

SIMULASI TRANSISI METAMORFOSIS BENTUK CITRA MODEL FRAKTAL DENGAN LIMA KOMPONEN KOLASE ARAH RADIAL DAN VERTIKAL

Rizki Zaki¹, Tedjo Darmanto^{2*}, Riki Ramdan³

^{1,2,3} Universitas Islam Nusantara, Indonesia

*e-mail: tedjodarmanto@uninus.ac.id

Abstract: Metamorphic as a keyword has several implementations in digital era. The basic implementation is in image processing that can be extended to other fields. The metamorphic process in image processing as a series transition visualization of two source images can be simulated in fractal model. As long as a pair of fractal objects of the iterated function system model uses the affine coefficients as a result of transformations in initial state, so it can be transformed to other states easily just applying gradually manipulation on each set of coefficients based on the interpolation values between the source and destination objects. In this paper there are two kinds of metamorphic transition effects on two pairs of fractal objects with five collage components discussed. The first model exhibits the metamorphic transition effect in radial direction and the second one exhibits the metamorphic transition effect in vertical direction between the pair of similar objects.

Keywords: Metamorphic Transition Effect, Interpolation, Affine Coefficient, Five Collage Components.

Abstrak: Metamorfik sebagai kata kunci memiliki beberapa implementasi di era digital. Implementasi dasarnya adalah dalam pemrosesan gambar yang dapat diperluas ke bidang lain. Proses metamorfik dalam pengolahan citra sebagai rangkaian transisi visualisasi dari dua sumber citra dapat disimulasikan dalam model fraktal. Selama sepasang objek fraktal dari model sistem fungsi iterasi menggunakan koefisien affine sebagai hasil transformasi pada keadaan awal, maka dapat diubah ke keadaan lain dengan mudah hanya dengan menerapkan manipulasi bertahap pada setiap set koefisien berdasarkan nilai interpolasi antara objek sumber dan tujuan. Dalam makalah ini terdapat dua macam efek transisi metamorfik pada dua pasang objek fraktal dengan lima komponen kolase yang dibahas. Model pertama menunjukkan efek transisi metamorfik dalam arah radial dan yang kedua menunjukkan efek transisi metamorfik dalam arah vertikal antara pasangan objek yang serupa. Pada penelitian ini sebagai bahan diskusi dirancang dua model fraktal untuk simulasi transisi metamorfik. Model kedua dirancang sepasang obyek fraktal untuk visualiasi efek transisi perubahan bentuk citra dari satu obyek asal ke obyek pasangannya sebagai tujuan dan sebaliknya dengan efek transisi metamorfik arah radial.

Kata kunci: Efek Transisi Metamorfik, Interpolasi, Koefisien Affine, Lima Komponen Kolase.

Copyright (c) 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

PENDAHULUAN

Pengembangan dan pemahaman tentang bentuk dan transisi bentuk telah menjadi pokok utama dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk matematika, seni, dan ilmu komputer. Dalam bidang model fraktal, kemampuan untuk melakukan simulasi transisi metamorfosis pada citra-citra bentuk memberikan wawasan yang menarik

terhadap evolusi bentuk secara visual (Wardani, 2022). Artikel ini akan menjelaskan secara mendalam tentang simulasi transisi metamorfosis bentuk citra model fraktal dengan menggunakan lima komponen kolase arah radial dan vertikal, dengan fokus pada pendekatan penelitian yang mendalam.

Transisi metamorfosis adalah fenomena di mana sebuah bentuk berubah secara perlahan menjadi bentuk lain melalui serangkaian langkah (Roifah, 2016). Dalam penelitian ini, kita mengeksplorasi transisi metamorfosis pada citra-citra model fraktal yang dibentuk oleh lima komponen kolase arah radial dan vertikal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana perubahan kecil dalam komponen-komponen ini dapat mempengaruhi perubahan bentuk secara keseluruhan.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan proses metamorfik telah dilakukan beberapa peneliti. Metamorfik sebagai suatu fenomena proses tidak hanya diimplementasikan pada bidang pengolahan citra seperti visualisasi efek transisi perubahan bentuk citra, tetapi juga telah berkembang ke bidang keamanan informasi, seperti kriptografi dan steganografi dan bidang pengujian perangkat lunak, yaitu pengujian metamorfik dan relasi metamorfik. Morey, J. dkk. melakukan penelitian tentang visualisasi *archimedian kaleidoscope* (AK) untuk pendukung pembelajaran eksplorasi *polyhedral* menggunakan teknik metamorfosis untuk konstruksi relasi perbedaan antara bentuk *polyhedral* secara interaktif (Morey, J. dkk. 2001). Terdapat penelitian tentang metamorfik atau *morphing* citra dengan model fraktal termasuk yang berdasarkan *convex-hull* dan *morphing* citra berdasarkan transformasi piksel (Chen, C. dkk. 2006, Rahman, M.T. dkk. 2007 dan Zhuang, Y.X. dkk. 2011). Terdapat penelitian tentang animasi metamorfik siklik berdasarkan pendekatan kelompok kode IFS multi-transisional 2D dan 3D (Darmanto, T. dkk. 2012, Darmanto, T. dkk. 2013).

Penelitian tentang animasi metamorfik kombinasi multi-obyek dan obyek fraktal antara dua obyek yang bergerak bebas dengan contoh kasus kejadian penembakan pesawat terbang dengan torpedo melalui pemodelan fraktal (Darmanto, T. dkk. 2014). Ding, J. dkk. melakukan penelitian tentang pendekatan pengujian metamorfik cek diri (*self-checked*) dengan mengintegrasikan pengujian terstruktur dengan pengujian metamorfik untuk mendeteksi cacat pada implementasi sistem (Ding, J. dkk. 2010). Liu, H. & Chen. T.Y. Melakukan penelitian tentang konstruksi relasi metamorfik yang dapat digunakan untuk pengujian perangkat-lunak melalui metode sederhana komposisi relasi

