Penerapan Konsep Fraktal pada Pembuatan Batik

Stefanus Gusega Gunawan - 13518149
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13518149@std.stei.itb.ac.id

***Abstrak*—Desain zaman sekarang, tidak melulu soal keabstrakan belaka. Beberapa tahun belakangan ini, ada dikenal salah satu konsep dalam teori rekursifitas, yaitu konsep fraktal, yang digunakan untuk mengonsep dan mendesain batik yang ada di Indonesia ini. Makalah ini berisikan penjelasan mengenai konsep fraktal itu sendiri dan pengembangannya pada pengonsepan batik fraktal.**

***Kata Kunci*—Batik, Desain, Fraktal, Rekursifitas**

I. Pendahuluan

Sejak zaman dahulu, batik seringkali dikembangkan oleh nenek moyang dengan empat dasar motif batik, yaitu corak utama, isen-isen, corak pinggir, dan corak-corak larangan [1]. Corak utama pada batik merupakan penghayatan atau pencurahan pikiran pembatik terhadap alam pikiran serta falsafah yang dianutnya [1]. Biasanya corak utama ini menjadi nama kain. Dengan tambahan corak-corak yang lain, maka jadilah desain batik yang sering kita gunakan sekarang.

Kebanyakan batik yang kita kenali sekarang, merupakan hasil dari perulangan bentuk tertentu. Hal ini membuat tiga anak muda dari Bandung, yang mana ketiganya merupakan lulusan Institut Teknologi Bandung, mencetuskan untuk membuat aplikasi yang dinamakan jBatik [2]. Hal ini dilakukan karena mereka telah mencoba untuk menerjemahkan corak-corak batik Indonesia ke dalam rumus matematika fraktal [2].

Konsep fraktal sendiri adalah salah satu konsep yang memanfaatkan teori rekursifitas pada suatu bentuk geometri. Fraktal lahir dari suatu bentuk geometri yang sederhana, yang mana dibangun lewat instruksi sederhana tapi berulang (rekursif) [3]. Dengan pendefinisian fraktal yang seperti itu, memanglah dapat dibuat desain motif batik, dengan melihat karakteristik batik yang pada umumnya merupakan motif berulang.

Untuk membentuk motif pada batik yang mana motifnya diulangi terus-menerus hingga dapat memenuhi kain dan juga karena motif batik haruslah sangat detail, tidak mungkin manusia membuat analisis rekurens terhadap pola pada batik fraktal. Dibutuhkan aplikasi guna meng-*generate* motif batik dengan meng-*input* pola dasar yang akan diproses menjadi motif batik yang terkesan rumit. Seiring tercetusnya ide ini, tiga orang yang mencetuskan ide ini, juga membuat *software* komputer bernama jBatik [4]. Dengan hadirnya *software* ini, akan memudahkan desainer batik fraktal dalam membuat motif-motif yang detail. Saat ini ada tiga tipe pola komputasional yang dapat menjadi bentuk generatif motif batik fraktal: Fraktal sebagai batik, Hibrida Fractal Batik, dan Batik Inovasi Fractal [4].

Gambar 1 : Salah satu contoh motif batik yang berdasarkan konsep fraktal
Sumber : medogh.com

II. Dasar Teori

A. Teori Rekursifitas

Teori Rekursifitas merupakan teori yang mempelajari karakteristik dari beberapa fungsi, yang mana fungsi itu dalam prosesnya bisa memanggil dirinya sendiri. Fungsi yang memenuhi teori rekursifitas tersebut, dinamakan fungsi rekursif. Pada teori rekursifitas, dikenal istilah basis dan rekurens. Dalam penghitungan suatu nilai pada fungsi rekursif, dibutuhkan parameter di mana parameter tersebut membuat fungsi rekursif itu mengulang-ulang fungsinya. Dalam hal ini, fungsi rekursif membutuhkan basis sebagai batas melakukan pengulangan.

Berikut ini adalah ilustrasi atau visualisasi rekursifitas:

Gambar 2 : Ilustrasi rekursifitas pada suatu lukisan.
Sumber : thewallpaper.co

Jika domain fungsi rekursif adalah bilangan bulat non-negatif, maka:

BASIS : spesifikasikan nilai dari f(0).

