

## Pencirian Isyarat Data Muzik yang Terhasil dari Alat Muzik Tradisional Menggunakan Ciri Fraktal (Characterization of Musical Data Signals Resulting from Traditional Musical Instruments Using Fractal Features)

Loh Guan Yan<sup>a</sup>, Nuryazmin Ahmat Zainuri<sup>b\*</sup> & Mohd Zaki Nuawi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi Selangor, Malaysia

<sup>b</sup> Jabatan Pendidikan Kejuruteraan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi Selangor, Malaysia

\*Corresponding author: [nuryazmin@ukm.edu.my](mailto:nuryazmin@ukm.edu.my)

Received 8 May 2023, Received in revised form 1 August 2023  
 Accepted 30 September 2023, Available online 30 December 2023

### ABSTRAK

Alat muzik biasanya dibezakan oleh penampilan dan bunyi yang dihasilkan melalui persepsi manusia yang mungkin boleh berlakunya kesalahan tafsiran oleh manusia dan gangguan lain. Oleh itu, pengecaman menggunakan isyarat muzik dijalankan bagi membantu pencirian isyarat dari alat muzik berlainan. Analisis fraktal merupakan satu teknik dalam matematik yang digunakan untuk mengkaji corak kompleks dan tidak teratur dalam pelbagai sistem. Dalam kajian ini, analisis fraktal digunakan untuk mengkaji dan menganalisis data signal nota muzik dari instrumen berbeza. Kaedah analisis fraktal yang digunakan ialah kaedah pengiraan kotak. Alat muzik tradisional yang terlibat dalam kajian ini ialah seruling, cak lempung, kompang, dan gambus. Perisian Matlab digunakan untuk menganalisis isyarat data muzik tersebut. Pada mulanya, dimensi fraktal bagi isyarat data muzik yang berbentuk data siri dikira. Kemudian, min dan sisihan piawai nilai dimensi fraktal dihitung untuk mengecam alat muzik yang berlainan. Selain itu, resolusi imej dan saiz kotak yang berbeza juga digunakan untuk mengira dimensi fraktal data siri masa alat muzik. Ralat garis lurus terbaik,  $E$  juga akan dikira untuk memastikan keboleharapan dimensi pengiraan kotak menggunakan regresi kuasa dua terkecil. Keputusan menunjukkan bahawa nilai dimensi fraktal untuk kesemua 18 data adalah antara 1.2636 ke 1.7543. Dari segi pengecaman alat muzik, pengecaman seruling dan kompang menggunakan min dimensi fraktal adalah berjaya. Namun demikian, kaedah ini adalah kurang sesuai untuk membuat pengecaman untuk cak lempung dan gambus disebabkan sisihan piawai yang tinggi. Dengan menggunakan resolusi imej dan saiz kotak yang berbeza, ketepatan nilai dimensi fraktal akan dipengaruhi. Peningkatan parameter tersebut meningkatkan ketepatan keputusan. Hasil daripada kajian menunjukkan imej beresolusi 1024 x 1024 pixels dan faktor penskalaan 9 adalah parameter yang sesuai untuk menganalisis ciri fraktal isyarat data alat muzik dengan menggunakan kaedah kotak pengiraan.

Kata kunci: Alat muzik tradisional; isyarat data; analisis fraktal; kaedah pengiraan kotak

### ABSTRACT

Musical instruments are usually distinguished by their sound produced through human perception which may lead to misinterpretation due to auditory perception bias and other disturbances. Therefore, recognition using music signals is carried out to help characterize signals from different musical instruments. Fractal analysis is a mathematical tool used to study complex and irregular patterns in various systems. In this study, fractal analysis was

*used to study and analyze musical notes signal data from different instruments. The fractal analysis method used is the box counting method. The traditional musical instruments involved in this study are the seruling, cak lempong, kompong, and gambus. Matlab software was used to analyze the musical data signal. First, the fractal dimension of the music data signal in the form of time domain is calculated. Then, the mean and standard deviation of the fractal dimension values were determined to recognize different musical instruments. Additionally, different image resolutions and box sizes are also used to calculate the fractal dimension of musical instrument from the time domain data. The error of best fit line, E will also be calculated to ensure the reliability of box counting dimensions using least-squares regression method. The results show that the value of the fractal dimension for all 18 data is between 1.2636 to 1.7543. In terms of musical instrument recognition, the recognition of seruling and kompong using mean fractal dimension is successful. However, this method is less suitable for identification for cak lempong and gambus due to the high standard deviation. By using different image resolutions and box sizes, the accuracy of fractal dimension values will be affected. Increasing these parameters increases the accuracy of the results. The results of the study show that an image with a resolution of 1024 x 1024 pixels and a scaling factor of 9 is suitable to analyze the fractal characteristics of musical instrument data signals by using the box counting method.*

*Keywords: Traditional musical instruments; data signals; fractal analysis; box counting method*

## PENGENALAN

Muzik merupakan sejenis aktiviti budaya bersifat seni yang mengeluarkan bunyi untuk menghasilkan melodi dan irama yang harmoni. Muzik merupakan aktiviti hiburan yang sangat popular antara manusia dalam dunia ini disebabkan ia dapat membangkitkan perasaan dan pemikiran idea dalam bentuk hiburan. Menurut kajian Fancourt et al. (2014), muzik sangat membantu dalam kesihatan manusia seperti meningkatkan kesihatan psikologi, fisiologi, neurologi, dan imunologi. Walau bagaimanapun, muzik biasanya dibezakan oleh penampilan dan bunyi yang dihasilkan melalui persepsi manusia yang mungkin boleh berlakunya kesalahan tafsiran oleh manusia dan gangguan lain. Oleh itu, penyelidik menganalisis muzik dengan cara saintifik untuk mengurangkan berlakunya kesalahan persepsi manusia terhadap muzik.

