Engineering Journal* 12(3): 77–84.
- Ramli, M. I. 2019. Pembangunan kaedah pencirian sifat mekanikal bahan berasaskan sensor filem piezo.
- Sun, H., Wang, J. & Yang, Y. 2019. Fractal analysis on damage of the aggregate gradation crumb rubber concrete beam with MATLAB. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 611(1).
- Tang, W., & Wang, Y. 2012. Fractal characterization of impact fracture surface steel. *Applied Surface Science* 258 (10): 4777-4781.
- Wu, M., Liu, J., Lv, X. & Shi, D. 2018. A study on homogenization equations of fractal porous media. *Journal of Geophysics and Engineering* 15(6): 2388–2398.
- Zhu, Y., Yang, H., Yang, X. & Sun, F. 2020. Behavior of concrete-filled steel tubes subjected to axial impact loading. *Journal of Constructional Steel Research* 173: 106245.