LANGKAH REKURSIF : definisikan aturan fungsi hingga bertujuan menghasilkan nilai yang makin lama makin kecil menuju basis (nilai masuk ke parameter fungsi) [6].

Berikut ini adalah contoh-contoh sederhana fungsi rekursif :

- Fungsi faktorial
  $$f(x) = x!$$
  Basis : $x = 0 \equiv f(0) = 1$
  Rekurens : $f(x) = xf(x-1)$
  Dapat dilihat bahwa fungsi factorial $f(x)$ memanggil $(x-1)$, yang mana merupakan langkah rekursif dari fungsi faktorial
- Fungsi Fibonacci
  Basis : $g(0) = 0$ dan $g(1) = 1$
  Rekurens : $g(x) = g(x-1) + g(x-2)$
  Sama dengan fungsi faktorial, fungsi Fibonacci juga memiliki karakter fungsi rekursif, karena memanggil $g(x-1)$ dan $g(x-2)$.
- Dan masih banyak lagi.

Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan pemakaian perulangan rekursif dalam pemrograman:

1. Kelebihan

- Sangat mudah untuk melakukan perulangan dengan batasan yang luas dalam artian melakukan perulangan dengan skala yang besar [16].
- Dapat melakukan perulangan dengan batasan fungsi [16].

2. Kekurangan

- Tidak bisa melakukan *nested loop* [16].
- Biasanya hanya persoalan tertentu saja yang bisa direkursif [16].
- Memerlukan *stack* dengan ukuran yang relatif lebih besar, karena ada kalanya *stack* akan penuh, mengingat fungsi rekursif menempatkan variabel lokal dan parameter formal pada *stack* [16].
- Proses agak berbelit-belit karena terdapat pemanggilan fungsi yang berulang-ulang dan pemanggilan data yang ditumpuk [16].

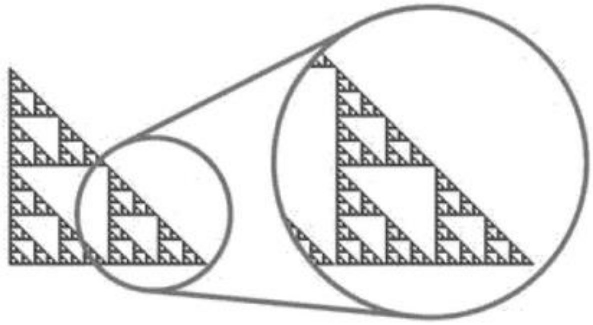
B. Konsep Fraktal

Fraktal adalah kumpulan pola-pola geometris baik yang terdapat di alam maupun yang berupa visualisasi model matematis di mana pola tersebut diulang berkala-kala dengan skala yang semakin kecil [5]. Istilah fraktal muncul oleh karena gagasan Benoît Mandelbrot pada tahun 1975 [5]. Ciri khas fraktal adalah memiliki dimensi dalam bentuk pecahan [5]. Konsep fraktal ini memiliki aplikasi yang sangat luas baik di bidang sains maupun keteknikan [5]. Secara khusus, konsep ini biasanya diaplikasikan pada kajian di bidang dinamika nonlinier, teori chaos, dan kompleksitas [5].

Inti dari konsep fraktal ini adalah adanya proses penyusunan ulang komponen-komponen yang identik dalam jumlah besar [5]. Proses ini terjadi melalui aturan/rumusan tertentu yang disebut *organisasi* [5]. Dalam hal ini, konsep fraktal erat kaitannya dengan konsep atau teori rekursifitas, karena hal yang sama atau di sini rumus yang sama yang diulang-ulang. Yang unik dari konsep fraktal ini adalah prinsipnya yang paling sederhana yaitu keteraturan (*regularity*) dan keteracakan (*randomness*) [5]. Berdasarkan prinsip keteraturan, komponen-komponen terkecil dari suatu struktur dapat menyusun diri mereka sendiri dalam sebuah mode periodik atau kuasiperiodik menghasilkan bentuk kristal, campuran logam, formasi prajurit dalam suatu parade, dan sebagainya [5]. Sementara, untuk prinsip keteracakan, contoh yang jelas tampak pada distribusi gas dan pertumbuhan rambut binatang yang prosesnya berlangsung acak [5]. Jadi, walaupun keterletakannya acak, konsep fraktal tidak melupakan adanya keteraturan dalam memroses rumus mula-mulanya.

