PRISMA 5 (2022): 14-20
PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika
https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/
ISSN 2613-9189

Tinjauan Filsafat Matematika Geometri Fraktal dan Implikasinya dalam Pembelajaran Matematika

Dewi Isabella Palma[a,*], Eliana Nadiasari[a]

[a]*Mahasiswa S2 Pendidikan Matematika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, Jl. Paingan, , Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia*

* *Alamat Surel: dewiisabella5@gmail.com*

Abstrak

Matematika diciptakan oleh manusia berdasarkan kebutuhan dan fenomena yang dijumpai. Begitu juga geometri fraktal, dimana bagian dari pengembangan geometri klasik dan memiliki peran penting dalam penyajian objek alam seperti salju, stalaktit, pohon, daun, dan sebagainya. Pentingnya geometri fraktal dalam bidang keilmuan dapat membantu mendeskripsikan berbagai pola yang tidak biasa di alam dan lebih cocok untuk memodelkan dan memprediksi tentang fenomena alam. Sayangnya, pada kurikulum di sekolah belum ada pengenalan mengenai geometri fraktal. Geometri fraktal ini penting karena konsep matematika yang ada pada geometri fraktal dapat mengasah kreativitas siswa dalam melakukan proses integrasi yang ada pada fenomena tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah 1) Mengetahui sejarah geometri fraktal, 2) Mengetahui dasar konsep geometri fraktal, 3) Deskripsi implikasi geometri fraktal dalam pembelajaran matematika. Metode dalam penelitian ini adalah kajian kepustakaan. Penelitian ini menjadikan bahan pustaka sebagai sumber data dan acuan dalam melaksanakan penelitian, yaitu buku, jurnal dan sumber lainnya yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan geometri fraktal muncul ketika ditemukan struktur matematika yang tidak sesuai dengan pola euclid dan newton pada matematika abad 20. Kemunculan dan keberadaan geometri fraktal secara matematis bahwa konsep geometri fraktal bertumpu pada kemiripan diri sendiri dan ukuran sehingga objek dapat diproyeksikan dalam berbagai ukuran dan berulang menjadi unik. Implikasi dalam pembelajaran matematika adalah geometri fraktal perlu dikenalkan melalui pembelajaran matematika sebagai pondasi perkembangan geometri fraktal karena perkembangan terapan geometri fraktal diberbagai bidang berlangsung hingga saat ini. Adapun cara yang sesuai untuk mengenalkan fraktal pada sekolah menengah yaitu menggunakan konsep matematis deret geometri, menggunakan software untuk mengkonstruk bentuk, dan membuat bangun-bangun unik dari konsep dasar geometri klasik.

Kata kunci:

Geometri, Fraktal, Sekolah Menengah, Pembelajaran Matematika

1. Pendahuluan

Menurut (Berlinghoff & Gouvea, 2004) matematika merupakan produk dari suatu budaya yang diciptakan oleh manusia dari waktu ke waktu dan di berbagai tempat serta dipengaruhi oleh konteks budaya sekitar. Matematika dikembangkan guna memenuhi kebutuhan manusia. Seiring dengan perkembangannya, mulai banyak filsuf yang mengembangkan matematika, seperti Aristoteles yang menggunakan pembuktian formal dari pernyataan matematika saat berdiskusi kebenaran penalaran. Kemudian dasar asumsi, postulat dan teorema yang dikembangkan ini menjadi struktur dari matematika yunani kuno yang hingga saat ini masih berlaku yakni *the Elements of Euclid*.