Dari segi kejuruteraan, muzik yang dicipta oleh manusia boleh ditafsirkan dalam bentuk gelombang bunyi, spektrum, dan isyarat stereo. Penggunaan teknik matematik dan kejuruteraan seperti analisis ciri spektrum, jelmaan Fourier pantas (FFT), dan rangkap ketumpatan Gaussian dapat membezakan genre muzik yang berlainan (Tzanetakis & Cook, 2010). Frekuensi yang merupakan asas kepada muzik menghasilkan suara atau bunyi dalam pic tertentu. Ia dapat ditangkap dan dikumpul dalam bentuk isyarat audio. Penggambaran isyarat audio dalam bentuk grafik boleh dilakukan dengan penyarian isyarat audio dalam bentuk domain masa atau domain frekuensi. Penyelidik-penyelidik telah mencadangkan banyak kaedah untuk menganalisis isyarat audio yang bertujuan untuk mempertingkatkan kualiti audio (Mu et al. 2013), mengekstrak maklumat yang berkaitan (Tzanetakis et al. 2001), dan mengkaji corak dalam audio (Gatto & Forster, 2021).

Analisis fraktal diaplikasikan dalam pelbagai bidang seperti biologi, ekologi, ekonomi dan geografi. Penyelidik menggunakan kaedah analisis fraktal yang berbeza untuk mengkaji geometri dan pencorakan yang rumit. Pengaplikasian analisis fraktal bergantung kepada dimensi fraktal yang menggambarkan ciri fraktal dalam bentuk imej. Hal ini demikian kerana dimensi fraktal merupakan parameter penting untuk mengukur ketidakteraturan sesuatu objek yang kompleks (Sun et al. 2006). Sebenarnya, kaedah analisis fraktal menggunakan penyelesaian hampir yang menganggarkan geometri kompleks sebagai fraktal. Cara ini memudahkan kajian terhadap bentuk tidak teratur yang tidak dapat diselesaikan dengan pendekatan Euclidean disebabkan sifat geometri fraktal yang bukan Euclidean (Mecholsky et al. 1989).

Kajian ini mencadangkan penggunaan kaedah analisis fraktal untuk mengkaji pencirian isyarat data muzik tradisional. Sampel audio yang terhasil dari alat muzik tradisional telah dirakam dalam bentuk isyarat data. Pangkalan data yang dibina dengan isyarat data tersebut dimasukkan dalam perisian Matlab untuk tujuan analisis. Alat muzik tradisional yang dikaji termasuk seruling, cak lempong, kompong, dan gambus. Tujuan kajian ini adalah untuk membezakan isyarat data yang terhasil dari alat muzik tersebut dengan menggunakan kaedah analisis fraktal. Kajian ini menyediakan sokongan dari segi aplikasi analisis fraktal dalam pengecaman alat muzik tanpa menggunakan persepsi manusia.

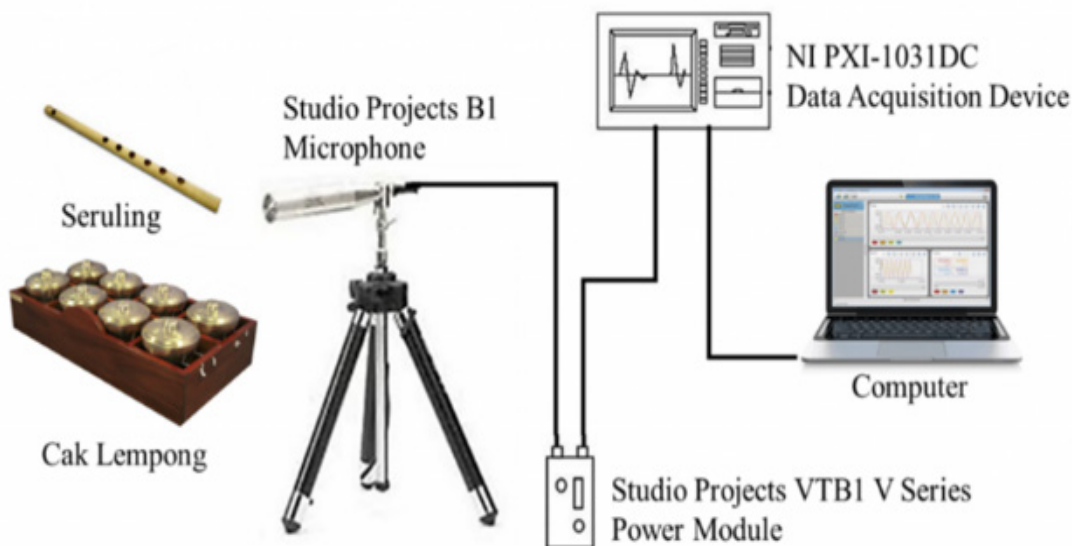
## METODOLOGI

### PENGUMPULAN ISYARAT DATA MUZIK

Untuk mencari perbezaan antara alat muzik tradisional dan menggambarannya secara grafik, isyarat bunyi akustik

yang dihasilkan dimanfaatkan. Gelombang bunyi yang dikeluarkan daripada alat muzik tradisional akan ditangkap dan direkodkan dengan menggunakan mikrofon. Data muzik tersebut akan ditukarkan ke bentuk isyarat elektrik yang boleh dipamerkan dalam komputer secara bergrafik.

Audio daripada alat muzik tradisional akan direkodkan. Seterusnya, isyarat data muzik akan dikategorikan mengikut alat muzik yang berlainan iaitu seruling, cak lempong, kompang, dan gambus. Rajah 1 menunjukkan susunan ujikaji perolehan isyarat data muzik.

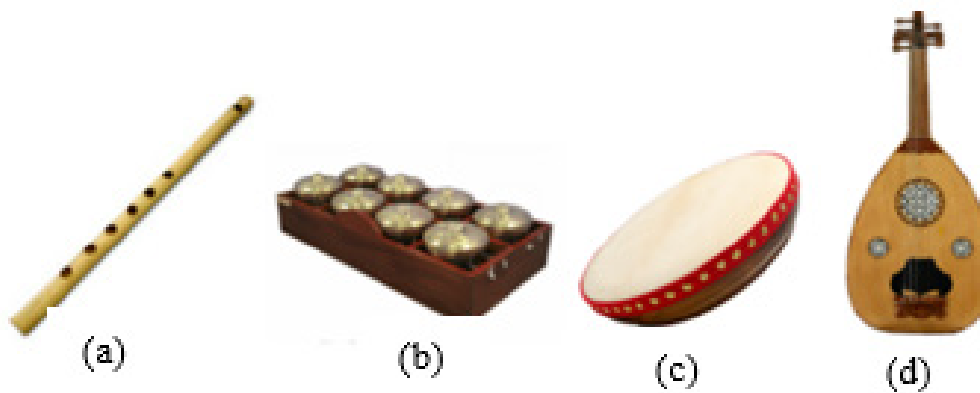


RAJAH 1. Susunan Ujikaji

### ALAT MUZIK TRADISIONAL

Rajah 2 mengilustrasikan alat muzik tradisional yang digunakan iaitu seruling, cak lempong, kompang, dan

gambus. Isyarat data muzik mengikut alat muzik tradisional akan dikategorikan mengikut Jadual 1.



