

EVALUASI KUALITAS DATA BATIMETRI BATNAS DAN ETOPO DI WILAYAH SELATAN PANGANDARAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN STATISTIK HUKUM BENFORD

ASSESSING THE QUALITY OF BATHYMETRIC DATA OF BATNAS AND ETOPO IN SOUTHERN PANGANDARAN REGION USING BENFORD'S STATISTICAL LAW

Chiquita Laila Mahfud, Ulil Azmi, & Mirda Prisma Wijayanto

Departement of Phsyics, Faculty of Mathematics and Natural Sicences, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia

e-mail : chiquitalaila155@gmail.com

Diterima tanggal: 04 Juli 2025 ; diterima setelah perbaikan: 20 September 2025 ; Disetujui tanggal: 20 September 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian distribusi angka dalam data batimetri dari dua sumber utama, yaitu BATNAS dan ETOPO, terhadap pola distribusi Hukum Benford. Analisis dilakukan terhadap digit pertama dan digit kedua dari masing-masing dataset menggunakan uji statistik Z dan *Mean Absolute Deviation* (MAD). Hasil menunjukkan bahwa baik data BATNAS maupun ETOPO belum sepenuhnya mengikuti pola distribusi logaritmik alami. Nilai MAD digit pertama untuk data BATNAS sebesar 0,0573, sedangkan ETOPO sebesar 0,0558, yang keduanya berada di atas ambang batas 0,015 dan masuk dalam kategori tidak sesuai dengan Hukum Benford. Untuk digit kedua, nilai MAD BATNAS sebesar 0,0323 dan ETOPO sebesar 0,0169, yang juga melebihi ambang batas 0,012. Namun, secara relatif data ETOPO menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih baik dibandingkan BATNAS, ditandai oleh nilai MAD yang lebih rendah pada kedua digit. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan Hukum Benford dapat menjadi alat validasi numerik awal dalam memilih dataset yang lebih andal untuk kebutuhan pemodelan oseanografi, khususnya di wilayah pesisir selatan Pangandaran yang rawan terhadap bencana oseanografi.

Kata kunci: Batimetri, BATNAS, ETOPO, Hukum Benford.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the suitability of the number distribution in bathymetry data from two main sources, namely BATNAS and ETOPO, to the Benford's Law distribution pattern. The first digit and second digit of each dataset were analyzed using the Z statistical test and Mean Absolute Deviation (MAD). The results show that both BATNAS and ETOPO data have not fully followed the natural logarithmic distribution pattern. The first digit MAD value for BATNAS data is 0.0573, while ETOPO is 0.0558, both of which are above the 0.015 threshold and fall into the category of not conforming to Benford's Law. For the second digit, the MAD value of BATNAS is 0.0323 and ETOPO is 0.0169, which also exceeds the threshold of 0.012. However, in relative terms, the ETOPO data shows a better level of conformity than BATNAS, characterized by lower MAD values in both digits. These findings suggest that the application of Benford's Law can be an initial numerical validation tool in selecting a more reliable dataset for oceanographic modeling needs, particularly in

the southern coastal region of Pangandaran that is prone to oceanographic disasters.

Keywords: Bathymetry, BATNAS, ETOPO, Benford's Law.

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki kondisi dan karakter geografis perairan yang sangat luas (Hermawan & Sutanto, 2022). Menurut data dari Badan Informasi Geospasial, luas wilayah daratannya mencapai sekitar 1,9 juta km², sedangkan wilayah perairannya mencapai 3,2 juta km² (Hasanah, 2020). Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau yang membentang di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, serta posisinya yang berada pada pertemuan Benua Asia dan Australia (Alifa & Zahidi, 2024). Letaknya yang strategis ini menjadikan wilayah perairan Indonesia menjadi salah satu jalur perdagangan dunia, sekaligus wilayah yang kompleks secara oseanografis (Suwarno *et al.*, 2021). Kompleksitas tersebut tercermin dari berbagai faktor seperti arus laut, suhu, salinitas, hingga topografi dasar laut yang sangat bervariasi (Ramadhan *et al.*, 2023).