Geometri klasik atau geometri euclides adalah salah satu cabang matematika yang masih dipelajari hingga saat ini. Penggunaan geometri ini masih menjadi dasar yang penting bagi kehidupan seperti merancang bangunan gedung-gedung, jembatan, mesin-mesin dan sebagainya. Objek-objek yang dibentuk oleh garis, bangun datar, bangun ruang, dan sebagainya dalam ilmu geometri bisa menjadi sajian dari bentuk asli yang ditemukan. Namun, dalam bidang seni atau objek yang dijumpai pada fenomena atau bentuk yang ditemui di alam, kurang bisa menjadikan geometri sebagai pedoman dasar dalam menentukan bentuk, misal bunga salju tidak bisa digambarkan dengan sebuah segienam, awan sebagai

To cite this article:
Palma, Dewi I., Nadiasari, E. (2022). Tinjauan Filsafat Matematika Geometri Fraktal dan Implikasinya dalam Pembelajaran Matematika. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika 5*, 14-20

garis melengkung, stalaktit sebagai kerucut terbalik, dan sebagainya. (Mandelbrot, 1982) mengatakan bahwa banyak pola di alam yang sangat tidak teratur dan terfragmetasi, sehingga apabila dibandingkan dengan Euclid, geometri yang ditunjukkan memerlukan tingkat yang lebih tinggi dan juga tingkat kerumitan yang berbeda untuk pola yang ditemukan di alam. Meskipun banyak objek yang tidak bisa disajikan dalam geometri klasik, geometri klasik ini juga masih memiliki peranan penting dalam menyajikan objek alam meskipun dapat dikatakan kurang sempurna. Namun, dalam perkembangannya, hadirlah geometri fraktal sebagai cabang keilmuan dari geometri yang dapat merepresentasikan objek yang unik.

Seturut perkembangan zaman, mulai ditemukan solusi yang layak guna merepresentasikan objek matematika yang tidak mulus. Salah satu cabang ilmu dalam geometri yang dapat digunakan adalah geometri fraktal. Geometri fraktal merupakan geometri alam dan digunakan pada berbagai bidang. (Falconer, 1990) menyatakan bahwa fraktal mendeskripsikan berbagai pola yang tidak biasa di sekeliling kita dan lebih cocok untuk memodelkan dan memprediksi tentang fenomena – fenomena alam. Kumpulan awan, garis pegunungan, garis pantai, petir bercabang dan berbagai objek alam lain dapat dideskripsikan dengan lebih baik menggunakan fraktal daripada menggunakan garis lurus dan kurva halus pada geometri klasik. Salah contoh penerapan fraktal dalam ilmu pengetahuan yaitu pada bidang fisika, fraktal dapat digunakan dalam memodelkan singularitas elektrostatik dan potensi gravitasi, juga dinamika fluida dan turbulensi.

Pentingnya geometri fraktal belum menjadikan geometri fraktal sebagai ilmu yang bisa dikenalkan di jenjang pendidikan sekolah menengah. Hal ini bisa dilihat bahwa di kurikulum sekolah, khususnya matematika, belum ada dikenalkan konsep dasar geometri fraktal. Padahal geometri fraktal ini bisa membangun dasar keilmuan pada jenjang yang lebih tinggi apabila sudah dikenalkan. Selain itu, geometri fraktal bisa mengasah kreativitas siswa dalam membuat suatu bentuk yang rumit dan unik. Maka peneliti ingin mengetahui konsep dasar geometri fraktal dan mendeskripsikan implikasi geometri fraktal dalam pembelajaran.

2. Pembahasan

Geometri fraktal memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dari geometri klasik. Karakteristik geometri fraktal yakni *self-similarity,* rekursih (berulang) dan detail yang tak berhingga. Hal ini pertama kali dikenalkan oleh Mandelbrot pada tahun 1975. Hal ini terus dikaji oleh matematikawan yang hingga saat ini banyak bentuk fraktal yang unik dan indah dan bahkan banyak dijumpai dalam kehidupan nyata. Karena perkembangan fraktal, banyak bidang keilmuan lain yang menggunakan fraktal sebagai analisis kajian bidang keilmuan. Hal ini juga berdampak bagi pendidikan guna menghadapi tantangan perubahan teknologi dan kehidupan masa kini.