RAJAH 2. Alat Muzik Tradisional: (a) Seruling, (b) Cak Lempong, (c) Kompang, (d) Gambus

JADUAL 1. Kategori Alat Muzik

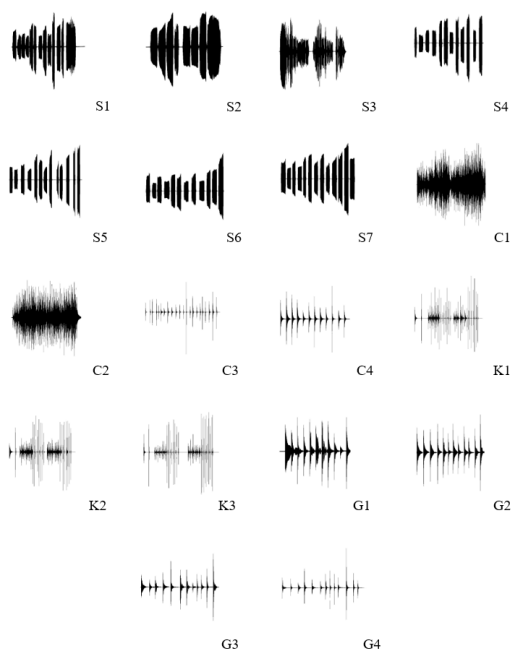
Alat Muzik	Kategori	Nama Singkat
Seruling	Kromatik	S1
	Diatonik	S2
	Melodi	S3
	G Nada Rendah	S4
	G Nada Tinggi	S5
	C Nada Rendah	S6
	C Nada Tinggi	S7
Cak Lempong	Gerteh Lagu	C1
	Saua Lagu	C2
	Gerteh Kromatik	C3
	Saua Kromatik	C4
Kompang	8 inci	K1
	13 inci	K2
	14 inci	K3
Gambus	Kromatik	G1
	Nada Rendah	G2
	Nada Sederhana	G3
	Nada Tinggi	G4

ANALISIS FRAKTAL DALAM PERISIAN MATLAB

Isyarat data muzik yang diperolehi adalah dalam fail format .wav. Isyarat data muzik tersebut akan dikumpulkan dalam pangkalan data menggunakan perisian Microsoft Access. Selepas itu, pengekodan fraktal analisis akan disediakan

dalam perisian Matlab. Isyarat data muzik akan disarikan dalam bentuk data siri masa dengan menggunakan perisian Matlab.

Kajian ini menggunakan kaedah pengiraan kotak untuk menganalisis pencirian isyarat data muzik yang terhasil dari alat muzik tradisional. Langkah pertama dalam pendekatan pengiraan kotak ialah mengira dimensi



RAJAH 3. Imej Data Siri Masa

pengiraan kotak dimana dimensi kotak adalah dimensi yang dikira berasaskan kaedah pengiraan kotak.

Untuk mendapatkan isyarat data muzik dalam bentuk imej, data gelombang bunyi dalam fail .wav tersebut akan diplot dalam bentuk data siri masa dan disimpan dalam fail bentuk .png. Selepas pengekodan kaedah pengiraan kotak disediakan dalam perisian Matlab, isyarat data muzik dimasukkan dalam perisian Matlab untuk pengiraan dimensi fraktal. Isyarat data muzik yang dikategorikan mengikut alat muzik akan ditukarkan dalam bentuk imej perduaan supaya imej tersebut dapat diproses dalam perisian Matlab. Rajah 3 menunjukkan data siri masa alat muzik selepas data tersebut ditukarkan dalam bentuk imej perduaan.

Pengiraan dimensi kotak bermula dengan melukiskan satu grid segi empat pada isyarat data muzik supaya isyarat tersebut tertutup sepenuhnya dalam grid. Setiap kotak dalam grid mempunyai panjang  $r$ , dengan panjang grid asalnya  $L$ . Seterusnya, bilangan kotak,  $N$  yang diperlukan untuk menutup semua isyarat dikira. Proses ini akan diulang dengan panjang kotak  $r/(2^n)$ , bermula dengan  $r=L$ . Faktor penskalaan,  $n$  akan bermula dengan 1 dan berakhir dengan 9. Apabila saiz kotak menjadi semakin kecil, jumlah kotak yang diperlukan untuk menutup isyarat akan semakin banyak. Perisian Matlab akan mengira kotak yang mengandungi titik hitam dalam imej perduaan menggunakan faktor penskalaan berbeza. Saiz kotak dan bilangan kotak yang berbeza akan dikira dan direkodkan. Hasilnya, graf saiz kotak dan bilangan kotak akan diplotkan.

Dimensi pengiraan kotak boleh diperolehi dengan menggunakan persamaan (1) yang mana dimensi kotak dikira daripada kecerunan garis lurus terbaik plot  $\log N_r$  melawan  $\log r$ . Persamaannya adalah seperti berikut:

$$\log \log N_r = -D_B \log \log r \quad (1)$$

yang mana  $r$  ialah panjang kotak,  $N$  ialah bilangan kotak dan  $D_B$  ialah dimensi kotak.

$$E = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (mx_i + b - y_i)^2}{1+m^2}} \quad (2)$$

#### PENCIRIAN ISYARAT DATA MUZIK DALAM ANALISIS FRAKTAL

Untuk tujuan pengekaman alat muzik, min dan sisihan piawai dimensi pengiraan kotak atau dimensi fraktal akan dikira. Graf bar yang mengandungi bar ralat akan diplotkan

mengikut kategori untuk mengecam alat muzik tradisional yang terlibat dalam kajian ini.

