

ESTIMASI PANJANG GARIS PANTAI PULAU SUMBAWA MENGUNAKAN DIMENSI FRAKTAL

Muhammad Adriansyah

(Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Kota Mataram 83116, Indonesia)
muhammadadriansyah712@gmail.com

Rio Satriyantara

(Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Kota Mataram 83116, Indonesia)
riosatriyantara@staff.unram.ac.id*

Afifurrahman

(Tadris Matematika, Universitas Islam Mataram, Kota Mataram 83116, Indonesia)
afif.rahman@uinmataram.ac.id

Marwan

(Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Mataram, Kota Mataram 83116, Indonesia)
marwan.math@unram.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi panjang garis pantai Pulau Sumbawa menggunakan pendekatan geometri fraktal dengan metode Box-Counting. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan kompleksitas dan sifat self-similarity pada bentuk alami seperti garis pantai. Data citra garis pantai diperoleh dari USGS Earth Explorer dan diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS serta Python untuk melakukan deteksi tepi. Perhitungan dilakukan pada beberapa skala peta, yaitu 1:800.000, 1:900.000, dan 1:950.000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai dimensi fraktal garis pantai Pulau Sumbawa relatif stabil antara 1.20882 hingga 1.21245, dengan estimasi panjang garis pantai berkisar antara 1702,79 km hingga 1760,86 km. Nilai kesalahan (error) terkecil sebesar 0,1% diperoleh pada skala 1:800.000, yang dianggap menghasilkan estimasi paling akurat. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan fraktal efektif digunakan untuk mengestimasi panjang garis pantai yang kompleks, serta memberikan pemahaman lebih mendalam terhadap fenomena coastline paradox dalam geomorfologi pesisir

Kata Kunci: Garis Pantai, Dimensi Fraktal, Metode Box-Counting, Pulau Sumbawa, Geometri Fraktal

Abstract

This study aims to estimate the length of the Sumbawa Island coastline using a fractal geometry approach with the Box-Counting method. This method was chosen because it is able to describe the complexity and self-similarity of natural forms such as coastlines. Coastline image data was obtained from USGS Earth Explorer and processed using ArcGIS software and Python to perform edge detection. Calculations were performed at several map scales, namely 1:800,000, 1:900,000, and 1:950,000. The results show that the fractal dimension value of the Sumbawa Island coastline is relatively stable between 1.20882 and 1.21245, with an estimated coastline length ranging from 1702.79 km to 1760.86 km. The smallest error value of 0.1% was obtained at a scale of 1:800,000, which is considered to produce the most accurate estimate. These results indicate that the fractal approach is effective for estimating the length of complex coastlines, and provides a deeper understanding of the coastline paradox phenomenon in coastal geomorphology.

Keywords: Coastline, Fractal Dimension, Box-Counting Method, Sumbawa Island, Fractal geometry

PENDAHULUAN

Secara geografis Indonesia adalah negara yang memiliki luas laut sebanyak dua pertiga dari luas wilayahnya. Perairan Indonesia memiliki luas sebesar 6.315.222 km² (Muhammad Maulana Mahardika Amfa et al., 2017), hal ini juga dikarenakan Indonesia berada pada batas antara samudra Hindia dan Pasifik

yang membuatnya kaya akan kepulauan dan pantai. Pantai ialah wilayah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang air tertinggi dan memiliki surut air terendah yang menjadi batasan antara dan lautan. Provinsi NTB memiliki Luas Daratan Sebesar 49.321,19 km², yang terdiri atas dua pulau yakni Pulau Sumbawa dengan luas ± 15.414,50 km² dengan garis

pantai sepanjang 1.758,80 km dan pulau lombok dengan luas daratan sebesar 4.738,65 km² dengan panjang garis pantai sebesar 514 Km (Ayu et al., 2021).