2.1. Sejarah Geometri Fraktal

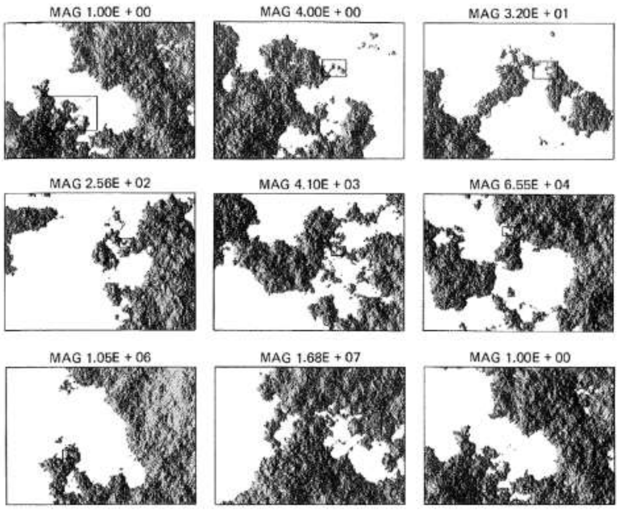
Menurut Mandelbrot, geometri klasik atau Euclid kurang cocok dalam mendeskripsikan bentuk – bentuk alam seperti awan, gunung, garis pantai atau pohon. Awan tidak berbentuk berbentuk bola, gunung tidak berbentuk kerucut, dan garis pantai tidak berbentuk lingkaran. Maka Mandelbrot menyusun dan mengembangkan geometri alam yang baru dan mengimplementasikan kegunaannya dalam berbagai bidang yaitu geometri fraktal.

Lebih jauh, (Mandelbrot, 1982) menjelaskan bahwa matematika abad 20 atau matematika modern dimulai dari teori himpunan cantor dan kurva pengisian ruang Peano. Revolusi terjadi karena ditemuan struktur matematika yang tidak cocok dengan pola Euclid dan Newton. Struktur baru ini yang dipandang sebagai "*gallery of monsters*". Matematikawan yang menciptakannya memandangnya sebagai petunjuk penting bahwa matematika murni kaya akan kemungkinan - kemungkinan yang melampaui struktur sederhana yang kita temui di alam. Matematika abad 20 berkembang dengan keyakinan dapat melampaui batasan – batasan yang ditetapkan asal – usul alaminya.

Namun demikian fraktal bukan penerapan langsung dari matematika abad 20. Sebelum Mandelbrot menemukan istilah fraktal, matematikawan lain telah mempelajari konsep mengenai fraktal itu sendiri, seperti Cantor, Peano, Koch, Pascal, dan Sierpinski. Mandelbrot menyatakan bahwa fraktal adalah cabang baru yang terlambat lahir dari krisis matematika yang dimulai ketika duBois Reymond tahun 1875 melaporkan fungsi kontinu yang tidak terdiferensiasi yang dibangun oleh Weierstrass. Tokoh – tokoh yang berperan besar adalah Cantor, Peano, Lebesgue, dan Hausdorff, mereka mengenalkan himpunan – himpunan yang bersifat fraktal. Karya – karya matematikawan ini tidak biasanya ditemu pada studi empiris mengenai alam, namun Mandelbrot meyakini bahwa dampak dari pekerjaan ini melampaui ruang lingkup yang mereka tuju. Setelah itu muncul geometri fraktal yang dikenalkan oleh Mandelbrot. Kemudian istilah fraktal berasal dari bahasa latin yaitu kata sifat fractus yang berarti pecah dan kata kerja frangere yang berarti memecah. Yang berarti fraktal adalah suatu pecahan – pecahan.

2.2. Konsep Dasar Fraktal

Definisi fraktal Fraktal menurut (Mandelbrot, 1982) merupakan geometri alam yang mendeskripsikan berbagai pola disekitar kita yang tidak biasa dan terpecah - pecah, dan menghantar kita pada teori utuh dengan mengidentifikasi kumpulan bentuk. Intisari dari fraktal dapat diilustrasikan dengan pola garis pantai seperti pada gambar dibawah,