C. Contoh Sederhana Konsep Fraktal

Pada fraktal, bagian detail dari bentuk geometri ternyata memiliki kemiripan bentuk dengan bentuk geometri semula yang menjadi basis dalam membentuknya [7]. Kemiripan ini tidaklah mutlak harus sama persis, karena sejatinya dalam proses pembentukan fraktal dilakukan beberapa proses transformasi yang kadang mengubah bentuk geometri semula [7]. Contoh sederhana yang paling tepat untuk menggambarkan konsep fraktal adalah segitiga Sierpinski [7]. Jika diamati, akan terjadi proses pembentukan detail dari bentuk segitiga lebih kecil di dalamnya, demikian proses ini berlanjut sampai tak hingga [7].



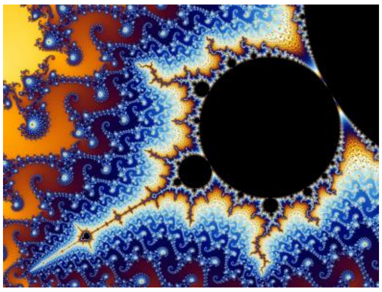
Gambar 3 : Segitiga Sierpinski dan sifat kesamaan pada dirinya sendiri yang sempurna.
Sumber : Surya, Yohanes. 2009. *FISIKA BATIK Implementasi Kreatif Melalui Sifat Fraktal pada Batik Secara Komputasional*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama anggota IKAPI.

Segitiga Sierpinski adalah segitiga yang sangat terkenal dan merupakan contoh fraktal yang paling sederhana [7]. Aturan untuk mendapatkan segitiga Sierpinski yang sangat detail sangat mudah dan sederhana [7]. Bahkan, dengan menggunakan penggaris dan pensil, bisa dibuat segitiga ini. Berikut aturan dari pembuatan segitiga Sierpinski, “Untuk setiap segitiga yang ada, hubungkan titik tengah dari setiap sisi-sisi segitiganya dan dari empat segitiga kecil yang dihasilkan, hapus segitiga yang ada di tengah. [7]” Dengan memenuhi aturan tersebut, dan dengan beberapa perulangan (iterasi), didapatlah segitiga Sierpinski ini [7].

D. Contoh Lebih Rumit dari Konsep Fraktal

Dalam pengembangannya, dikenal dua himpunan yang terkenal, yang mana himpunan ini terbentuk dari adanya konsep fraktal. Kedua himpunan itu adalah himpunan Mandelbrot dan himpunan Julia.

1. Himpunan Mandelbrot



Gambar 4 : Visualisasi dari Himpunan Mandelbrot
Sumber : pinterest.ch

Untuk contoh yang lebih kompleks, dikenal himpunan Mandelbrot. Himpunan ini dinamai berdasarkan nama dari bapak fraktal dunia yaitu Benoît Mandelbrot. Pada dasarnya, himpunan Mandelbrot berpusat pada adanya kompleksitas dari dua buah bilangan yang disebut bidang kompleks [8]. Jika suatu operasi diterapkan terus-menerus terhadap himpunan ini, nantinya akan muncul suatu gambar yang menunjukkan adanya instabilitas [8]. Di sinilah keindahan akan muncul dari himpunan Mandelbrot ini [8].

Persamaan untuk himpunan Mandelbrot adalah:

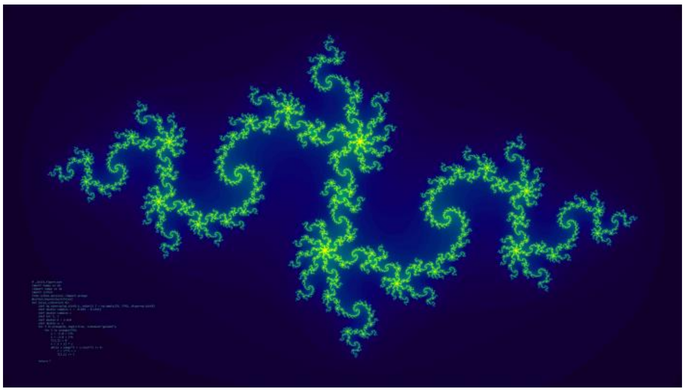
$$z_2 = zz + c$$

di mana z adalah titik saat ini pada orbit dan z_2 adalah titik berikutnya [8]. Karena z adalah titik pada bidang (juga disebut bilangan kompleks) titik tersebut terdiri atas dua bilangan yaitu koordinat x dan y yang menyatakan lokasi titik tersebut [8]. Dengan demikian, c sesungguhnya adalah dua bilangan, cx dan cy [8]. Sesuai dengan hukum-hukum aritmatika bilangan kompleks, persamaan-persamaan berikut ini sama dengan persamaan di atas :

$$x_2 = xx - yy + cx$$
$$y_2 = 2xy + cy$$

Untuk menggambar himpunan Mandelbrot, program akan melacak setiap titik pada layar [8]. Untuk tiap titik, program akan melakukan suatu orbit pada $x = 0,\ y = 0$, dan terus-menerus mengulang persamaan pertama dengan memasukkan nilai z yang baru pada setiap iterasi [8]. Nilai c pada setiap iterasi selalu tetap, yaitu titik pada layar yang akan diberi warna [8]. Maka, dengan menggunakan konsep *subset* dari himpunan, maka gambar dari himpunan Mandelbrot akan membatasi dirinya dengan warna-warna tertentu yang membuatnya makin menarik. Jika z merupakan himpunan bagian dari himpunan Mandelbrot dan akan memiliki warna tertentu [8]. Ketika meninggalkan daerah himpunan bagian, warna akan ditentukan oleh seberapa banyaknya langkah sepanjang orbitnya mendahului titik permulaannya.

2. Himpunan Julia



Gambar 5 : Visualisasi Himpunan Julia
Sumber : reddit.com

Himpunan Julia ini merupakan pengembangan dari himpunan Mandelbrot. Persamaan iterasi untuk Himpunan Julia sama seperti pada persamaan untuk Himpunan Mandelbrot [8]. Perbedaannya hanya pada arti nilai c dan titik awal orbitnya [8]. Pada saat menghitung Himpunan Julia, digunakan nilai c yang tetap untuk semua titik pada layar dan orbit dimulai dari titik yang akan diwarnai, bukan dari titik asal.

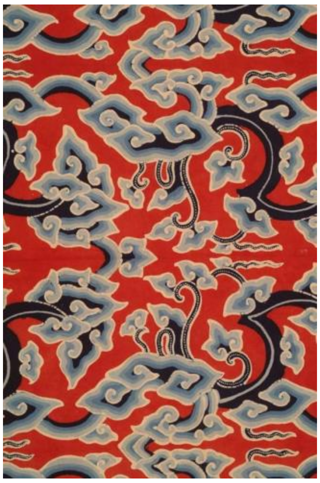
Himpunan Julia dibuat dengan memilih titik tertentu dan mengalikan setiap titik-titik yang lain dengannya secara berulang-ulang, kemudian hasilnya ditambahkan ke titik aslinya [8]. Dengan demikian, setiap titik pada bidang memiliki himpunan Julia miliknya sendiri.

E. Motif-motif Pada Batik

Batik dan Indonesia merupakan dua hal yang berkaitan erat. Keduanya tidak bisa dipisahkan. Batik merupakan kain khas Indonesia yang telah digunakan sejak dahulu kala [9]. Kata batik berasal dari Bahasa Jawa, yaitu dari kata *ambhatik* yang terdiri dari kata *amba* dan *bhatik* [9]. *Amba* berarti lebar, luas, besar, sedangkan *bhatik* berarti titik atau matik [9]. Dapat diartikan menurut etimologinya, batik dapat diartikan sebagai titik-titik pada kain yang lebar.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, batik berarti kain bergambar yang pembuatannya secara khusus dengan menuliskan atau menerakan malam pada kain itu, kemudian pengolahannya melalui proses tertentu. Ada banyak jenis batik, yaitu batik tulis, batik cap, ada juga yang diproduksi dengan menggunakan *printing*. Di samping banyaknya jenis batik, terdapat juga berbagai motif batik.