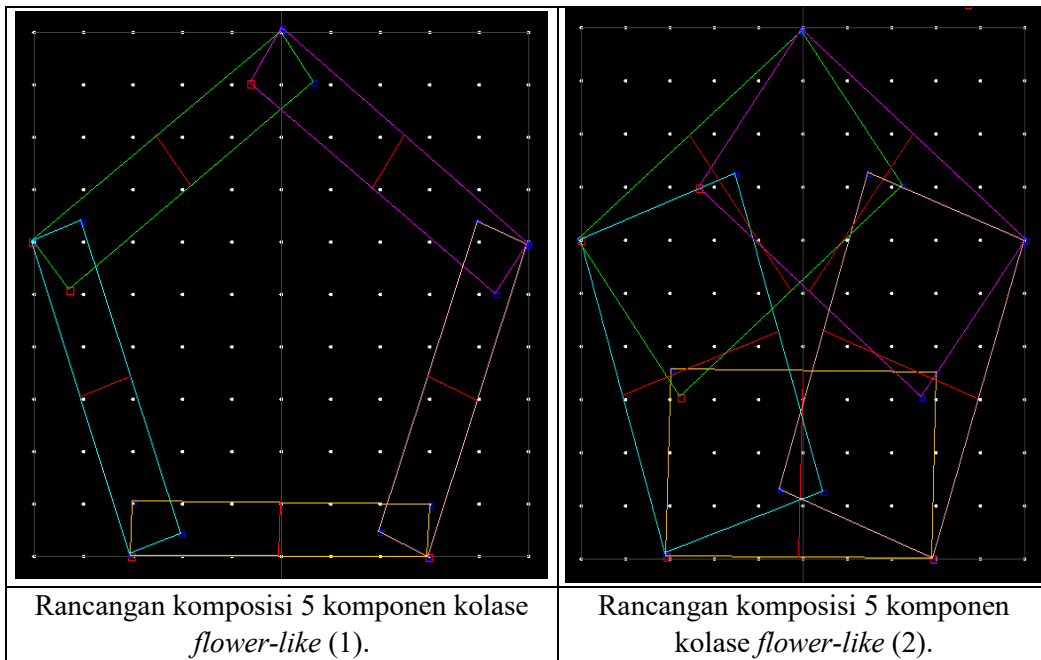
metamorfik dari relasi metamorfik yang sudah ada secara sistematis yang secara efektif dapat menekan biaya pengujian (Liu, H. & Chen, T.Y. 2012). Jameel, T. dkk. melakukan penelitian tentang pengujian pengolahan citra melalui relasi citra input dan output dengan teknik relasi metamorfik untuk evaluasi kebenaran citra output yang disebut sebagai pengujian *oracle* (Jameel, T., Lin, M. & Chao, L. 2015). Xu, L. dkk. melakukan penelitian penggunaan relasi metamorfik (MR) dalam machine learning (*MR-augmented*) dari pada pengujian metamorfik untuk meningkatkan solusi masalah klasifikasi citra dari dua kategori citra (Xu, L. dkk. 2018). Mekala, R.R. dkk. melakukan pendekatan prinsip pengujian metamorfik untuk deteksi otomatis adanya *adversarial attack* seperti menentukan apakah citra manipulasi ukuran kecil merupakan citra *adversarial* secara akurat dengan menggunakan ciri transformasi affine melalui relasi metamorfik (Mekala, R.R. dkk. 2019). Fu, S. dkk. melakukan penelitian tentang relasi metamorfik sebagai kunci pengujian metamorfik antara pola input dan output yang bersesuaian dengan hukum alam dan algoritma numerik Metoda identifikasi berbasis citra ini berbentuk program kalkulasi *burnup* berkaitan dengan rancangan dan analisis perangkat lunak yang cocok untuk area *nuclear power*. (Fu, S., Yang, X., Li, M. & Wang, F. 2021).

Deng, Y. dkk. melakukan penelitian berkaitan dengan pengujian metamorfik melalui rancangan dan evaluasi berbasis *behavior-driven development* (BDD) dan *framework* BMT yang dapat mendeteksi kesalahan prediksi kecepatan tiga model laju kendaraan *autonomous driving* (Deng, Y. dkk. 2021). Zhou, Z. dkk. melakukan studi empirik terhadap tiga model DNN dengan 70 ribu data citra tandatangan digital melalui enam set MR (*metamorphic relation*) yang memperlihatkan *follow-up test cases* lebih dapat mendeteksi *fault* dibanding *source test cases* (Zhou, Z. dkk. 2021). Philjon, T.L. & Rao, N.V. menggabungkan teknik kriptografi dengan steganografi yang disebut kriptografi metamorfik melalui transformasi pesan rahasia menjadi citra dengan kunci yang dapat dikonversi menjadi teks dan ditransformasi kembali menjadi citra (Philjon, T.L. & Rao, N.V. 2011). Gupta, A. dkk. melakukan penelitian tentang kombinasi kriptografi dan steganografi atau kriptografi metamorfik dengan menggunakan algoritma steganografi AES melalui bahasa pemrograman Python versi 3.9 (Gupta, A. dkk. 2022).