Setelah mendapat dimensi fraktal alat muzik, dimensi fraktal isyarat data muzik mengikut resolusi imej dan saiz kotak yang berlainan akan dikira. Resolusi imej yang digunakan dalam pengiraan dimensi pengiraan kotak dalam pengekaman alat muzik ialah  $1024 \times 1024$  pixels. Dalam bahagian ini, resolusi imej yang digunakan ialah  $512 \times 512$  pixels,  $1024 \times 1024$  pixels,  $2048 \times 2048$  pixels,  $4096 \times 4096$  pixels, dan  $8192 \times 8192$  pixels. Selain itu, saiz kotak yang berbeza juga digunakan untuk mengira dimensi fraktal data siri masa alat muzik. Faktor penskalaan,  $n$  yang digunakan adalah daripada 4 ke 13 iaitu  $2^4$  ke  $2^{13}$ . Ralat garis lurus terbaik,  $E$  juga akan dikira untuk memastikan kebolehharian dimensi pengiraan kotak tersebut. Ralat tersebut dikira menggunakan re-gresi kuasa dua terkecil.

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

### CIRI FRAKTAL ISYARAT DATA MUZIK

Analisis fraktal dijalankan menggunakan perisian Matlab dengan pengekodan kaedah pengiraan kotak. Keputusan yang diperolehi adalah dalam bentuk garis lurus terbaik graf log-log bilangan kotak dan saiz kotak. Dengan menggunakan kaedah pengiraan kotak, imej data siri masa isyarat muzik memberikan nilai dimensi fraktal antara 1 dan 2. Pengiraan tersebut akan dilakukan untuk kesemua 18 isyarat data muzik yang dikategorikan. Jadual 2 merumuskan nilai dimensi fraktal yang dikira untuk semua isyarat data muzik.

JADUAL 2. Nilai Dimensi Fraktal		
Alat Muzik	Nombor Imej	Dimensi Fraktal
Seruling	S1	1.6933
	S2	1.7543
	S3	1.6795
	S4	1.6267
	S5	1.6336
	S6	1.6540
	S7	1.6925
Cak Lempong	C1	1.7379
	C2	1.7251
	C3	1.2976
	C4	1.3496
Kompang	K1	1.4978
	K2	1.5068
	K3	1.4582

bersambung ...

... sambungan

Gambus	G1	1.5027
	G2	1.4420
	G3	1.3488
	G4	1.2636

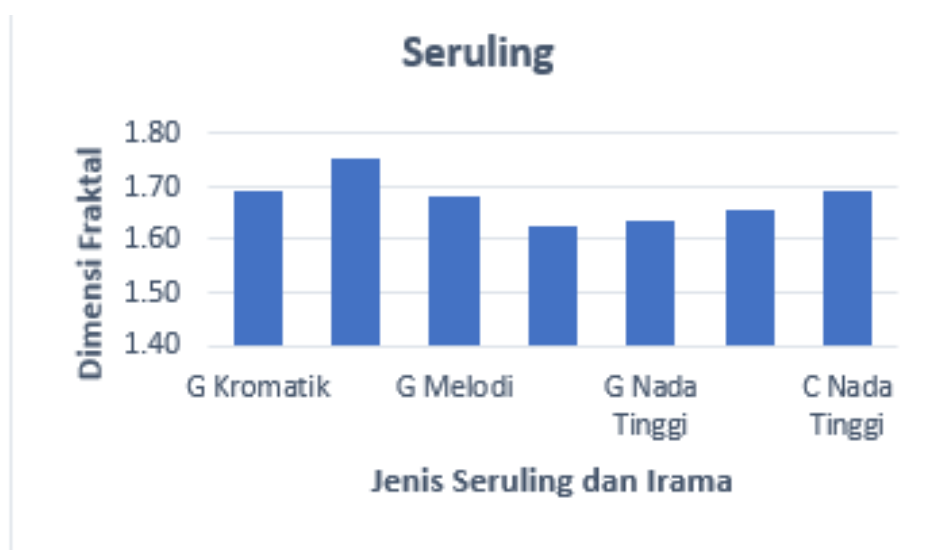
Selepas mendapat dimensi fraktal untuk setiap isyarat data muzik, ringkasan statistik dengan menggunakan pengiraan min dan sisihan piawai dibuat dan dijadualkan. Jadual 3 menunjukkan min dan sisihan piawai nilai dimensi fraktal mengikut alat muzik.

JADUAL 3. Min dan Sisihan Piawai Dimensi Fraktal

Alat Muzik	Min	Sisihan Piawai
Seruling	1.6763	0.0404
Cak Lempong	1.5276	0.2048
Kompang	1.4876	0.0211
Gambus	1.3893	0.0909

## PENGECAMAN ALAT MUZIK MENGGUNAKAN ANALISIS FRAKTAL

Dalam kategori seruling, dimensi fraktal adalah antara 1.6267 dan 1.7543. Seruling G diatonik mempunyai nilai dimensi fraktal yang tertinggi iaitu 1.7543 manakala nilai dimensi fraktal untuk seruling G nada rendah adalah paling rendah iaitu 1.6267. Min dimensi fraktal dalam kategori seruling ialah 1.6763 dengan sisihan piawai 0.0404. Hasil daripada kaedah pengiraan kotak menunjukkan bahawa dimensi fraktal untuk seruling C adalah lebih tinggi daripada seruling nada G sekiranya kedua-dua seruling dimainkan dengan irama nada rendah dan nada tinggi.