1. Batik Megamendung



Gambar 6 : Motif Batik Megamendung
Sumber : 1stdlibs.com

Batik ini merupakan batik yang sering ditemukan di Indonesia. Motif batik ini berasal dari Cirebon, Jawa Barat [9]. Ciri khas motif batik ini adalah warnanya yang mencolok dengan bentuk awan besar [9]. Biasanya, warna yang digunakan untuk mewarnai motif ini berdasar atas warna merah tua, biru tua, ungu, dan warna-warna yang sejenis [9].

2. Batik Tujuh Rupa Pekalongan

Gambar 7 : Batik Tujuh Rupa Pekalongan
Sumber : pinterest.com

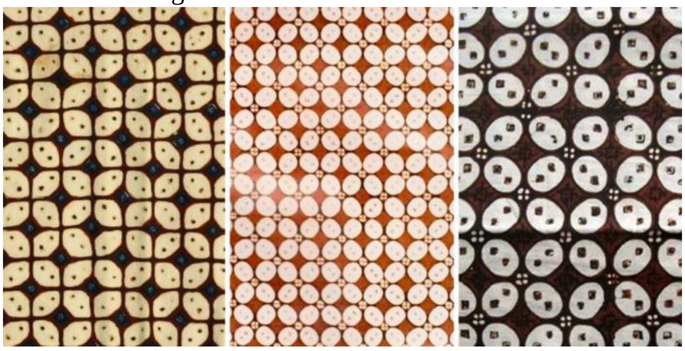
Jenis motif batik ini juga mudah dijumpai di Indonesia. Sudah jelas dari nama motif ini, bahwasanya ini motif batik khas dari Pekalongan. Pekalongan adalah daerah pengrajin batik dan pusatnya ada di sana [9]. Jadi, tidak heran kalau memang di daerah Pekalongan memiliki ciri khas motif batik tersendiri yang unik. Dan juga, motif ini juga sudah terkenal di Indonesia. Ciri khas motif batik ini adalah coraknya yang memanfaatkan keindahan alam seperti tumbuhan dan hewan [9].

3. Batik Parang Rusak

Gambar 8 : Batik Parang Rusak
Sumber : desaingratis.com

Jenis batik ini pastilah sering dijumpai di Indonesia. Biasanya, dalam pernikahan adat Jawa, para mempelai seringkali menggunakan pakaian dengan adanya corak parang. Motif batik Parang Rusak adalah motif batik yang sangat popular di kalangan pecinta batik [9]. Arti dari motif ini pun sangat mendalam dan filosofis, yaitu peperangan antara sifat baik dan sifat buruk manusia [9]. Motif ini paling menggambarkan sifat rekursifitas dari sebuah bentuk geometri.

4. Batik Kawung



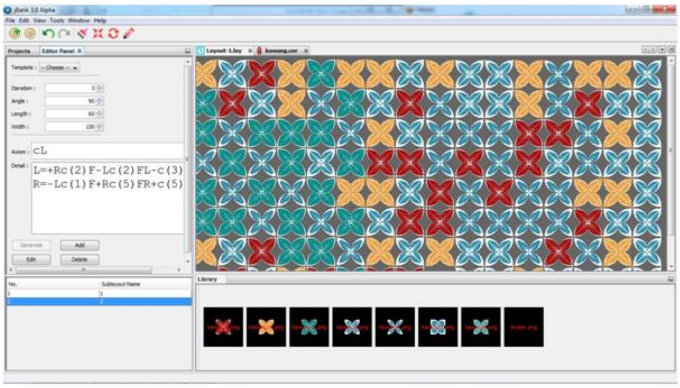
Gambar 9 : Batik Kawung
Sumber : pemoeda.co.id

Batik Kawung adalah motif batik yang terhitung relatif tua di Indonesia [10]. Motif batik ini berasal dari tanah Jawa, yang mana sudah digunakan pada zaman keraton. Adapun, orang-orang yang boleh menggunakan motif batik ini hanyalah orang-orang yang berada di kerajaan [10]. Maka, motif batik ini adalah sangat terhormat,