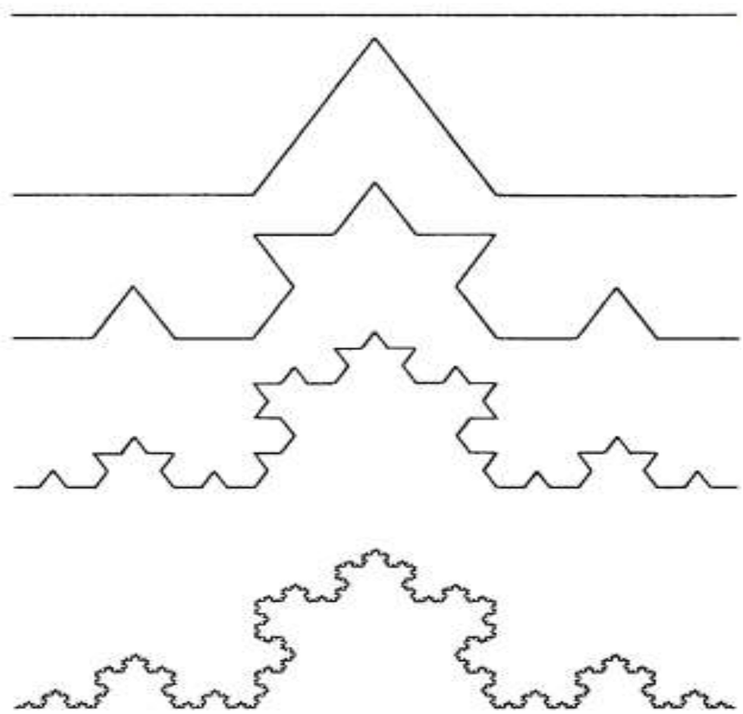


Gambar 1. Pengenalan *Self-Similarity* Pada Garis Pantai (Barnsley et al., 1988)

Gambar tersebut merupakan pandangan berturut – turut dari planet fraktal diambil dari pesawat ruang angkasa yang mengorbit. Dalam mencari tempat mendarat yang sesuai, bagian tampilan awal ditunjukan pada gambar kiri atas. Kemudian diperbesar dengan faktor 4 dan menghasilkan gambar tengah atas.Demikian pula setiap gambar berturut – turut merupakan perbesarakan dari bagian terpilih pada garis pantai pada gambar sebelumnya. Perbesaran dilakukan hingga lebih dari 10^7 yaitu pada gambar tengah bawah. Bandingkan gambar tengah bawah dan kanan bawah (yang merupakan gambar awal yang diulang). Walaupun tidak identik, namun kedua gambar ini memiliki banyak kesamaan karakteristik Sifat dari suatu objek dimana himpunan bagian yang diperbesar terlihat seperti keseluruhan dan sebaliknya disebut kesebangunan (*self-similarity).* Karakteristik ini yang membedakan fraktal dari bentuk tradisional *Euclid*. Terdapat perbedaan utama antara fraktal dan Euclidean tradisional. Pertama, fraktal sangat modern. Kedua, bentuk Euclid memiliki satu atau paling banyak beberapa ukuran karakteristik atau skala, sedangkan fraktal tidak memiliki ukuran karakteristik, bentuk fraktal dikatakan selalu memiliki *self-similarity* dan tidak terikat pada skala. Ketiga, bentuk euclid dapat mendeskripsikan dengan akurat objek buatan manusia, sedangkan fraktal tepat untuk mendeskripsikan bentuk alam. Keempat, bentuk Euclid biasa dideskripsikan dengan rumus aljabar sederhana, sedangkan fraktal merupakan hasil dari prosedur kosntruksi atau algoritma yang sering rekursif (berulang – ulang) dan cocok untuk komputer. Perbedaan ini dapat diilustrasikan menggunakan “matematika monster” awal yaitu kurva kepingan salju (*snowflake*) von Koch. Namun sebelumnya kita akan mengenal dimensi pada fraktal.