RAJAH 4. Dimensi Fraktal Mengikut Jenis Seruling dan Irama

Kajian ini menggunakan dua jenis cak lempong iaitu gerteh dan saua. Nilai dimensi fraktal dalam kategori cak lempong adalah dari 1.2976 ke 1.7379. Min dimensi fraktalnya ialah 1.5276 manakala sisihan piawainya ialah 0.2048. Nilai sisihan piawai untuk cak lempong adalah sangat besar disebabkan cara permainan cak lempong yang

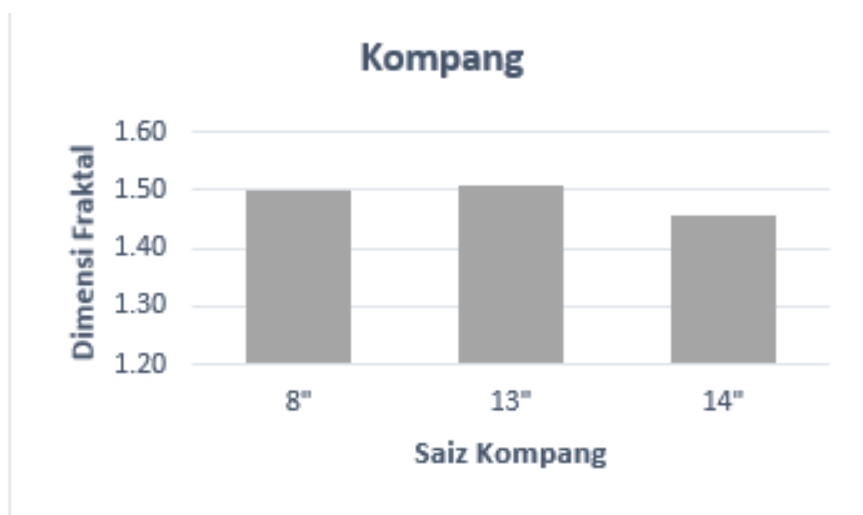
berbeza. Apabila cak lempong dimainkan dengan cara kromatik, nilai dimensi fraktalnya adalah kecil iaitu 1.2976 dan 1.3496. Lagu cak lempong pula mencatatkan nilai dimensi fraktal yang lebih tinggi iaitu 1.7251 dan 1.7379. Keputusan menunjukkan bahawa dimensi fraktal untuk cak lempong jenis gerteh dan saua adalah lebih kurang sama.



RAJAH 5. Dimensi Fraktal Mengikut Jenis Cak Lempong dan Irama

Kompang dikategorikan kepada tiga saiz kompang iaitu 8 inci, 13 inci, dan 14 inci. Dengan nilai dimensi fraktalnya 1.4978, 1.5068, dan 1.4582, min nilai dimensi fraktal untuk kategori kompang ialah 1.4876. Sisihan piawai yang direkodkan untuk kategori kompang 0.0211.

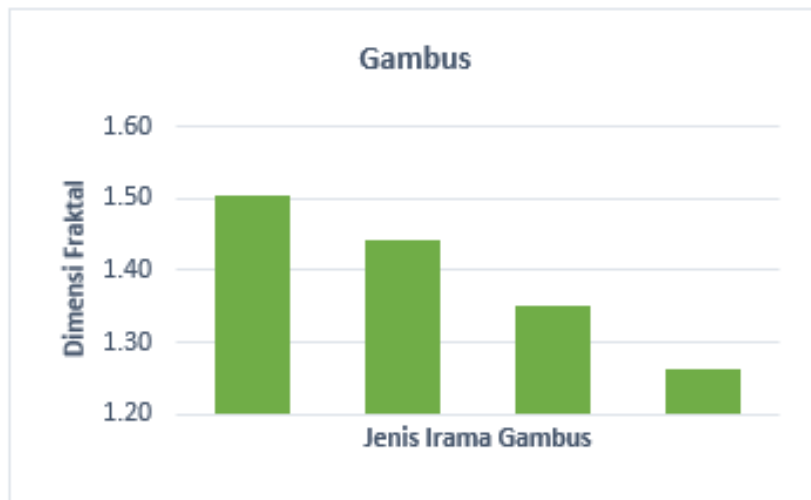
Nilai tersebut adalah paling rendah antara empat jenis alat muzik. Hasil pengiraan ini membuktikan bahawa dimensi fraktal menggunakan kaedah pengiraan kotak tidak banyak dipengaruhi oleh saiz kompang yang berlainan.



RAJAH 6. Dimensi Fraktal Mengikut Saiz Kompang

Keputusan daripada pengiraan dimensi fraktal untuk kategori gambus menunjukkan trend yang jelas. Nilai dimensi fraktal untuk kategori gambus adalah antara 1.2636 dan 1.5027. Min nilai dimensi fraktalnya ialah 1.3893 dengan sisihan piawai 0.0909. Fraktal dimensi isyarat data gambus adalah lebih rendah apabila dimainkan dengan

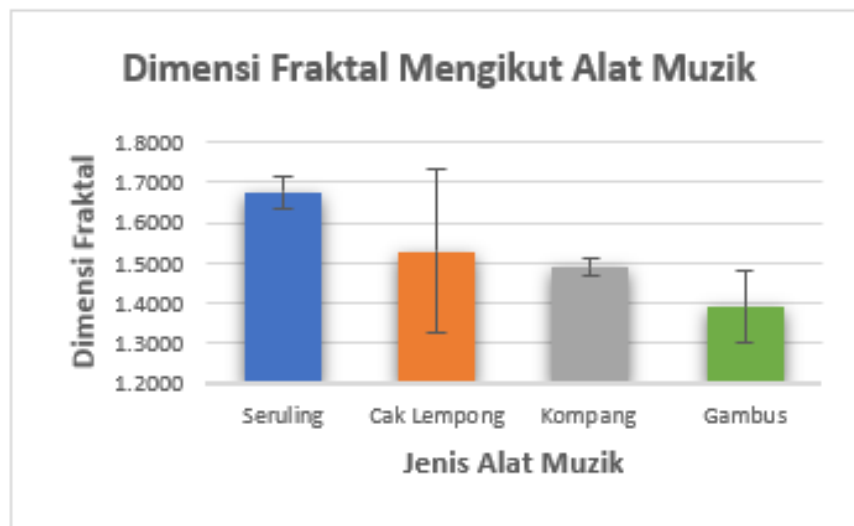
nada tinggi berbanding dengan nada rendah. Penurunan nilai dimensi fraktal tersebut adalah agak besar. Secara impaknya, sisihan piawai untuk kategori gambus adalah kedua tertinggi berbanding dengan alat muzik yang lain.



RAJAH 7. Dimensi Fraktal Mengikut Jenis Irama Gambus

Rajah 8 mengilustrasikan dimensi fraktal mengikut jenis alat muzik. min nilai dimensi fraktal untuk kategori seruling adalah paling tinggi antara empat alat muzik tradisional dengan nilai min 1.6763. Sisihan piawai untuk kategori seruling ialah 0.0404. Kategori cak lempong pula mencatatkan min dimensi fraktal 1.5276 dan sisihan

piawainya 0.2048. Sisihan piawai untuk kategori cak lempong adalah paling tinggi antara semua kategori. Selain itu, kategori kompang merekodkan min nilai dimensi fraktal sebanyak 1.4876 dengan sisihan piawai sebanyak 0.0211. Akhirnya, nilai dimensi fraktal untuk kategori gambus adalah paling rendah antara empat alat muzik iaitu 1.3893 manakala sisihan piawainya ialah 0.0909.