Makna batik kawung sendiri ada berbagai macam. Ada pengendalian diri yang sempurna, hati yang bersih tanpa adanya keinginan untuk ria, dan masih banyak lagi [10]. Motif khas dari batik ini adalah motif geometris yang berdasar dari tumbuhan yang berulang-ulang. Asal-usul motif tersebut pun menjadi perdebatan. Ada yang berkata bahwasanya motif itu adalah serangga mirip kumbang, bernama Kwangwung (*Oryctes rhinoceros*), dan ada juga yang berkata bahwa inspirasi batik ini adalah dari buah pohon aren, yaitu Kolang-Kaling [10].

III. BATIK FRAKTAL

A. Seputar Batik Fraktal



Gambar 10 : Tampilan perangkat lunak jBatik dalam mendesain batik fraktal
Sumber : batikfractal.com

Batik fraktal adalah batik yang didesain dengan rumus dan konsep matematika fraktal [11]. Ide cemerlang ini berkembang dari tiga orang mahasiswa, dua dari Institut Teknologi Bandung, satu lagi dari Universitas Padjajaran [12]. Fraktal sangat berhubungan dengan konsep batik yang mana ada pola geometri dasar, lalu pola tersebut diulang-ulang. Hanya saja, karena desain motif batik fraktal digunakan rumus, maka keindahan dalam matematika menjadi dimanfaatkan.

Supaya menghasilkan motif batik yang detail, maka konsep fraktal ini perlu dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak. Perangkat lunak ini dinamai jBatik, yang mana dapat menghasilkan motif batik baru dari satu rumus fraktal saja [11]. Tidak hanya itu, motif batik yang baru tersebut bisa menjadi lebih baru dan *fresh* lagi. Mengapa? Karena, motif batik yang baru ini bisa dikombinasikan dengan motif batik yang ada bahkan motif baru juga bisa. Dengan penggunaan perangkat lunak ini, mendesain batik menjadi lebih cepat, efisien, variatif, dan lebih teliti [11].

Awal mulanya, sebelum membuat batik, ketiga peneliti ini melakukan riset terhadap DNA dari batik yang sudah ada [2]. Mereka mengukur keteraturan motif dari salah satu motif batik yang terkenal di Indonesia, yaitu motif batik Parang Rusak [2]. Pertama-tama, motif batik ini ditransformasikan ke dalam rumus matematika fraktal dengan menggunakan algoritma L System [2]. Lalu, rumus yang didapat diubah-ubah parameternya sehingga menghasilkan varian baru dari batik Parang Rusak [2]. Kemudian, rumus itu diolah dengan menggunakan perangkat lunak berbasis *open-source* yaitu jBatik. Lalu, desain yang sudah didapat akan direalisasikan dengan proses pembatikan yang sudah ada. Bisa dengan cara ditulis, dicap, ataupun di-*print*.

Salah satu orang yang meneliti ini berkata bahwa, proses pembatikan yang digunakan masih tradisional karena kualitas dan nilai yang dihasilkan sangatlah tinggi dan mulia. Proses tradisional yang dimaksud adalah dengan menggunakan cap atau canting, dan menggunakan malam (semacam tinta untuk menulis batik) guna pewarnaan batik [2]. Nilai yang didapat adalah tidak melupakan nilai filosofis, walaupun metode mendesainnya diubah.

B. Contoh Metodologi Penelitian

Fraktal adalah penerapan konsep rekursifitas yang bisa diaplikasikan ke bentuk geometri sederhana, dipecah-pecah menjadi beberapa bagian dengan bentuk yang sama, namun ukurannya diperkecil. Dengan menggunakan definisi yang seperti itu, maka memanglah batik bisa dimanipulasi dengan menggunakan konsep fraktal.

Fraktal memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

a. *Self-similarity*

Self-similarity berarti fraktal terdiri atas bentukan dasar geometri yang sama [13].

b. *Self-affinity*

Self-affinity berarti fraktal sebenarnya disusun oleh bagian-bagian yang terangkai satu sama lain [13].

c. *Self-inverse*

Self-inverse berarti fraktal bisa saja merupakan bentukan terbalik dari susunan fraktal lainnya [13].

d. *Self-squaring*

Self-squaring berarti suatu fraktal merupakan hasil peningkatan kerumitan dari fraktal yang sudah ada [13].