Terdapat dimensi pada fraktal. Menurut (Mandelbrot, 1982) fakta bahwa fraktal dimensi sumbang dapat berfungsi untuk mengubah konsep fraktal dari intuitif ke matematika. Fokus pada dua definisi, tidak peduli seberapa patologis suatu bilangan real dengan alasan intuitif dan formal disebut dimensi. Dimana jika lebih intuitif maka disebut dimensi topologi menurut Brouwer, Lebesgue, Menger, dan Urysohn. Dinotasikan dengan D_T. Dimensi kedua, dirumuskan oleh Hausdorff 1919 yang oleh Mandelbrot disebut dimensi fraktal, dinotasikan dengan D. $D = \frac{\log N}{\log \frac{1}{r}}$, dengan N adalah segmen yang identik dengan induknya dan r adalah rasio untuk skala N. Untuk setiap Euclid $D = D_T$, sedangkan pada fraktal $D > D_T$. Setiap himpunan dengan D bukan bilangan bulat maka ia adalah fraktal. Contohnya himpunan Cantor, $D = \frac{\log 2}{\log 3} = 0.6309 > 0$.

Kurva *snowflake* von Koch mengilustrasikan adanya prosedur iterasi atau rekursi dalam mengkonstruksi kurva fraktal. Pertama, terdapat ruas garis sederhana, kemudian dibagi tiga bagian dan ruas tengah diganti dengan dua segmen yang sama membentuk segitia sama sisi. Maka dari ruas garis lurus menjadi 4 segmen garis. Kemudian dengan cara yang sama setiap segmen garis diubah menjadi 4 segmen baru dan seterusnya dengan masing – masing segmen baru memiliki panjang $\frac{1}{3}$ dari induknya. Prosedur ini diulang berkali – kali. Proses ini menghasilkan gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi kurva von Koch (Falconer, 2003)

$N = 4, r = \frac{1}{3}$

$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1{,}26 \ldots$

Hal ini menunjukan bahwa iterasi pada aturan sederhana dapat menghasilkan bentuk kompleks yang tidak biasa. Tidak seperti Euclid, kurva ini memiliki detail pada setiap panjang skala. Semakin dekat dilihat atau semakin diperbesar maka akan semakin terlihat detail. Pada setiap tahap konstruksi, Panjang kurva bertambah dengan faktor $\frac{4}{3}$. Dengan demikian kurva pembatas menjejalkan Panjang yang tidak terbatas pada bidang dengan area terbatas tanpa berpotongan dengan diri sendiri

2.3. Implikasi Geometri Fraktal Dalam Pembelajaran Matematika

Terapan geometri fraktal di berbagai bidang hingga saat ini masih dikembangkan. Hal ini berakibat pada bidang pendidikan sebagai pondasi untuk mengenalkan geometri fraktal dalam pembelajaran matematika. Konsep geometri yang diajarkan saat ini belum dapat merepresentasikan fenomena-fenomena alam. (Mandelbrot, 1982) mengemukakan bahwa geometri klasik atau euclid kurang cocok dalam mendeskripsikan bentuk – bentuk alam seperti awan, gunung, garis pantai atau pohon. Sehingga perlu dikenalkan pada siswa bahwa ada konsep geometri lain selain geometri euclid yang dapat mendeskripsikan bentuk-bentuk alam yaitu geometri fraktal. Menurut Thrope (dalam Bowers, 1991), studi mengenai fraktal menarik secara intrinsik dimana siswa dapat menciptakan suatu gambar dan dapat menguji dugaan mengenai gambar yang dibuat.

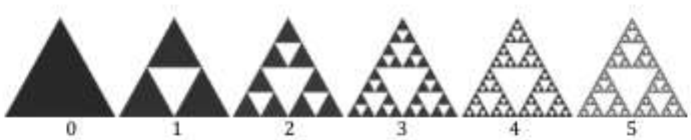
Implementasi geometri fraktal di sekolah dapat dikenalkan bentuk geometri baru yang berpegang pada karakteristik fraktal yakni *self-similarity*, detail yang tak berhingga, dan rekursif. Karakteristik pada geometri fraktal ini dapat menjadi bagian dari topik matematika tertentu yang diajarkan tanpa mengubah konsep yang sebenarnya.