RAJAH 8. Dimensi Fraktal Mengikut Jenis Alat Muzik

Kategori seruling yang mencatatkan min sebanyak 1.6763 merupakan min tertinggi berbanding dengan alat muzik yang lain. Tambahan pula, sisihan piawainya adalah kecil iaitu 0.0404. Hal ini menunjukkan data dalam kategori

seruling adalah dekat kepada nilai min. Dengan menggunakan analisis fraktal ini, kita dapat mengesahkan bahawa isyarat data muzik yang dikaji adalah daripada seruling sekiranya data tersebut mempunyai min dimensi



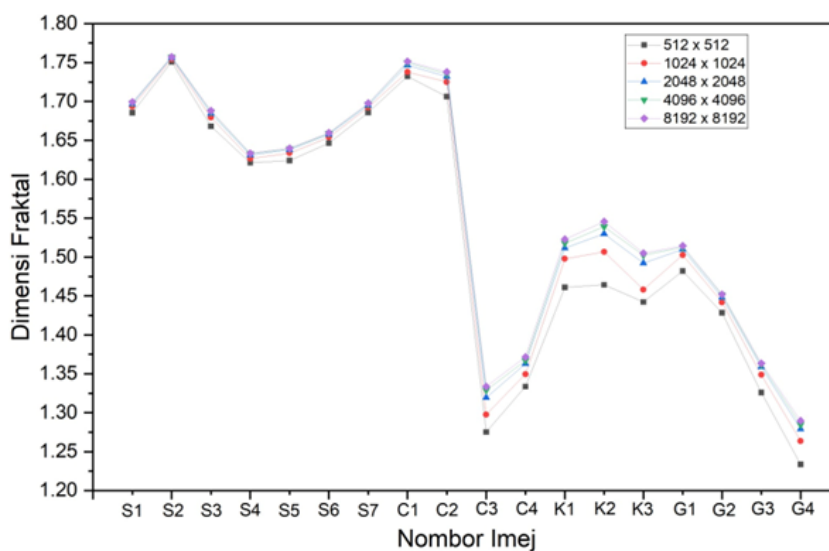
fraktal 1.6763. Namun demikian, nilai min cak lempong yang merekodkan dimensi fraktal sebanyak 1.5276 mempunyai sisihan piawai 0.2048. Nilai sisihan piawai yang besar ini menunjukkan bahawa data dalam kategori cak lempong adalah tidak konsisten. Jadi, kategori cak lempong tidak seharusnya dimasukkan dalam perbandingan alat muzik kes ini. Kewujudan data cak lempong adalah mengelirukan dan mungkin mengakibatkan keputusan yang tidak tepat. Seterusnya, min nilai dimensi fraktal untuk kategori kompang ialah 1.4876 dengan sisihan piawai 0.0211. Nilai sisihan piawai ini adalah paling rendah dalam keempat-empat kategori. Hai ini menjelaskan bahawa data kompang adalah konsisten dan boleh harap. Oleh itu, isyarat data muzik kompang boleh dikecam dengan min nilai dimensi fraktal iaitu 1.4876. Di samping itu, nilai sisihan piawai dalam kategori gambus adalah tinggi iaitu sebanyak 0.0909. Data dalam kategori tersebut adalah kurang konsisten. Pengesanan isyarat data muzik gambus adalah kurang sesuai kalau dibandingkan dengan isyarat data kompang disebabkan nilai min yang lebih kurang sama.

Sebagai rumusan, min dimensi fraktal yang dikira menggunakan kaedah pengiraan kotak boleh digunakan untuk mengecam isyarat data muzik tradisional dengan beberapa pengecualian. Kaedah ini adalah sesuai

mengecam seruling dan kompang menurut hasil daripada kajian ini. Untuk mengecam cak lempong dan gambus sekali dengan seruling dan kompang, data yang lebih banyak dan konsisten perlu ditambahkan supaya hasil pengiraan dimensi fraktal adalah lebih tepat dan boleh diharap. Keputusan daripada pengiraan dimensi fraktal untuk kategori gambus menunjukkan trend yang jelas. Nilai dimensi fraktal untuk kategori gambus adalah antara 1.2636 dan 1.5027. Min nilai dimensi fraktalnya ialah 1.3893 dengan sisihan piawai 0.0909. Fraktal dimensi isyarat data gambus adalah lebih rendah apabila dimainkan dengan nada tinggi berbanding dengan nada rendah. Penurunan nilai dimensi fraktal tersebut adalah agak besar. Secara impaknya, sisihan piawai untuk kategori gambus adalah kedua tertinggi berbanding dengan alat muzik yang lain.

#### DIMENSI FRAKTAL MENGIKUT RESOLUSI IMEJ DAN SAIZ KOTAK

Selepas mengubah saiz imej dalam perisian Matlab, dimensi fraktal akan dikira dan direkodkan mengikut resolusi yang berlainan. Jadual 4 menyimpulkan dimensi fraktal imej isyarat data muzik menggunakan resolusi imej yang berlainan manakala Rajah 9 merupakan paparan grafik data tersebut menggunakan carta garis.



RAJAH 9. Dimensi Fraktal Imej Menggunakan Resolusi Imej Yang Berlainan

Hasil daripada pengiraan dimensi fraktal menggunakan kaedah pengiraan kotak menunjukkan bahawa resolusi imej yang tinggi memberikan dimensi fraktal yang lebih tinggi. Apabila peningkatan resolusi imej semakin besar, peningkatan dimensi fraktal semakin kecil. Hal ini demikian kerana nilai dimensi fraktal akan menumpu ke

satu nilai apabila resolusi imej meningkat. Secara teoretikal, nilai dimensi fraktal yang dikira menggunakan kaedah pengiraan kotak adalah sangat tepat sekiranya imej yang digunakan mempunyai resolusi yang sangat tinggi.