Garis pantai merupakan titik pertemuan antara daratan dan lautan yang posisinya dapat berubah seiringnya pasang surut air laut dan erosi laut. Garis pantai juga merupakan salah satu fenomena alam yang bisa dikaitkan dengan geometri fraktal. Hubungan geometri fraktal dengan garis pantai adalah karena keduanya memiliki sifat kompleksitas dan kesamaan diri (*self-similarity*). Meskipun dalam konteks yang berbeda, garis pantai dapat dijelaskan sebagai hasil dari kerumitan struktur alami yang timbul dari interaksi antara air dan daratan yang dimana menunjukkan pola yang beragam dalam skala yang berbeda. Ketika dilihat dari jarak jauh garis pantai tampak halus dan sederhana, namun semakin didekati maka semakin berliku-liku polanya. Lekukan-lekukan garis pantai menunjukkan kesamaan satu sama lain yang di mana jika terus dipotong dan diperbesar, pola tersebut akan menyerupai pola kesamaan diri. Pengukuran panjang garis pantai tidaklah mudah karena seiring adanya proses pasang surut air laut, abrasi dan akresi. Fenomena *costline paradoks* yaitu panjang garis pantai yang diperoleh akan berbeda tergantung pada skala dan resolusi pengukuran yang digunakan, Semakin kecil satuan pengukuran, semakin panjang hasil estimasi garis pantai yang didapatkan. Hal ini menunjukkan bahwa garis pantai memiliki sifat yang kompleks, tidak halus, dan sulit diukur dengan metode konvensional. Maka dilakukan perhitungan dengan geometri fraktal.

Pengukuran panjang garis pantai tidaklah sederhana karena dipengaruhi oleh proses pasang surut, abrasi, dan perbedaan resolusi pengukuran. Hal ini berkaitan dengan fenomena *coastline paradox*, yaitu perbedaan panjang garis pantai yang diperoleh bergantung pada skala atau resolusi pengukuran yang digunakan. Semakin kecil satuan pengukuran, semakin panjang estimasi garis pantai yang dihasilkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa garis pantai bersifat kompleks, tidak halus, dan sulit ditentukan dengan metode konvensional. Oleh karena itu, pendekatan geometri fraktal digunakan sebagai alternatif untuk memperoleh estimasi panjang garis pantai yang lebih representatif.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa garis pantai merupakan fenomena alam yang kompleks dan sulit diukur dengan metode konvensional karena dipengaruhi oleh dinamika pasang surut, abrasi, dan akresi. Oleh sebab itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu

merepresentasikan karakteristik ketidakteraturan dan kesamaan diri garis pantai, salah satunya melalui konsep geometri fraktal. Pendekatan ini tidak hanya memberikan estimasi panjang garis pantai yang lebih objektif, tetapi juga menjelaskan fenomena *coastline paradox* yang muncul akibat perbedaan skala pengukuran. Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada penerapan metode fraktal dalam menghitung panjang garis pantai, menafsirkan hasil yang diperoleh, serta mengaitkannya dengan teori yang telah ada sehingga pembahasan dapat menjawab rumusan masalah sekaligus memperkuat pemahaman mengenai karakteristik geomorfologi pesisir.

Dimensi Fraktal adalah salah satu aspek penting yang telah di aplikasikan ke berbagai bidang pengetahuan sejak tahun 1920 (Lim et al., 2022). Dimensi fraktal menyediakan sarana yang objektif sehingga bisa membandingkan fraktal. Definisi dimensi fraktal juga dapat di definisikan sebagai alat ukur untuk menilai tingkat kompleksitas suatu pola fraktal. Nilai ini berfungsi sebagai pembanding yang menggambarkan sejauh mana bentuk atau pola fraktal tersebut memuat objek berdasarkan pengukuran pada skala tertentu (Barnsley, 1993).