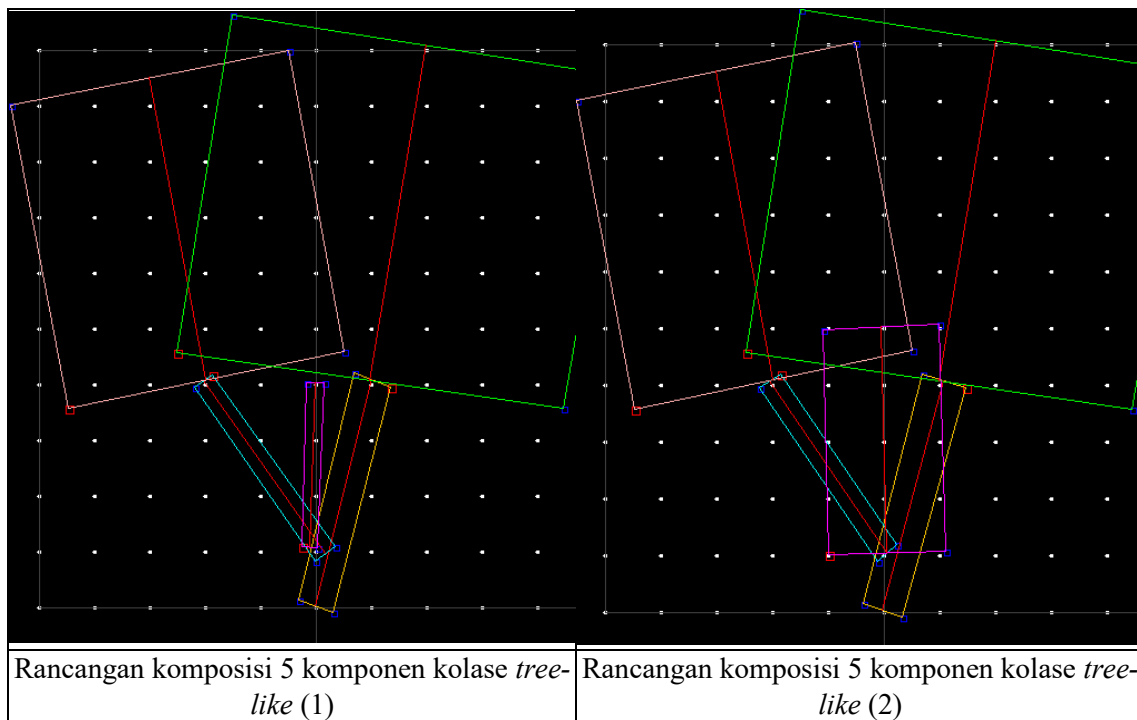
METODE

Pada penelitian ini sebagai bahan diskusi dirancang dua model fraktal untuk simulasi transisi metamorfik. Model pertama dirancang sepasang obyek fraktal untuk visualiasi efek transisi perubahan bentuk citra dari satu obyek asal ke obyek pasangannya sebagai tujuan dan sebaliknya dengan efek transisi metamorfik arah radial, seperti proses metamorfosis kuntum bunga menjadi mekar. Model kedua dirancang sepasang obyek fraktal untuk visualiasi efek transisi perubahan bentuk citra dari satu obyek asal ke obyek pasangannya sebagai tujuan dan sebaliknya dengan efek transisi metamorfik arah radial, seperti proses metamorfosis pertumbuhan cabang pohon di antara cabang-cabang pohon lainnya dengan kecepatan tumbuh berbeda. Rancangan obyek fraktal menggunakan komposisi komponen kolase dari model fraktal *iterated function system* (IFS) yang berjumlah lima komponen untuk kedua model tersebut.

Hasil rancangan dua pasang model obyek fraktal *flower-like* dan *tree-like* dapat dilihat pada Gambar 1. dan Gambar 2. setelah sebelumnya dikodekan dalam bentuk kode IFS berupa kumpulan koefisien affine dari koefisien-**a** sampai koefisien-**f** untuk setiap komponen kolase. Untuk visualisasi transisi metamorfik dijalankan dengan program yang dapat mengaplikasikan teknik interpolasi nilai sepasang kumpulan koefisien affine dari sepasang obyek pada kedua model tersebut (Wittenbrink, C.M. 1995). Kode IFS yang merupakan kumpulan koefisien affine dari semua komponen kolase masing-masing obyek mempunyai nilai faktor probabilitas yang setara dengan kerapatan piksel per komponen kolase relatif satu terhadap yang lainnya (Darmanto, T. 2016). Untuk model pertama (*flower-like*), faktor probabilitas bernilai sama, yaitu 0.25, sedangkan untuk model kedua (*tree-like*), faktor probabilitas bernilai berbeda-beda.



Gambar 1. Rancangan sepasang komposisi lima komponen kolase fraktal IFS berbentuk seperti bunga (*flower-like*).



Gambar 2. Rancangan sepasang komposisi lima komponen kolase fraktal IFS berbentuk seperti pohon (*tree-like*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dari model rancangan pertama diperoleh obyek fraktal *flower-like* seperti dapat dilihat pada Gambar 3. (a) dan Gambar 3. (b), setelah sebelumnya hasilnya dikodekan

dalam bentuk kode IFS seperti dapat dilihat pada Tabel 1. (a) dan Tabel 1. (b). Dari model rancangan kedua diperoleh obyek fraktal *tree-like* seperti dapat dilihat pada Gambar 4. (a) dan Gambar 4. (b), setelah sebelumnya hasil rancangan dikodekan dalam bentuk kode IFS seperti dapat dilihat pada Tabel 2. (a) dan Tabel 2. (b).

Tabel 1. (a) Kode IFS obyek *flower-like* (1)

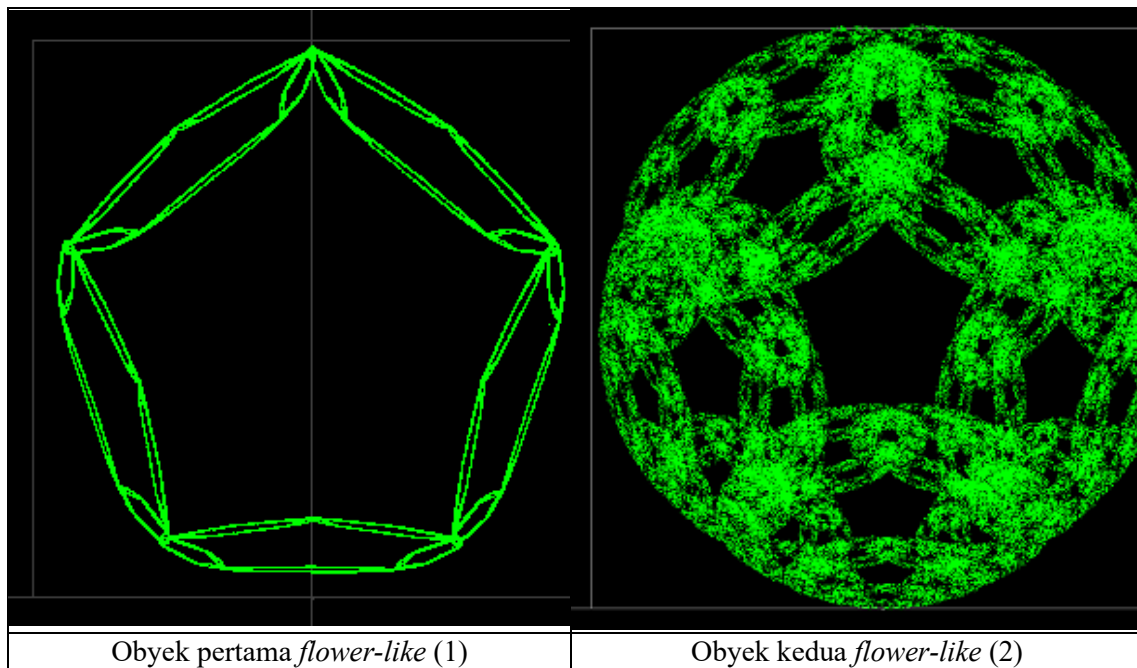
Tabel 1. (b) Kode IFS obyek *flower-like* (2)

a	b	c	d	e	f	Prob	a	b	c	d	e	f	Prob
0.6	0.0	0.002	0.10	0.0	-0.04	0.25	0.6	-0.01	0.003	0.35	0.0	0.0	0.25
0.2	-0.09	0.588	0.04	-0.4	-0.34	0.25	0.2	-0.34	0.583	0.12	-0.47	-0.35	0.25
0.2	0.10	-0.58	0.05	0.4	-0.34	0.25	0.2	0.35	-0.58	0.13	0.47	-0.34	0.25
0.5	0.075	-0.39	0.09	-0.18	-0.73	0.25	0.5	0.233	-0.39	0.3	-0.06	-0.61	0.25
0.5	-0.06	0.4	0.11	0.185	-0.72	0.25	0.5	-0.23	0.389	0.3	0.065	-0.61	0.25