JADUAL 4. Nilai Dimensi Fraktal

Nombor Imej	Resolusi ( <i>pixels</i> )				
	512 x 512	1024 x 1024	2048 x 2048	4096 x 4096	8192 x 8192
S1	1.6855	1.6933	1.6966	1.6982	1.6993
S2	1.7511	1.7543	1.7563	1.7570	1.7574
S3	1.6681	1.6795	1.6844	1.6869	1.6882
S4	1.6214	1.6267	1.6310	1.6328	1.6335
S5	1.6241	1.6336	1.6378	1.6394	1.6399
S6	1.6466	1.6540	1.6578	1.6591	1.6598
S7	1.6859	1.6925	1.6951	1.6968	1.6978
C1	1.7325	1.7379	1.7467	1.7499	1.7514
C2	1.7062	1.7251	1.7320	1.7353	1.7380
C3	1.2752	1.2976	1.3195	1.3290	1.3336
C4	1.3336	1.3496	1.3628	1.3671	1.3717
K1	1.4612	1.4978	1.5117	1.5177	1.5230
K2	1.4644	1.5068	1.5301	1.5392	1.5456
K3	1.4422	1.4582	1.4924	1.5024	1.5051
G1	1.4821	1.5027	1.5098	1.5126	1.5144
G2	1.4286	1.4420	1.4482	1.4514	1.4521
G3	1.3259	1.3488	1.3588	1.3616	1.3635
G4	1.2336	1.2636	1.2789	1.2843	1.2897

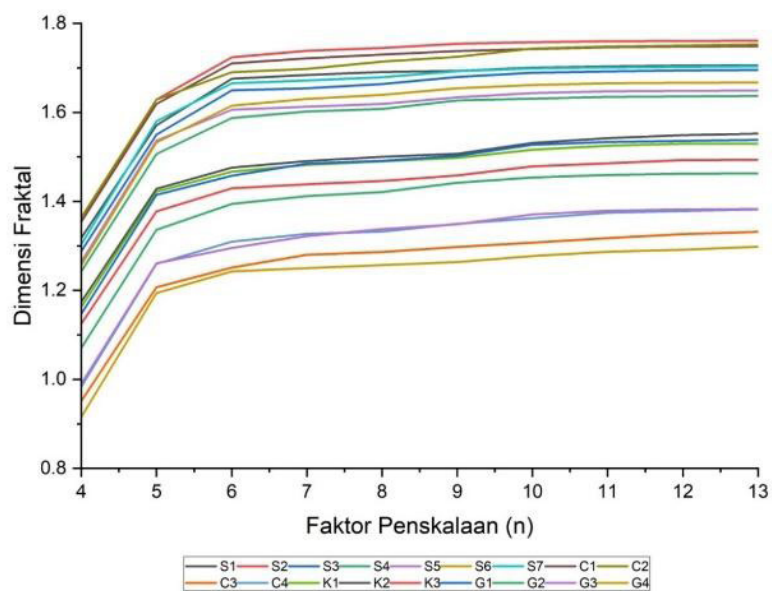
Namun demikian, peningkatan resolusi imej mempunyai batasan praktikalnya seperti ruang simpanan komputer dan masa pemprosesan. Peningkatan resolusi imej mungkin tidak membawa impak besar terhadap ketepatan dimensi fraktal sekiranya imej yang digunakan telah mengandungi corak fraktal yang jelas. Dalam kes ini, peningkatan dimensi fraktal adalah kurang ketara dengan peningkatan resolusi imej.

Secara keseluruhan, peningkatan resolusi imej meningkatkan dimensi fraktal yang diperolehi daripada kaedah pengiraan kotak. Peningkatan ini akan menumpukan ke satu nilai yang tepat melalui peningkatan resolusi imej. Disebabkan peningkatan yang kurang ketara, kajian ini membuktikan resolusi imej 1024 x 1024 pixels sudah memadai untuk pengiraan dimensi fraktal menggunakan kaedah pengiraan kotak.

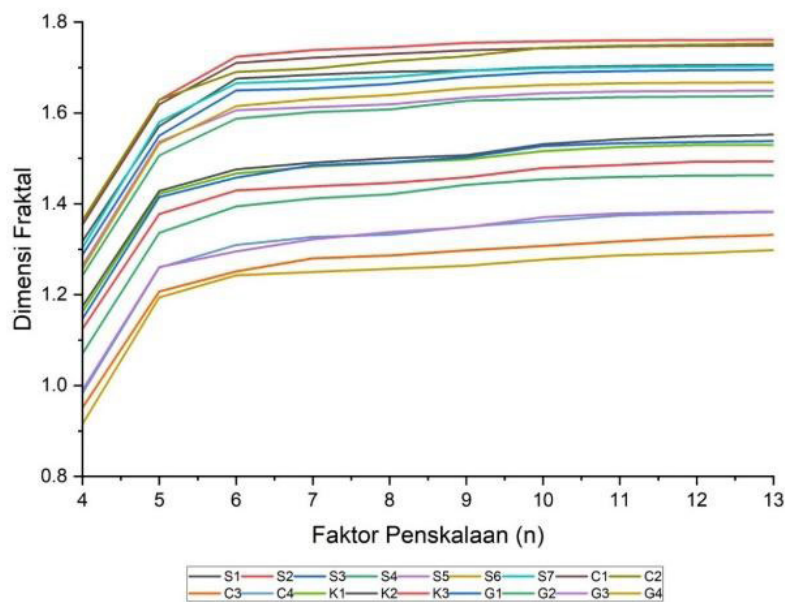
Dalam kajian ini, faktor penskalaan kotak,  $n$  digunakan untuk mengubah saiz kotak. Ralat,  $E$  juga dikira selepas

mendapatkan dimensi fraktal menggunakan faktor penskalaan yang berbeza. Rajah 10 mengilustrasikan dimensi fraktal imej menggunakan faktor penskalaan yang berlainan manakala Rajah 11 menunjukkan ralat imej menggunakan faktor penskalaan yang berlainan.