Ada beberapa hal yang menjadi perhatian dalam mengenalkan geometri fraktal di sekolah menengah. (Bowers, 1991) dalam penelitiannya mengungkapkan, ada beberapa kemampuan matematika yang relevan dengan geometri fraktal untuk kelas 12, yakni sebagai berikut.

Tabel 1. Kompetensi yang relevan dengan topik matematika (Bowers, 1991)

Topik	Kompetensi
Aljabar	Merepresentasikan hubungan secara simbolik
	Menafsirkan rumus
	Memanipulasi hubungan (ekspresi)
Numeris	Menggunakan intuisi terkait solusi dari persamaan $4 = 3^d$
	Terbiasa dengan logaritma
Logika	Kemampuan untuk memahami
	Menerapkan sebuah definisi formal
Geometri	Terbiasa dengan transformasi geometri dasar

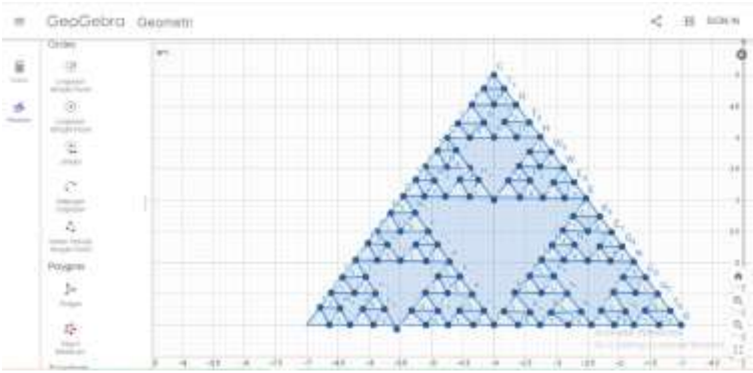
Berdasarkan **tabel 1** dapat dilihat bahwa konsep geometri fraktal yang diajarkan tidak harus menjadi suatu topik khusus. Konsep geometri fraktal juga dapat diberikan sebagai pendalaman topik. Dengan demikian, geometri fraktal bisa dikenalkan tanpa harus menambahkan bab baru di kurikulum. Ada beberapa kompetensi dasar yang bisa menjadi pengenalan geometri fraktal yaitu segitiga paskal, deret geometri, kesebangunan, transformasi geometri, eksponen dan pola bilangan. Pada materi tersebut, geometri fraktal dapat digunakan dalam penerapan konsep materi. Misal Siswa diminta untuk mengamati sebuah segitiga Sierpinski yang dibentuk oleh beberapa tahap seperti gambar 3. Dapat diamati bahwa setiap iterasi (tahap) terjadi proses rekursi dengan menggunakan 3^n sebagai pola rekursif. Kegiatan yang diberikan juga tidak harus mengamati, tetapi siswa dapat ikut ambil bagian dalam mengambarkan hubungan setiap segitiga terhadap pola rekursif yang telah diberikan diawal. Dengan memberikan kesempatan seperti itu, siswa dapat memahami sebuah pola rekursif yang terjadi, mendalami materi eksponen dan mengasah kreativitas siswa.



Gambar 3. Segitiga Sierpinski (www.FractalFoundation.org)

Kemudian, konsep deret geometri juga bisa digunakan untuk membuat geometri fraktal yang unik seperti gambar 2. Misal siswa diajak untuk mengkonstruk sebuah bentuk salju (*Koch curve*) yang diawali dengan garis yang panjangnya 1 satuan panjang. Lalu, garis tersebut dibagi menjadi tiga bagian dan bagian tengah diganti dengan 2 kaki segitiga yang sama panjang dengan garis yang dihilangkan. Dapat dilihat bahwa terdapat empat buah ruas garis yang memiliki panjang yang sama, sehingga dapat ditulisakan $L = 4 \times \frac{1}{3} = \frac{4}{3} = 1 + \frac{1}{3}$. Proses membagi garis menjadi $\frac{1}{3}$ dan menggantikan dengan kaki segitiga ini dilakukan secara berulang di masing-masing $\frac{1}{3}$ ruas garis. Dari proses ini akan diperoleh sebuah deret geometri dengan rasionya adalah $\frac{4}{3}$ dengan suku ke-1 adalah $\frac{1}{3}$. Kegiatan mengkonstruk bangun ini akan membantu siswa memahami sebuah bentuk dari deret geometri dan konsep deret geometri serta menghasilkan sebuah bangun geometri yang baru dan unik.