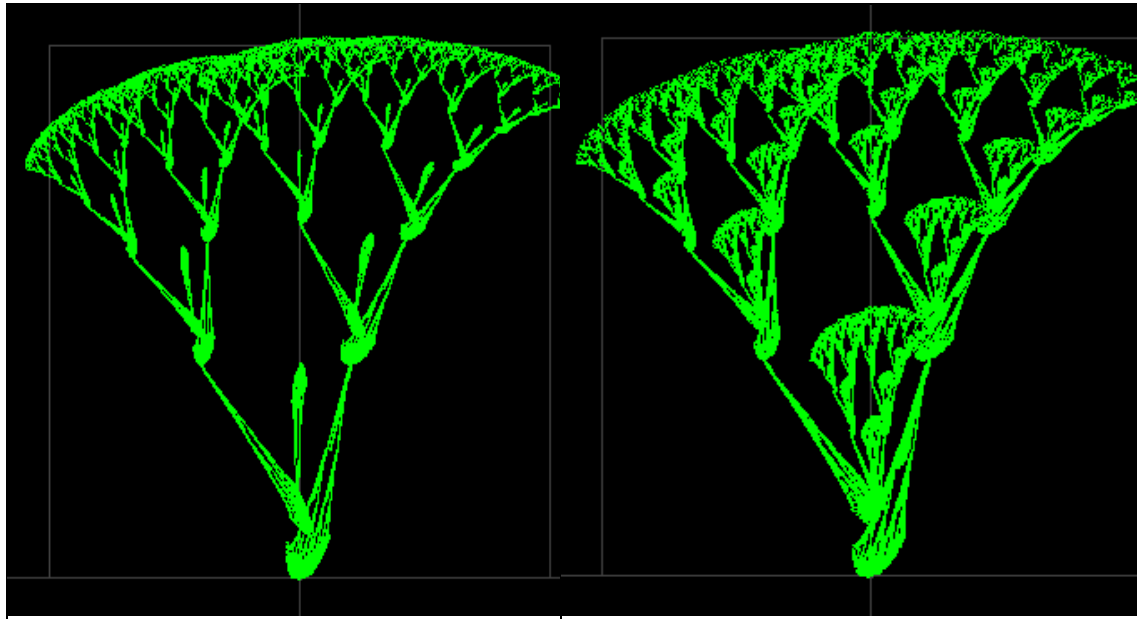
Tabel 2. (a) Kode IFS obyek *tree-like* (1).

Tabel 2. (b) Kode IFS obyek *tree-like* (2).

a	b	c	d	e	f	Prob	a	b	c	d	e	f	Prob
-0.06	0.09	-0.04	-0.4	0.072	-0.35	0.22	-0.1	0.113	-0.02	-0.4	0.105	-0.38	0.19
-0.04	-0.23	0.01	-0.3	-0.19	-0.33	0.05	0.0	-0.2	0.024	-0.3	-0.19	-0.38	0.05
0.5	0.11	-0.09	0.54	-0.18	-0.33	0.3	0.5	0.104	-0.1	0.543	-0.18	-0.38	0.25
0.7	-0.1	0.1	0.61	0.069	-0.35	0.39	0.7	-0.09	0.1	0.604	0.097	-0.38	0.33
0.03	0.0	0.02	0.29	-0.01	-0.09	0.04	0.21	0.01	-0.0	0.396	0.008	-0.10	0.18



Gambar 3. Sepasang obyek fraktal *flower-like* lima kelopak.

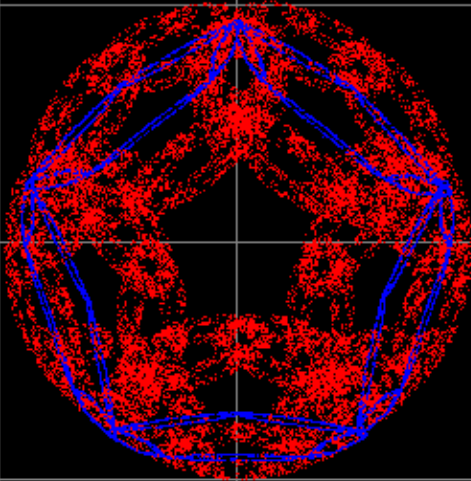
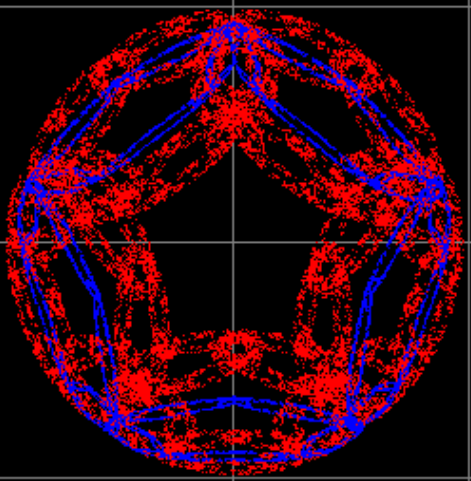
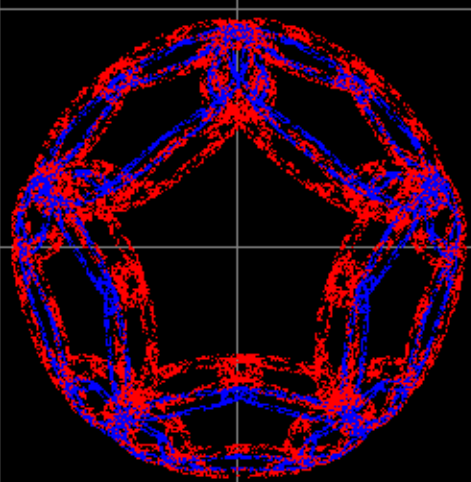
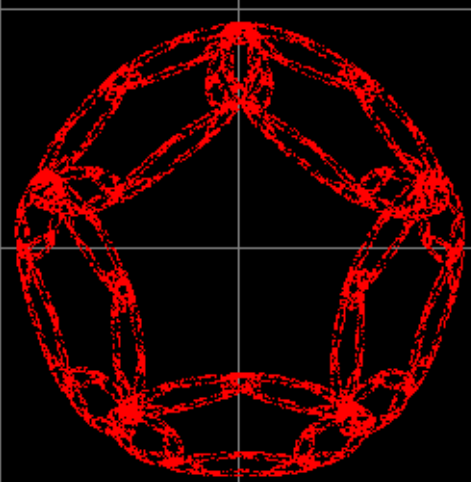