KAJIAN TEORI

Geometri Fraktal adalah pengembangan dari geometri tradisional. Geometri fraktal dapat dimanfaatkan untuk merancang model struktur fisik yang akurat. Dalam geometri fraktal, terlihat struktur subhimpunan dari berbagai ruang geometris yang sangat sederhana, dilambangkan dengan X . Ruang ini merupakan lokasi di mana fraktal digambar, sehingga fraktal hanya merupakan bagian dari ruang tersebut. Meski ruangnya sederhana, himpunan bagian fraktal dapat menunjukkan kompleksitas geometris yang rumit (Barnsley, 1993).

Terdapat sejumlah angka yang berhubungan dengan fraktal yang dapat dimanfaatkan untuk perbandingan, biasanya dikenal sebagai dimensi fraktal. Dipakai untuk menilai sejauh mana fraktal memenuhi ruang metrik yang ada. Dimensi fraktal menawarkan cara yang objektif untuk membandingkan fraktal (Barnsley, 1993). Berikut diberikan definisi mengenai dimensi fraktal.

Definisi 1 (Barnsley, 1993).

Misalkan $A \in \mathcal{H}(X)$ dengan (X, d) adalah ruang metrik lengkap. Untuk setiap $\varepsilon > 0$ misalkan $\mathcal{N}(A, \varepsilon)$ menyatakan jumlah bola tertutup terkecil dengan jari-jari $\varepsilon > 0$ yang diperlukan untuk menutup A . Jika

$$D(A) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left\{ \frac{\ln(N(A, \varepsilon))}{\ln \frac{1}{\varepsilon}} \right\}$$

Maka D disebut dimensi fraktal dari A . dapat juga digunakan notasi $D = D(A)$ dan dikatakan " A memiliki dimensi fraktal D " (Barnsley, 1993).

METODE

Karakteristik lain dari fraktal adalah dimensinya, yang dikenal sebagai dimensi fraktal. Dimensi Fraktal sangat berbeda dari dimensi dalam geometri Euclid yang selalu berupa bilangan bulat. Objek-objek fraktal dapat memiliki dimensi pecahan. Metode yang sering digunakan untuk menghitung dimensi dari objek fraktal adalah metode *Box Counting* (Juniati & Amin, 2017). Algoritma dari *Box Counting* telah banyak digunakan karena algoritmanya yang sederhana dan dapat diterapkan pada objek-objek kompleks, seperti citra (Juniati & Amin, 2017).

Teorema 1 (Barnsley, 1993).

Jika $S \in \mathcal{H}(\mathbb{R}^m)$ dengan metrik *Euclidan* di \mathbb{R}^m . Tutupi \mathbb{R}^m dengan kotak persegi yang tertutup yang mempunyai panjang $\left(\frac{1}{2^n}\right)$. Jika $N_n(S)$ menotasikan jumlah kotak dari panjang sisi $\left(\frac{1}{2^n}\right)$ yang beririsan dengan atraktor A , jika

$$D(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\ln(N_n(S))}{\ln(2^n)} \right\}$$

Maka A mempunyai dimensi fraktal D (Barnsley, 1993).

Bentuk lain dari **Teorema 1**. sekaligus langkah langkah metode *Box-Counting* adalah sebagai berikut

- a. Citra yang dianalisis akan dibagi menjadi persegi empat sebagai kotak dengan panjang sisi s (cm).
- b. Gambar fraktal ditutupi dengan kotak tersebut, kotak yang menutupi Gambar akan dihitung sebagai $N(s)$.
- c. Menghitung besarnya dimensi D dengan persamaan berikut (Iman et al., 2018).

$$D(s) = \frac{\log N(s)}{\log \frac{1}{s}}$$

Perhitungan Panjang Garis Pantai

Sepasang pembagi dengan panjang s akan menutupi sepanjang kurva sampai akhir, jumlah pembagi yang diperlukan untuk menutupi kurva disebut $N(s)$. Panjang kurva dihitung dengan $L(s) = s \cdot N(s)$. Jika ε besar metode ini mengabaikan detail kecil pada kurva dan jumlah $N(s)$ semakin

menurun. Namun, semakin kecil ε semakin banyak detail yang dimasukkan dan jumlah $N(s)$ semakin meningkat, sehingga panjang total kurva menjadi lebih meningkat menunjukkan adanya hubungan potensial antara kedua variabel tersebut, sehingga diperoleh $L = N(s) \times s^D$ (Husain et al., 2021).