Berdasarkan lokasi geografis Indonesia ini, pemahaman dan pengelolaan wilayah laut sangat penting untuk dipelajari. Elemen dasar mengenai pemahaman dan pengelolaan wilayah laut yang penting adalah batimetri (Liuw *et al.*, 2024). Batimetri merupakan studi mengenai topografi dasar laut (Badrutamam *et al.*, 2020). Data batimetri memiliki peran penting karena digunakan dalam berbagai aplikasi seperti oseanografi, hidrografi, pemetaan laut, serta perencanaan kegiatan pesisir dan kelautan. Beberapa penggunaan data batimetri seperti simulasi pergerakan arus dan gelombang (Batam *et al.*, 2024), penentuan kabel bawah laut (Badrutamam *et al.*, 2020), identifikasi habitat laut (Santoso *et al.*, 2024), penentuan wilayah rawan bencana seperti banjir rob dan tsunami

(Kamal *et al.*, 2023). Berdasarkan pentingnya data batimetri tersebut, akurasi dan kualitas batimetri sangat penting sehingga hasil analisis dan keputusan untuk bidang kelautan dan perencanaan wilayah pesisir menjadi tepat.

Salah satu wilayah pesisir yang penting untuk dikaji yaitu kawasan Pantai Selatan Jawa, khususnya wilayah Pangandaran. Pantai Pangandaran menjadi salah satu pantai yang ada di selatan Pulau Jawa yang berada pada zona tumbukan (subduksi) antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia (Firdaus *et al.*, 2023). Kondisi tektonik tersebut menyebabkan Pantai Pangandaran rawan akan terjadinya gempa bumi dan tsunami (Mahfudz *et al.*, 2024). Berdasarkan kondisi ini, Pangandaran menjadi lokasi yang strategis dan rawan terhadap bencana oseanografi seperti tsunami, sehingga studi mengenai batimetri di wilayah ini sangat penting dilakukan.

Dalam penelitian terdahulu, pemodelan oseanografi umumnya menggunakan data batimetri yang bersumber dari BATNAS (Benazir *et al.*, 2022; Narulita *et al.*, 2023; Uyun *et al.*, 2024) dan ETOPO (Laksono *et al.*, 2020; Noya *et al.*, 2023; Pratama, 2020). BATNAS adalah data batimetri yang dikembangkan oleh BIG (Badan Informasi Geospasial). Dataset ini disusun berdasarkan gabungan berbagai sumber data survei dalam negeri, termasuk hasil survei hidrologi dan peta laut yang dimiliki oleh instansi nasional. BATNAS memiliki fokus utama pada wilayah perairan Indonesia dengan resolusi tinggi, umumnya hingga 6 detik busur (*arc second*), dan dianggap representatif untuk studi skala lokal maupun regional di wilayah Indonesia. Sementara itu, ETOPO adalah data topografi dan batimetri global yang dikembangkan oleh

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Dataset ini mencakup seluruh permukaan Bumi, baik daratan maupun lautan dan disusun dari penggabungan berbagai data pengukuran global. ETOPO memiliki resolusi spasial 1 menit busur (*arc-minute*) atau sekitar 1,8 km dan lebih sering digunakan untuk analisis skala global atau lintas negara. Namun, hingga kini masih terdapat perbedaan signifikan antara kedua sumber tersebut, baik dari segi resolusi spasial maupun metode perolehan datanya, sehingga menimbulkan pertanyaan mengenai keabsahan dan keandalan data yang digunakan dalam analisis tersebut.

Berdasarkan permasalahan mengenai perbedaan ketepatan kedua sumber data batimetri dari BATNAS dan ETOPO, perlu adanya analisis distribusi persebaran data secara statistik. Salah satu alat statistik untuk menganalisis pola distribusi data numerik yaitu teori Benford. Teori Benford merupakan metode yang dapat membedah persebaran data tidak normal dari sekumpulan data (Sharif & Jaaman, 2023). Hukum Benford telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang ilmu untuk menganalisis pola distribusi angka awal dari data numerik. Dalam konteks geospasial, sejumlah studi menunjukkan bahwa hukum ini relevan untuk menganalisis data kedalaman gempa bumi dan struktur geomagnetik (Sambridge *et al.*, 2010), karakteristik numerik pada data spasial Open Street Map (Mocnik, 2021), data geoteknik (Alipour & Alipour, 2019), dan distribusi jarak sosio-geografis antarkota yang mencerminkan keteraturan spasial alami (Kopczewska & Kopczewski, 2022). Proses pengujian Hukum Benford dilakukan dengan memisahkan digit tertentu dalam sekumpulan data atau angka. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan menganalisis distribusi digit pertama dari data Batimetri BATNAS dan ETOPO di wilayah Pangandaran. Perhitungan nilai kesesuaian distribusi data batimetri dengan teori Benford diuji dengan uji statistik seperti uji Z statistik dan *Mean*

Absolute Deviation (MAD).