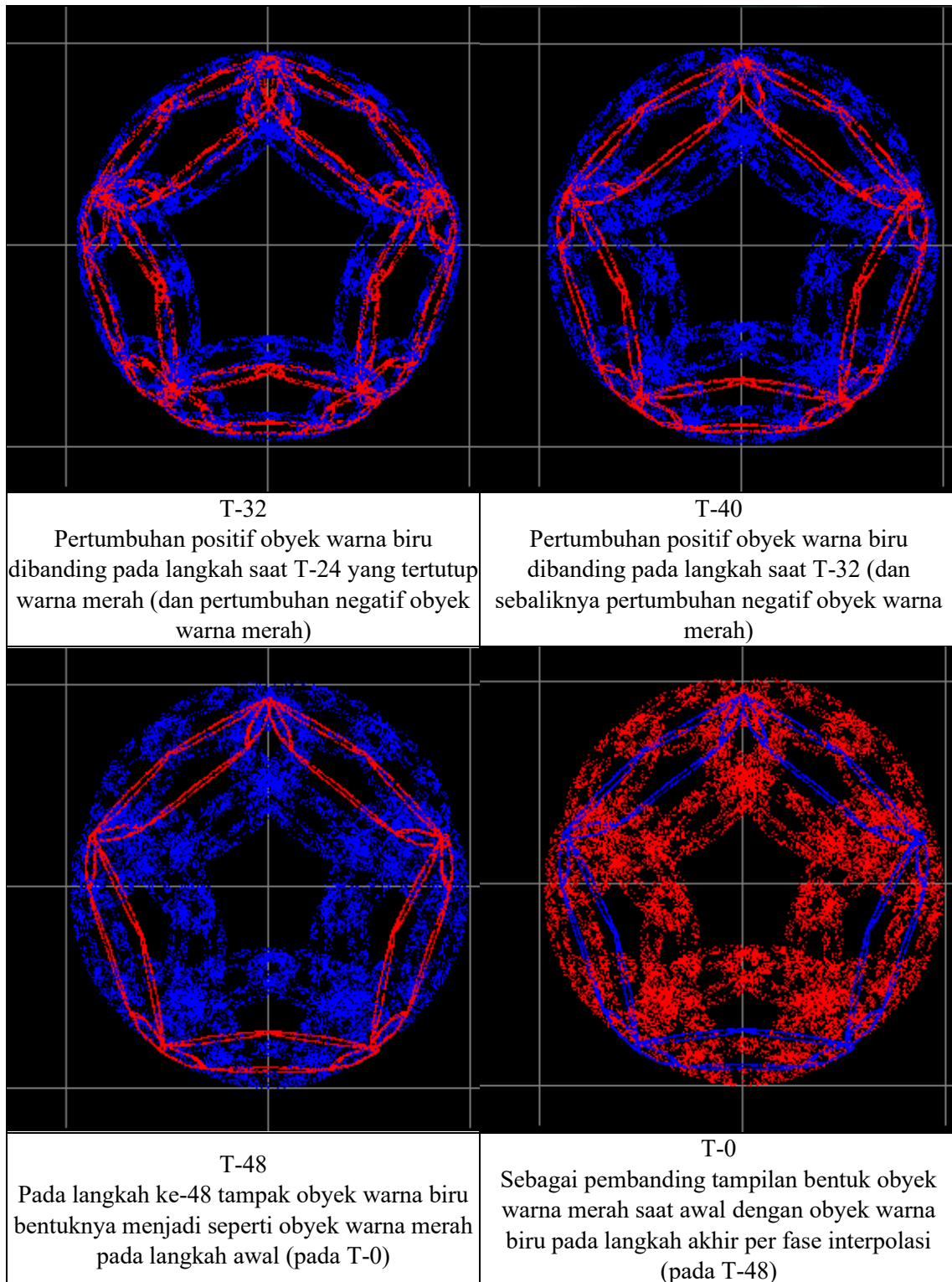
Obyek pertama *tree-like* (1)

Obyek kedua *tree-like* (2)