Setelah mendapatkan nilai dimensi fraktal, langkah selanjutnya adalah menerapkannya secara langsung untuk menghitung panjang garis pantai dengan rumus (Fransiska et al., 2020).

$$L = s^D \cdot N(s)$$

Keterangan :

L : Panjang garis pantai.

$N(s)$: Jumlah kota yang menutupi gambar.

s : Panjang sisi (cm) kotak.

D : Nilai dimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Garis Pantai Sebagai Benda Fraktal

Objek Fraktal adalah model matematika yang memiliki bentuk tidak beraturan, seperti patah patah, bergerigi, atau bergelombang. Beberapa bentuk, seperti garis pantai, bahkan jauh lebih kasar dan rumit. Untuk mengukur seberapa kasar atau kompleks suatu bentuk fraktal, kita menggunakan dimensi fraktal. Semakin besar nilai dimensi fraktalnya, semakin tinggi tingkat kekasaran dan kerumitan dari bentuk tersebut.

Dalam penelitian ini, kita menganalisis garis pantai sebagai ruang fraktal. Ruang ini dibangun dengan menggunakan jarak standar yang kita kenal dalam geometri, yaitu jarak Euclidean. Ini berarti setiap bagian dari garis pantai yang kita teliti dianggap sebagai anggota dari ruang fraktal, dan kita akan menerapkan semua aturan matematika yang berlaku untuknya. Hal ini mungkin karena garis pantai, seperti fraktal murni dalam matematika, memiliki karakteristik yang mirip, keduanya memiliki pola yang berulang dan struktur yang terdiri dari serangkaian kurva.

Pada skala tertentu terdapat kemiripan antara objek fraktal murni dalam matematika dengan objek fraktal alami seperti garis pantai. Kemiripan tersebut

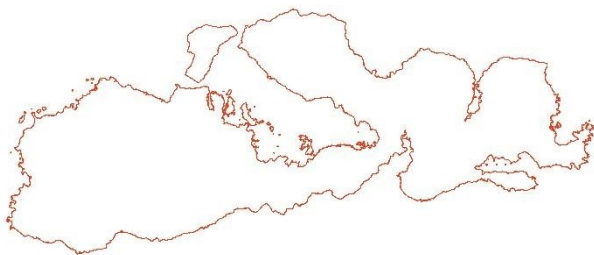
yaitu adanya pengulangan pola dan struktur pola yang tersusun dari rangkaian kurva.

B. Dimensi Fraktal Garis Pantai Pulau Sumbawa

Proses pertama perhitungan panjang garis pantai pulau sumbawa ialah mendapatkan data citra garis pantai pulau bali untuk ditentukan nilai dimensi dari garis pantai pulau sumbawa, pengambilan garis pantai pulau sumbawa diperoleh dari situs <https://earthexplorer.usgs.gov>. Kemudian objek citra pulau sumbawa di edit terlebih dahulu di *arcgis* dan hanya mengambil Line (garis pantai) yang kemudian akan di proses melalui detektsi tepi menggunakan Python.



Gambar 1. Citra Landsat Pulau Sumbawa

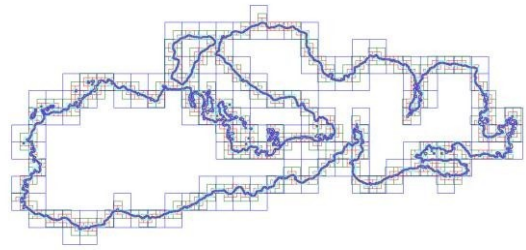


Gambar 2. Citra Landsat Pulau Sumbawa Setelah di Olah Menggunakan ArcGis.