1. Algoritma L-System

Selain konsep fraktal, dikenal juga algoritma L-System. Secara sederhana, definisi formal algoritma L-System adalah sebagai berikut.

$$G = \{v, s, \omega, p\}$$

dengan:

v: kosa kata (*vocabulary*), yang menggambarkan perbedaan kelas modul

s: himpunan parameter yang merepresentasikan modul-modul ‘properties’

ω: aksioma yang menggambarkan *initial state* dari organisme.

p:himpunan aturan produksi yang menjelaskan tentang perkembangan organisme.

Secara singkat, metode penelitian ini menggunakan algoritma L-system guna memproduksi desain-desain yang baru dengan memanfaatkan basis *rule* yang sudah ada dan menggunakan *rule p* yang ada sehingga bentukannya seperti otomata. Dengan memanfaatkan sifat-sifat algoritma L-system, dapat digunakan berbagai *rule* yang bisa memodifikasi bentukan dasar dari sebuah geometri.

2. Penjelasan dengan menggunakan dasar-dasar dari fraktal Mandelbrot

Menurut Mandelbrot, fraktal dapat didefinisikan sebagai “himpunan yang dimensi Hausdorff Besicovitch-nya lebih besar dari dimensi topologisnya” [14]. Dari pendefinisian itu, didapat bahwa fraktal sejatinya merupakan *self-similarity* [14]. Bentuk keserupadirian ini bisa memiliki dimensi yang sama atau berbeda dengan dimensi asalnya [14]. Dimensi fraktal adalah sebuah pola yang sifatnya rekursif yang tiap bagiannya mirip dengan bagian keseluruhan pada suatu objek geometri [14]. Dimensi kurva dari obyek kurva yang *self-similar* ditentukan oleh nilai mutlak dari rasio $\frac{\log N}{\log \frac{1}{L}}$ [14]. Dengan $\frac{1}{L}$ adalah panjang unit dari pengukuran; dan N adalah banyak subsegmen atau sub unit persegi atau sub unit kubus dari tiap obyek [14].

3. Kombinasi Fraktal Motif Songket Palembang dan Sadum Tumpal Ulos dengan menggunakan Himpunan Julia

Gambar 11 : Batik Motif Sadum Tumpal Ulos
Sumber : bukalapak.com

Motif Sadum Tumpal Ulos adalah salah satu motif kain songket asal Palembang, Sumatra Selatan. Motif ini merupakan kombinasi antara motif kain songket Palembang dengan motif kain ulos [15]. Dalam penelitian dari Eka Susanti, motif fraktal songket Palembang motif Sadum Tumpal Ulos dibentuk dari beberapa himpunan Julia [15]. Berikut ini adalah bentuk fungsi pada himpunan Julia yang digunakan.

$$f_c(z) = z^n + c, z = ai + b; n > 1 \; dan \; a, b, c \in R$$

Lalu, setelah ditentukan fungsi pada himpunan Julia, dibuatlah hasil visualisasinya dengan menggunakan Matlab. Didapat kesimpulan, bahwa motif fraktal Songket Palembang Sadum Tumpal Ulos dapat dirancang dari Himpunan Julia dengan

$$f_c = z^n + c, n = 0{,}55; n = 6; n = z$$

Dapat disimpulkan memang bisa menggunakan iterasi biasa, namun penulis, Eka Susanti, menyarankan untuk menggunakan algoritma L-System untuk visualisasi Himpunan Julia [15].

IV. KESIMPULAN

Didapat bahwa setelah diinisiasi oleh para peneliti yang merupakan mahasiswa, penelitian mengenai batik fraktal masih terus berkembang. Banyak yang mencari cara-cara alternatif seperti dengan cara tidak menggunakan algoritma L-System, ada juga yang menggunakan algoritma tersebut.

Juga, jika dilihat dari penggunaan fungsi rekursif di sini, sebenarnya tidaklah terlalu kelihatan, namun dalam pengonsepan himpunan Mandelbrot dan himpunan Julia menggunakan konsep rekursifitas.