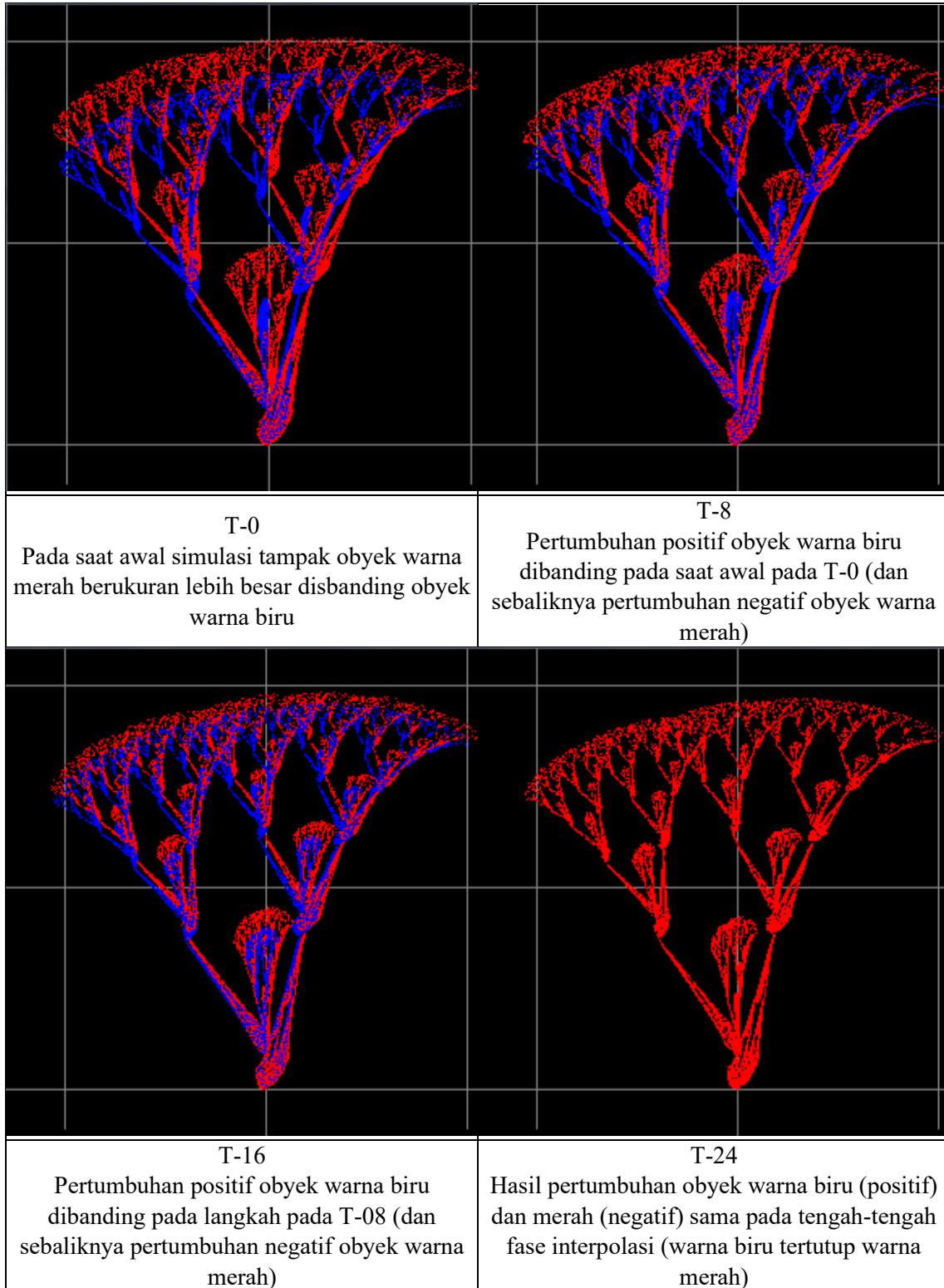
Gambar 4. Sepasang obyek fraktal *tree-like*.

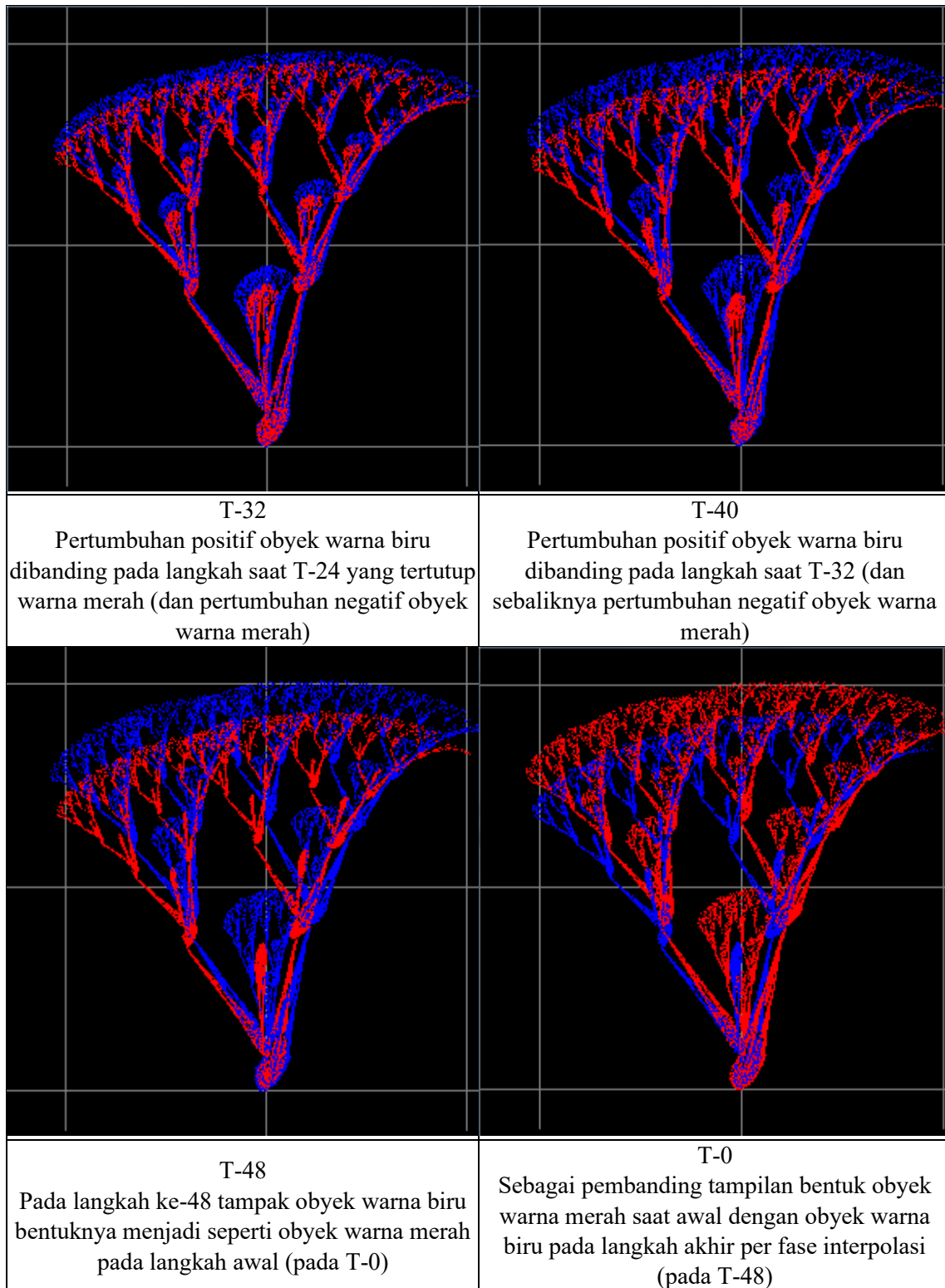
Simulasi transisi metamorfosis pada model *flower-like* dan *tree-like* dijalankan dalam 48 langkah, yang hasilnya dirangkum pada Gambar 5. dan Gambar 6. mulai dari kejadian awal T-0 setiap 8 langkah sampai kejadian akhir T-48 atau terdapat 8 *snapshot* citra dengan arah efek transisi perubahan bentuk secara radial. Pada model pertama, *flower-like* (1) yang berwarna merah menjadi *flower-like* (2) yang berwarna biru dan sebaliknya, *flower-like* (2) menjadi *flower-like* (1). Pada model kedua, *tree-like* (1) yang berwarna merah menjadi *tree-like* (2) yang berwarna biru dan sebaliknya, *tree-like* (2) menjadi *tree-like* (1). Pada kedua model, tampilan sepasang obyek tersebut dibuat dalam satu frame yang sama, sehingga memudahkan perbandingan arah efek transisi perubahan bentuk secara visual dari obyek pertama ke obyek kedua dan sebaliknya. Deretan tampilan secara kronologis sepasang obyek pada model pertama dapat dilihat pada Gambar 5. dan deretan tampilan secara kronologis sepasang obyek pada model kedua dapat dilihat pada Gambar 6.