Adapun perhitungan skala pengukuran yang berbeda-beda di antaranya yaitu skala 1:800.000, 1:900.000, 1:950.000, artinya 1 cm pada gambar (peta) menyatakan 800.000 cm dalam keadaan sebenarnya. Berikut ini adalah pembahasan untuk masing-masing skala garis pantai pulau sumbawa.

1. Skala 1: 950.000

Citra landsat Pulau Sumbawa yang sudah diolah akan dilakukan proses deteksi tepi dengan menggunakan software *Python*, kemudian setelah diperoleh hasil deteksi tepi maka akan dilakukan proses *Box-Counting*. Berikut adalah hasil proses metode *Box-Counting*.



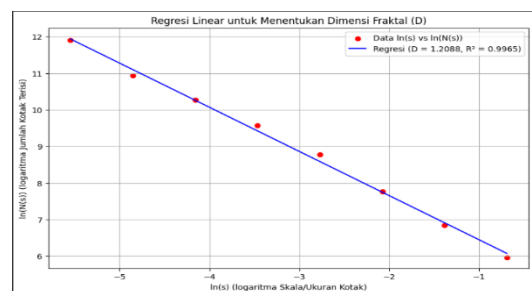
Gambar 3. Hasil Deteksi Tepi Pada Skala 1: 950.000

Gambar 3 merupakan proses pemberian kotak dengan ukuran kotak tiap warna berbeda beda yang dimana ditandai dengan ukurannya yang berbeda beda. Hasil perhitungan banyaknya kotak pada garis pantai pulau sumbawa ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Perolehan Jumlah Heksagon N(s) untuk Beberapa Ukuran Kotak s pada Skala 1:950.000

Ukuran Kotak S (Cm)	Banyaknya Kotak N (S)	Ln (S)	Ln N(n(s))
1	155	0.0	5.0434
0.5	389	-0.6931	5.9636
0.25	932	-1.3863	6.8373
0.125	2372	-2.0794	7.7715
0.0625	6519	-2.7726	8.7825
0.03125	14336	-3.4657	9.5705
0.015625	28787	-4.1589	10.2677
0.0078125	56446	-4.8520	10.9410
0.00390625	147960	-5.5452	11.9047

Dengan data dari $\ln(s)$ dan $\ln(N(s))$ jika diplot $\ln(s)$ pada sumbu x dan $\ln(N(s))$ pada sumbu y, akan didapatkan grafik yang membantu menentukan dimensi fraktal dari objek yang diukur. Kemiringan dari garis tersebut bisa digunakan untuk menghitung dimensi fraktal. Berikut adalah kemiringan kurva untuk dimensi garis pantai Pulau Sumbawa untuk skala 1:950.000.



Gambar 4. Kurva Regresi Linear Untuk Skala 1:950.000.

Perhitungan Panjang Garis Pantai

Setelah mendapatkan nilai dimensi fraktal, langkah selanjutnya adalah menerapkannya secara langsung untuk menghitung panjang garis pantai dengan rumus (Fransiska et al., 2020)

$$L = s^D \cdot N(s) \tag{1}$$

Nilai dimensi dari garis pantai pulau lombok

untuk skala 1:700.000 adalah 1.20882 sehingga estimasi panjang garis pantai Pulau Lombok untuk skala 1:950.00 yaitu :

$$L = s^D \cdot N(s)$$

$$L = 0.00390625^{1.20882} \cdot 147960$$

$$L = 1724,8 \text{ km}$$

Penentuan Error Absolute

$$\text{Error \%} = \left(\frac{\text{Jarak Estimasi} - \text{Jarak Asli}}{\text{Jarak Asli}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = \left(\frac{(1724,8 - 1758,80)}{1758,80} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = \left(\frac{(-34)}{1758,80} \right) \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 1,9\%$$