V. REFERENSI

[1] Riadi, Muchlisin (2019, 2 Januari). *Pengertian, Jenis, Motif dan Proses Pembuatan Batik*. Dikutip 3 Desember 2019 dari KajianPustaka: https://www.kajianpustaka.com/2019/01/pengertian-jenis-motif-dan-proses-pembuatan-batik.html.

[2] Kompas (2008, 9 Agustus). *Batik Fractal, Teknologi Mewariskan "Ruh" Batik*. Dikutip 3 Desember 2019 dari Kompas: https://tekno.kompas.com/read/2008/08/09/05062775/batik.fractal.teknologi.mewariskan.ruh.batik?page=all.

[3] Sora9n (2014, 18 Juni). *Fun with Math: Berkenalan dengan Fraktal*. Dikutip 3 Desember 2019 dari Wordpress: https://zenosphere.wordpress.com/2014/06/18/fun-with-math-berkenalan-dengan-fraktal/.

[4] Fitinline (2013, 25 November). *Batik Fractal*. Dikutip 3 Desember 2019 dari Fitinline: https://fitinline.com/article/read/batik-fractal/

[5] Sampurno, Joko dan Irfana Diah Faryuni. 2016. *METODE ANALISIS FRAKTAL*. Sleman: Deepublish.

[6] Rosen, Kenneth H.. 2012. *Discrete Mathematics and Its Applications, Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill.

[7] Surya, Yohanes. 2009. *FISIKA BATIK Implementasi Kreatif Melalui Sifat Fraktal pada Batik Secara Komputasional*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama anggota IKAPI.

[8] Oliver, Dick. 1992. *FractalVision: Put Fractals to Work for You*. Amerika Serikat: Sams Publishing.

[9] Putri, Ananda Muthia (2018, 15 Agustus). *Mengenal 10 Ragam Motif Batik Populer Khas Berbagai Daerah Di Indonesia*. Dikutip 5 Desember 2019 dari fabelio: https://fabelio.com/blog/10-ragam-batik-populer-indonesia/.

[10] Bram (2017, 16 Juli). *Batik Kawung – Motif Untuk Orang Yang Berhati Bersih*. Dikutip 5 Desember 2019 dari Pemoeda: https://www.pemoeda.co.id/blog-batik-kawung.

[11] Variella, Aisha (2019, 11 Januari). *Batik Fractal Dibuat Pakai Rumus Matematika, Inovasi Keren Anak Bangsa*. Dikutip 5 Desember 2019 dari IDNTimes: https://www.idntimes.com/science/experiment/aisha-variella-f/batik-fractal-dibuat-dengan-rumus-matematika-c1c2.

[12] Utami, Esti (2015, 30 September). *Nancy Margried Panjaitan, Mengulik Batik dengan Rumus Matematis*. Dikutip 5 Desember 2019 dari Suara: https://www.suara.com/lifestyle/2015/09/30/132431/nancy-margried-panjaitan-mengulik-batik-dengan-rumus-matematis?page=all.

[13] Saefurrohman dan Dewi Handayani U. N.. 2016. *Desain Motif Batik Dengan Metode Fraktal Dan Algoritma L-System untuk Membangun Pustaka Batik Wali*. Teknologi Informasi DINAMIK. 21(1): 42 – 51.

[14] Dewi, Rahmatillah Agustina Meutia Dewi, dkk. 2016. *Geometri Fraktal Untuk Re-desain Motif Batik Gajah Oling Banyuwangi*. ASIOMA Jurnal Pendidikan Matematika. 5(2): 223 – 229.

[15] Susanti, Eka. 2016. *Aplikasi Himpunan Julia dalam Membuat Rancangan Motif Fraktal Songket Palembang*. Jurnal Matematika. 6(2): 114 – 118.

[16] Asepsumpena09 (2014, 8 November). *Definisi Fungsi Rekursif dan Contohnya*. Dikutip 6 Desember 2019 dari Wordpress: https://asepsumpena09.wordpress.com/2014/11/08/definisi-fungsi-rekursif-dan-contohnya/

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 6 Desember 2019

Stefanus Gusega Gunawan
13518149