	
<p style="text-align: center;">T-0</p> <p>Pada saat awal simulasi tampak obyek warna merah berukuran lebih besar disbanding obyek warna biru</p>	<p style="text-align: center;">T-8</p> <p>Pertumbuhan positif obyek warna biru dibanding pada saat awal pada T-0 (dan sebaliknya pertumbuhan negatif obyek warna merah)</p>
	
<p style="text-align: center;">T-16</p> <p>Pertumbuhan positif obyek warna biru dibanding pada langkah pada T-08 (dan sebaliknya pertumbuhan negatif obyek warna merah)</p>	<p style="text-align: center;">T-24</p> <p>Hasil pertumbuhan obyek warna biru (positif) dan merah (negatif) sama pada tengah-tengah fase interpolasi (warna biru tertutup warna merah)</p>



Gambar 5. Kronologis tampilan citra sepasang obyek fraktal *flower-like* dengan efek transisi metamorfosis radial (obyek warna biru mengalami pertumbuhan positif dan obyek warna merah mengalami pertumbuhan negatif atau *reverse*).





Gambar 6. Kronologis tampilan citra sepasang obyek fraktal *tree-like* dengan efek transisi metamorfosis vertikal (obyek warna biru mengalami pertumbuhan positif dan obyek warna merah mengalami pertumbuhan negatif atau *reverse*)

Pembahasan

Pada model pertama, dari hasil empiris tampilan kronologis citra pada Gambar 5. tampak adanya efek transisi metamorfik pada arah radial dari dalam ke luar (obyek warna biru yang mengalami pertumbuhan positif) dan dari luar ke dalam (obyek warna merah yang mengalami pertumbuhan negatif). Pada model kedua, dari hasil empiris tampilan kronologis citra pada Gambar 6. tampak adanya efek transisi metamorfik pada arah vertikal dari bawah ke atas (obyek warna biru yang mengalami pertumbuhan positif) dan dari atas ke bawah (obyek warna merah yang mengalami pertumbuhan negatif). Interpolasi dilakukan dalam 48 langkah, sehingga pada langkah ke-24 terjadi fenomena bentuk dan ukuran kedua obyek (biru dan merah) menjadi sama, oleh karena itu obyek berwarna biru seolah-olah hilang karena tertutup obyek warna merah yang dibangkitkan setelah obyek warna biru. Pada kedua model, jika dibandingkan tampilan citra pada T-0 dan T-48 tampak bentuk dan ukurannya sama, kecuali warnanya bertukar (biru menjadi merah dan merah menjadi biru).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahkan perubahan kecil dalam proporsi dan orientasi komponen-komponen kolase dapat menghasilkan perubahan bentuk yang signifikan. Transisi metamorfosis memungkinkan kita untuk melihat bagaimana suatu bentuk dapat berubah secara perlahan dan berkelanjutan menjadi bentuk lainnya. Implikasi dari penelitian ini mencakup (Wibowo et al., 2012):

- 1. Seni dan Desain:** Hasil penelitian ini dapat diterapkan dalam seni dan desain, memungkinkan seniman dan desainer untuk menciptakan efek visual yang dinamis dan menarik dalam karya-karya mereka.
- 2. Pemahaman Bentuk:** Simulasi transisi metamorfosis membantu dalam memahami cara-cara bagaimana bentuk-bentuk kompleks dapat berubah dan berevolusi. Ini dapat berkontribusi pada pemahaman lebih mendalam tentang struktur dan evolusi bentuk-bentuk alamiah.
- 3. Pengembangan Algoritma:** Penelitian ini juga membuka potensi pengembangan algoritma baru untuk simulasi transisi bentuk dalam konteks ilmu komputer dan grafika komputer.

Simulasi transisi metamorfosis bentuk citra model fraktal dengan lima komponen kolase arah radial dan vertikal adalah kajian penelitian yang memberikan wawasan baru tentang evolusi bentuk secara visual. Hasil penelitian ini memiliki

implikasi yang luas dalam seni, desain, dan pemahaman ilmiah tentang bentuk-bentuk kompleks. Dengan menggabungkan aspek-aspek matematika, ilmu komputer, dan seni visual, penelitian ini memberikan kontribusi berharga dalam bidang interdisipliner yang semakin berkembang.

SIMPULAN

Transisi metamorfosis perubahan bentuk citra model fraktal IFS secara sederhana dapat disimulasikan dengan model lima komponen kolase untuk efek transisi visual baik arah radial maupun arah vertikal, tergantung pemilihan obyek fraktal yang sesuai. Arah efek transisi radial dapat disimulasikan dengan sepasang obyek fraktal *flower-like* dari obyek berbentuk kuntum menjadi mekar atau sebaliknya (*reverse*). Arah efek transisi vertikal dapat disimulasikan dengan sepasang obyek fraktal *tree-like* dari obyek berbentuk pohon pertama menjadi bentuk pohon kedua. Pada pohon pertama, terdapat satu cabang yang sedang dalam awal pertumbuhan arah vertikal, sedangkan pada pohon kedua, cabang tersebut telah tumbuh, demikian pula simulasi arah sebaliknya. Pada kedua model terdapat ciri sifat keserupaan diri sebagai ciri khas obyek fraktal.