Sehingga nilai error untuk estimasi panjang garis pantai Pulau Lombok untuk skala 1:950.000 adalah 1,9%. Berikut ini adalah nilai dimensi dan error pada skala yang berbeda-beda dan hasil perolehan estimasi panjang garis pantai Pulau Sumbawa untuk skala yang berbeda-beda

Tabel 2. Hasil Estimasi Pada skala 1:800.000, 1:900.000, dan 1:950.000

No	Skala	Dimensi	Panjang garis pantai (km)	Error %
1	800.000	1.20895	1760.86	0.1
2	900.000	1.21245	1702.79	3.1
3	950.000	1.20882	1724.80	1.9

PENUTUP

Berikut akan diberikan kesimpulan serta saran pada penelitian ini.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan panjang garis pantai pada berbagai skala peta, diperoleh bahwa nilai dimensi fraktal garis pantai relatif stabil, yaitu berkisar antara 1.20882 hingga 1.21245. Hal ini menunjukkan bahwa kompleksitas bentuk garis pantai tidak banyak berubah meskipun terjadi variasi skala peta. Panjang garis pantai yang diperoleh juga menunjukkan perbedaan relatif kecil, dengan nilai error yang berkisar antara 0.1% hingga 3.1%, di mana skala 1:800.000 menghasilkan nilai panjang garis pantai paling mendekati nilai sebenarnya dengan error terkecil. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa skala 1:800.000 memberikan hasil pengukuran paling akurat dalam estimasi panjang garis pantai, sedangkan perbedaan skala hanya memberikan pengaruh kecil terhadap nilai dimensi fraktal secara keseluruhan.

SARAN

Saran pada penelitian ini adalah mencoba pendekatan poligon poligon yang lain selain box supaya menghasilkan suatu hasil estimasi yang bagus.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, M. A., & Juniati, D. (2017). Klasifikasi Kelompok Umur Manusia Berdasarkan Analisis Dimensi Fraktal Box Counting Dari Citra Wajah Dengan Deteksi Tepi Canny. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 2(6),33-42.

Ayu, I. W., Usman, U., Edrial, E., & Soemarno, S. (2021). Identifikasi masalah dan model pengelolaan wilayah pesisir Desa Labuhan Sumbawa, Kecamatan Labuhan Badas, Sumbawa. *Journal of Aquaculture Science*, 6 (Special Issue), 77-89. <https://doi.org/10.31093/joas.v6i1IS.160>

Barnsley, M. F. (1993). *Fractals Everywhere Second Edition*. San Diego: Academic Press.

Fransiskaa, B., Nurhasanah, & Adriat, R. (2020). Perhitungan Panjang Garis Pantai Kota Singkawang Menggunakan Dimensi Fraktal. *PRISMA FISIKA*, 8(3), 216-220.

- Husain, A., Reddy, J., Bisht, D., & Sajid, M. (2021). Fractal dimension of coastline of Australia. *scientific reports*, 11(6304), 1-10.
- Iman, Nurhasanah, & Sampurno, J. (2018). Analisis Fraktal Untuk Identifikasi Kadar Gula Rambut dengan Metode Box-Counting. *Prisma Fisika*, VI(2), 57-60.
- Lim, M., Napitupulu, H., & Kartiwa, A. (2022). Implementasi Modifikasi Algoritma BoxCounting Dimension Pada Perhitungan Dimensi Fraktal Garis Pantai Australia Dengan Python. *SisInfo*, 4(2), 71-77.
- Mahardika Amfa, M. M., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis pengaruh perubahan garis pantai terhadap batas pengelolaan wilayah laut Provinsi Jawa Timur dan Provinsi Bali di Selat Bali. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 342-350.
- Widodo. (2021). *Geometri Fraktal*. D.I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.