Dalam mengkonstruksi bangun geometri fraktal bisa mengunakan bantuan *software*. Salah satu software yang mendukung dan mudah dipelajari serta diakses siswa adalah Geogebra. Dengan menggunakan Geogebra, siswa dapat membuat bangun geometri fraktal dengan menggunakan bangun sederhana seperti segitiga sierpinski (dengan bangun sederhana segitiga sama sisi) hanya sampai pada iterasi tertentu. Keterbatasan pada dimensi ini membuat geogebra tidak bisa mensimulasikan dimensi yang sesungguhnya pada geometri fraktal. Sehingga diperlukan software lain yang dapat menvisualisasikan karakteristik fraktal seperti Xaos. *Software* ini dibuat oleh Fractal Foundation untuk dapat melihat bentuk visual pada fraktal. Hasil penggambaran dengan menggunakan kedua *software* ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Segitiga Sierpinski pada Geogebra

a

b

Gambar 5. (a) Segitiga Sierpinski pada Xaos sebelum zoom; (b) Segitiga Sierpinski pada Xaos setelah zoom

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat bahwa aktivitas yang bisa dilakukan hanya pada menggambar geometri fraktal dengan bangun sederhana yaitu segitiga sama sisi dengan iterasi tertentu. Kegiatan yang bisa dilakukan oleh siswa adalah menggambarkan geometri fraktal dengan bangun sederhana seperti segitiga sierpinski. Namun, untuk melihat karakteristik fraktal, siswa bisa diajak untuk mengeksplor bentuk fraktal pada *software* Xaos seperti gambar 5. Dari sini, siswa dapat melihat bentuk dari geometri fraktal dengan cara memperbesar gambar. Lalu, guru dapat memberikan penekanan bahwa geometri yang biasa dijumpai itu berbeda dengan geometri fraktal dan mengenalkan karakteristik geometri fraktal.

Implementasi geometri fraktal dalam pembelajaran memberikan situasi belajar yang baru bagi siswa. Melalui fenomena-fenomena visual yang menarik dan nyata dapat menjadi daya tarik siswa untuk mempelajari materi matematika. Dalam penelitian yang dilakukan (Huda, 2018), ditemukan bahwa pembelajaran menggunakan konsep geometri fraktal meningkatkan minat belajar siswa karena materi yang diberikan tergolong baru, geometri fraktal merupakan sesuatu yang dekat dan tidak pernah terpikirkan untuk mempelarinya. Fenomena nyata ini akan membantu siswa memiliki gambaran nyata dari bentuk geometri yang dipelajari, sehingga siswa akan menggunakan kreativitasnya untuk merealisasikan gambaran nyata yang ada di pikirannya menggunakan karakteristik fraktal yakni *self-similarity*, detail yang tak berhingga, dan rekursif. Mengembangkan suatu model sendiri dari hasil realisasi fenomena nyata akan mendorong kreativitas siswa (Siswono, 2006). Jika ini sering dilakukan, maka kreativitas siswa akan terasah.