DAFTAR RUJUKAN

- Chen, C., Zheng, Y. & Sarem, M. (2006). A Fractal-based Algorithm for the Metamorphic Animation. 2nd International Conference on Information & Communication Technologies. 0-7803-9521-2/06 ©2006 IEEE, pp.2957-2963. Doi: 10.1109/ICTTA.2006.1684885
- Deng, Y., Lou, G., Zheng, X., Zhang, T., Kim, M., Liu, H., Wang, C. & Chen, T.Y. (2021). BMT: Behavior Driven Development-based Metamorphic Testing for Autonomous Driving Models. IEEE/ACM 6th International Workshop on Metamorphic Testing. Doi: 10.1109/MET52542.2021.00012
- Darmanto, T., Suwardi, I.S., & Munir, R. (2012). Cyclical Metamorphic Animation of Fractal Images Based on a Family of Multi-transitional IFS Code Approach. IEEE Conference on Control, Systems & Industrial Informatics. 878-1-4673-1023-9/12 ©2012 IEEE, pp.231-234. Doi: 10.1109/CCSII.2012.6470506
- Darmanto, T., Suwardi, I.S. & Munir, R. (2013). Metamorphic Animation of 3D Fern-like Fractal Images based on a family of Transitional 3D IFS Code. International Conference on Information and Communication Technology. Telkom University. 978-1-4673-4994-5/13 ©2013 IEEE, pp.273-276. Doi: 10.1109/ICoICT.2013.6574586

- Darmanto, T., Suwardi, I.S. & Munir, R. (2014). Animation Simulation of Shooting Aircraft Events by Combination of Metamorphic Animation on Multi-object and on Object of IFS Fractal Model: Based on Cloning and Collision Detection Techniques. International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Application. Doi: 10.1109/IC3INA.2014.7042619
- Darmanto T. (2016). Animating Fractal of Things based on IFS Fractal Model. Lambert Academic Publishing, copyright © 2016, OmniScriptum GmbH & Co. KG, ISBN 978-3-659-86851-1
- Ding, J., Wu, T., Lu, J.Q. & Hu, X.H. (2010). Self-Checked Metamorphic Testing of Image Processing Program. 4th International Conference on Secure Software Integration and Reliability Improvement. Doi: 10.1109/SSIRI.2010.25
- Fu, S., Yang, X., Li, M. & Wang, F. (2021). An Identification Method of Image-based for Output Pattern of Metamorphic Relation in Burnup Calculation Program. 3rd International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation. Doi: 10.1109/IAECST54258.2021.9695750
- Gupta, A., Ali, A., Pandey, A.K., Gupta, A.K. & Tripathi, A. (2022). Metamorphic Cryptography using AES and LSB Method. International Conference on Advances in Computing, Communication and Materials. Doi: 10.1109/ICACCM56405.2022.10009381
- Jameel, T., Lin, M. & Chao, L. (2015). Test Oracle based on Metamorphic Relations for Image Processing Applications. IEEE/ACIS 16th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. Doi: 10.1109/SNPD.2015.7176238
- Liu, H. & Chen, T.Y. (2012). A New Method for Constructing Metamorphic Relations. 12th International Conference on Quality Software. Doi: 10.1109/QSIC.2012.10
- Mekala, R.R., Magnusson, G.E., Porter, A., Lindvall, M. & Diep, M. (2019). Metamorphic Detection of Adversarial Examples in Deep Learning Models with Affine Transformations. 4th International Workshop on Metamorphic Testing. Doi: 10.1109/MET.2019.00016
- Morey, J., Sedig, K. & Mercer, R.E. (2001). Interactive Metamorphic Visuals: Exploring Polyhedral Relationships. The 5th International Conference on Information Visualization. 0-7695-1195-3/01 @2001 IEEE, pp.483-488. Doi: 10.1109/IV.2001.942100
- Philjon, T.L. & Rao, N.V. (2011). Metamorphic Cryptography – A Paradox between Cryptography and Steganography using Dynamic Encryption. International Conference on Recent Trends in Information Technology. Doi: 10.1109/ICRTIT.2011.5972272
- Rahman, M.T., Al-Amin, M.A., Jobayer, B.B., Chowdhury, A.R. & Bhuiyan, M.A. (2007). A Novel Approach of Image Morphing Based on Pixel Transformation. 10th International Conference on Computer and Information Technology. 1-4244-1551-9/07 ©2007 IEEE. Doi: 10.1109/ICCITECHN.2007.4579398

- ROIFAH, M. (2016). DESAIN MOZAIK PADA BINGKAI LINGKARAN DAN BELAH KETUPAT POLA SEGIENAM DAN UBIN PINWHEEL DENGAN MOTIF FRAKTAL. *SKRIPSI*.
- Wardani, V. A. K. (2022). *Perancangan Resort Dengan Pendekatan Arsitektur Biofi Lik Di Kulon Progo Yogyakarta*.
- Wibowo, T. A., Isnanto, R. R., & Hidayatno, A. (2012). TEKNIK MORPHING UNTUK OBJEK CITRA TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN METODE INTERPOLASI LINEAR. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(3), 68–71.
- Wittenbrink, C.M. (1995). IFS Fractal Interpolation for 2D and 3D Visualization. *Proceeding Visualization. Computer Engineering & Information Sciences. University of California*. Doi: 10.1109/VISUAL.1995.480798
- Xu, L., Towey, D., French, A.P., Benford S., Zhou, Z.Q., Chen, T.Y. (2018). Enhancing Supervised Classifications with Metamorphic Relations. *IEEE/ACM 3rd International Workshop Testing*, Gothenberg, Swedia. e-ISBN: 978-1-4503-5729-6
- Zhou, Z., Zheng, Z., Chen, T.Y., Zhou, J. & Qiu, K. (2021). Follow-up Test Cases are Better than Source Test Cases in Metamorphic Testing: A Preliminary Study. *IEEE/ACM 6th International Workshop on Metamorphic Testing*. Doi: 10.1109/MET52542.2021.00018
- Zhuang, Y.X., Xiong, Y.S., Liu, F.Y. (2011). IFS Fractal Morphing based on Coarse Convex-Hull. *6th IEEE Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference*. Doi: 10.1109/ITAIC.2011.6030316