Dimensi fraktal yang dikira menggunakan kaedah pengiraan kotak akan menumpu ke satu nilai. Dalam kajian ini, penumpuan nilai dimensi fraktal yang ketara bermula dengan faktor penskalaan 7. Di samping itu, ralat pula bertumpu dengan faktor penskalaan 8 dan ke atas. Untuk mengurangkan ralat dalam kaedah pengiraan kotak, faktor penskalaan yang sesuai adalah 8 dan ke atas. Dengan menggunakan faktor penskalaan 9, kita boleh mendapat dimensi fraktal dengan ralat yang rendah. Keputusan ini adalah sesuai untuk mendapatkan keseimbangan antara ketepatan dan kecekapan pengiraan.



RAJAH 10. Dimensi Fraktal Imej Menggunakan Faktor Penskalaan yang Berlainan



RAJAH 11. Ralat Menggunakan Faktor Penskalaan yang Berlainan

Oleh itu, pemilihan resolusi imej dan faktor penskalaan adalah penting untuk mendapat keputusan yang tepat. Pada masa yang sama, kita perlu mempertimbangkan masa pemrosesan, ruang simpanan komputer, dan keperluan memori komputer. Untuk mencapai keseimbangan antara ketepatan dan kecekapan pengiraan, parameter yang sesuai perlu dipilih.

### KESIMPULAN

Pencirian isyarat data muzik yang terhasil dari alat muzik tradisional menggunakan ciri fraktal telah berjaya dikaji. Ciri fraktal isyarat data muzik telah dikaji dan dianalisis dengan menggunakan kaedah pengiraan kotak. Didapati bahawa isyarat data muzik dari alat muzik tradisional menunjukkan ciri fraktal menggunakan kaedah pengiraan kotak. Kesemua 18 data menunjukkan ciri fraktal dimana

nilai dimensi fraktal data adalah antara 1.2636 ke 1.7543.

Pengecaman alat muzik yang berbeza daripada isyarat data muzik masing-masing dengan menggunakan kaedah analisis fraktal adalah berjaya untuk seruling dan kompang. Kaedah ini adalah kurang sesuai untuk membuat pengecaman untuk cak lempang dan gambus. Selain daripada itu, imej beresolusi 1024 x 1024 *pixels* dan faktor penskalaan 9 adalah parameter yang sesuai untuk menganalisis ciri fraktal isyarat data alat muzik dengan menggunakan kaedah kotak pengiraan.

## PENGHARGAAN

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

## RUJUKAN

- Avnir, D., Biham, O., Lidar, D., Malcai, O., & Mcfadden, G. 1998. Is the Geometry of Nature Fractal? Even Viruses Can Learn to Cope with Stress. 279(JANUARY): 39–41.
- Fancourt, D., Ockelford, A., & Belai, A. 2014. The psychoneuroimmunological effects of music: A systematic review and a new model. *Brain, Behavior, and Immunity* 36: 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2013.10.014>
- Gallant, J. C., Moore, I. D., Hutchinson, M. F., & Gessler, P. 1994. Estimating fractal dimension of profiles: A comparison of methods. *Mathematical Geology* 26(4): 455–481. <https://doi.org/10.1007/BF02083489>
- Gatto, R. C., & Forster, C. H. Q. 2021. Audio-based machine learning model for traffic congestion detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 22(11): 7200–7207. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3003111>
- Korchiyne, R., Farssi, S. M., Sbihi, A., Touahni, R., & Tahiri Alaoui, M. 2014. A Combined Method of Fractal and GLCM Features for MRI and CT Scan Images Classification. *Signal & Image Processing: An International Journal* 5(4): 85–97. <https://doi.org/10.5121/sipij.2014.5409>
- Liu, Y., Chen, L., Wang, H., Jiang, L., Zhang, Y., Zhao, J., Wang, D., Zhao, Y., & Song, Y. 2014. An improved differential box-counting method to estimate fractal dimensions of gray-level images. *Journal of Visual Communication and Image Representation* 25(5): 1102–1111. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2014.03.008>
- Mandelbrot, B. B. 2006. Fractal analysis and synthesis of fracture surface roughness and related forms of complexity and disorder. *International Journal of Fracture* 138(1–4): 13–17. <https://doi.org/10.1007/s10704-006-0037-z>
- Mandelbrot, B. B. 1975. on the Geometry of Homogeneous Turbulence, With Stress on the Fractal Dimension of the Iso-Surfaces of Scalars. 7((DECEMBER 9, 1975)).
- Mandelbrot, B. B., & Blumen, A. 1989. Fractal geometry: what is it, and what does it do? Proceedings of the Royal Society of London. A. *Mathematical and Physical Sciences* 423(1864): 3–16. <https://doi.org/10.1098/rspa.1989.0038>
- Mecholsky, J. J., Passoja, D. E. & Feinberg-Ringel, K. S. 1989. Quantitative analysis of brittle fracture surfaces using fractal geometry. *Journal of the American Ceramic Society* 72(1): 60–65. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1989.tb05954.x>
- Mu, H., Gan, W. S., & Tan, E. L. 2013. A timbre matching approach to enhance audio quality of psychoacoustic bass enhancement system. ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 36–40. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2013.6637604>
- Panigrahy, C., Garcia-Pedrero, A., Seal, A., Rodríguez-Esparragón, D., Mahato, N. K., & Gonzalo-Martin, C. 2017. An approximated box height for Differential-Box-Counting method to estimate fractal dimensions of gray-scale images. *Entropy* 19(10). <https://doi.org/10.3390/e19100534>
- Panigrahy, C., Seal, A., Mahato, N. K., & Bhattacharjee, D. 2019. Differential box counting methods for estimating fractal dimension of gray-scale images: A survey. *Chaos, Solitons and Fractals* 126: 178–202. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.06.007>
- Sun, W., Xu, G., Gong, P., & Liang, S. 2006. Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications. *International Journal of Remote Sensing* 27(22): 4963–4990. <https://doi.org/10.1080/01431160600676695>
- Theiler, J. 1990. Estimating fractal dimension with fractal interpolation function models. *Journal of the Optical Society of America A* 7(6): 1055–1073. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.7.001055>
- Tzanetakis, G., & Cook, P. 2010. Musical genre classification of audio signals using geometric methods. *European Signal Processing Conference* 10(5): 497–501.
- Tzanetakis, G., Essl, G., & Cook, P. ~R. 2001. Audio analysis using the discrete wavelet transform. Proceedings of the WSES International Conference Acoustics and Music: Theory and Applications (AMTA 2001), 318–323.