Pengenalan karakteristik fraktal dalam pembelajaran matematika, akan menjadi pengetahuan baru bagi siswa serta menjadi bekal bagi siswa untuk mengembangkan bidang kajian lainnya yang menggunakan konsep geometri fraktal. Salah satu bidang yang ditemukan terdapat konsep geometri fraktal adalah seni. Produk bidang seni seperti batik, mengandung konsep fraktal yang dapat dikaji. Kajian fraktal pada batik dapat membantu pengusaha batik modern untuk mendesain motif batik dan hasil motif memiliki kemiripan dengan desain batik tradisional. Sehingga motif batik yang dihasilkan akan memperkaya motif batik. Dalam penelitian yang dilakukan (Romadiastri, 2013), mengatakan bahwa perkembangan pola dengan menggunakan pola fraktal akan turut memperkaya khasanah budaya Indonesia. Selain bidang seni, perkembangan bagi fraktal sendiri dapat terjadi. Hal ini mengingat bahwa fenomena alam atau kejadian yang ditemui dalam kehidupan dapat direpresentasikan menggunakan fraktal. Seturut dengan beragamnya fenomena yang dijumpai akan mempengaruhi berkembangnya konsep fraktal di masa depan.

3. Simpulan

Dari hasil kajian mengenai tinjauan filsafat matematika pada geometri fraktal dan implikasinya pada pembelajaran matematika dapat disimpulkan beberapa hal. 1) Geometri fraktal muncul ketika ditemukan struktur matematika yang tidak sesuai dengan pola Euclid dan newton pada matematika abad 20. Struktur – struktur tersebut dijuluki "*Gallery of monsters"* yang ditemukan oleh beberapa tokoh besar matematika. Dari situ Mandelbrot mencetuskan geometri fraktal yang merupakan geometri alam yang mendeskripsikan pola pada alam yang tidak biasa dan berupa pecahan – pecahan. 2) Terdapat beberapa karakteristik yang membedakan bentuk Euclid dan fraktal yaitu, konsep fraktal modern, tidak ada ukuran spesifik dan tidak terikat skala (*Infinity*), tepat untuk mendeskripsikan bentuk alam, dan merupakan hasil dari algoritma yang berulang (rekursif). 3) Implikasi dalam pembelajaran matematika adalah geometri fraktal perlu dikenalkan melalui pembelajaran matematika sebagai pondasi perkembangan geometri fraktal karena perkembangan terapan geometri fraktal diberbagai bidang berlangsung hingga saat ini. Terapan pembelajaran matematika yang bisa mengenalkan geometri fraktal dapat berupa aktivitas mengkonstruksi suatu bentuk fraktal menggunakan karakteristik fraktal dengan pengetahuan siswa mengenai aljabar, numeris, logika, dan geometri. Kemudian untuk mengilustrasikan bentuknya dengan lebih cermat dapat menggunakan bantuan *software* yang mendukung. Aktivitas mengkonstruksi ini akan mengasah kreativitas siswa apabila sering dilakukan.

Daftar Pustaka

Barnsley, M. F., Devaney, R. L., Peitgent, H.-O., Saupe, D., & Voss, R. F. (1988). *The Science of Fractal Images*. Springer-Verlag.

Berlinghoff, W. P., & Gouvea, F. Q. (2004). *Math Through The Ages: A Gentle History for Teacher and Others*. Oxton House.

Bowers, C. S. (1991). *On Teaching and Learning The Concept of Fractal*. Doctoral Disertation,Concordia University.

Falconer, K. (1990). *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Application*. JOHN WILEY & SONS.

Falconer, K. (2003). FRACTAL GEOMETRY : Mathematical Foundations and Aplications. In *Wiley*. JOHN WILEY & SONS.

Huda, N. T. (2018). *Kajian Aspek Geometri Fraktal Candi Prambanan Dan Pengenalan Dimensi Fraktal Pada Siswa SMA*. Universitas Sanata Dharma.

Mandelbrot, B. B. (1982). *The Fractal Geometry Of Nature*. W. H. FREEMAN AND COMPANY.

Romadiastri, Y. (2013). Batik Fraktal:Perkembangan Aplikasi Geometri Fraktal. *Delta: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, *Vol. 1, No,* 7. https://jurnal.unikal.ac.id/index.php/Delta/article/view/484

Siswono, T. Y. E. (2006). PMRI: Pembelajaran Matematika yang Mengembangkan Penalaran, Kreativitas dan Kepribadian Siswa. In *Makalah Workshop Pembelajaran Matematika di MI "Nurur Rohmah".*