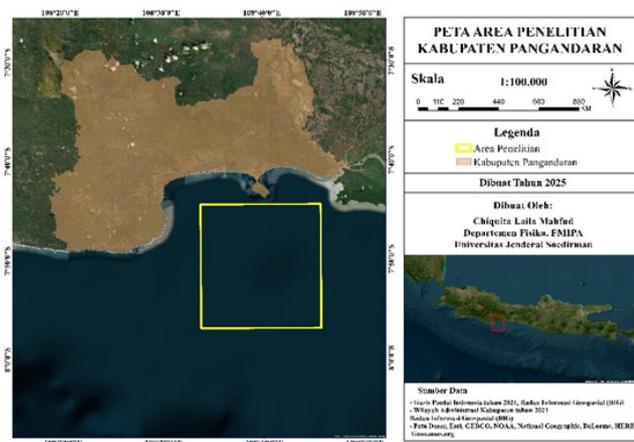
Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan metode evaluasi yang dapat menilai kewajaran dan validitas data batimetri secara statistik. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah analisis menggunakan distribusi Benford. Distribusi ini menyatakan bahwa dalam sekumpulan data numerik yang wajar, angka pertama dari data tersebut cenderung mengikuti pola tertentu. Metode ini telah banyak digunakan untuk mendeteksi anomali atau ketidakwajaran data pada berbagai bidang, termasuk keuangan, geofisika, dan data ilmiah lainnya. Dalam konteks ini, distribusi Benford diterapkan untuk menganalisis apakah data batimetri dari BATNAS dan ETOPO mengikuti pola distribusi angka pertama yang wajar. Dengan demikian, analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kualitas dan kepercayaan terhadap data batimetri yang digunakan, khususnya dalam kajian oseanografi di wilayah Pangandaran. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kualitas dan kepercayaan terhadap data batimetri yang digunakan, khususnya dalam kajian oseanografi di wilayah Pangandaran.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yang terdiri dari penentuan wilayah penelitian, proses pengumpulan data, pengolahan data, dan uji statistik menggunakan pendekatan Hukum Benford.

Penentuan Wilayah Penelitian

Wilayah yang menjadi fokus penelitian adalah perairan Selatan Pangandaran, Provinsi Jawa Barat. Wilayah ini dipilih karena merupakan bagian dari zona subduksi aktif, yang ditandai dengan gradien batimetri yang curam dan beragam. Koordinat area yang digunakan berkisar antara $7^{\circ}44'25.55''$ - $7^{\circ}56'55.37''$ LS dan $108^{\circ}33'48.03''$ - $108^{\circ}45'43.60''$ BT.



Gambar 1. Area Penelitian.
Figure 1. Research Area.

sumber : hasil simulasi

Data yang digunakan berasal dari dua sumber, yaitu BATNAS (Peta Batimetri Nasional) yang disediakan oleh BIG (Badan Informasi Geospasial) dengan resolusi 6 arc-second (kurang lebih 180 meter) dan jumlah data sebanyak 14.865 data. Data batimetri lainnya diperoleh dari ETOPO yang merupakan dataset global dari NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dengan resolusi 15 arc-second (sekitar 463 meter) serta data yang digunakan sebanyak 2400 data. Data batimetri yang diperoleh dari BATNAS maupun ETOPO tersedia dalam format raster Geotiff. Data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak Global

Sumber Data : Peta Batimetri Nasional (BATNAS)				Sumber Data : ETOPO			
	A	B	C		A	B	C
	Longitude	Latitude	Elevasi		Longitude	Latitude	Elevasi
1	108.5641532	-7.74110158	-45.154	1	108.565403	-7.74235158	-103.349
2	108.5641532	-7.742768246	-46.321	2	108.565403	-7.746518246	-112.087
3	108.5641532	-7.744434913	-48.314	3	108.565403	-7.750684913	-122.161
4	108.5641532	-7.74610158	-50.153	4	108.565403	-7.75485158	-131.373
5	108.5641532	-7.747768246	-51.314	5	108.565403	-7.759018246	-139.979
6	108.5641532	-7.749434913	-53.314	6	108.565403	-7.763184913	-147.388
7	108.5641532	-7.75110158	-55.314	7	108.565403	-7.76735158	-154.322
8	108.5641532	-7.752768246	-57.314	8	108.565403	-7.771518246	-160.657
9	108.5641532	-7.754434913	-59.314	9	108.565403	-7.775684913	-166.526
10	108.5641532	-7.75610158	-61.314	10	108.565403	-7.77985158	-172.994
11	108.5641532	-7.757768246	-63.314	11	108.565403	-7.784018246	-178.599
12	108.5641532	-7.759434913	-65.314	12	108.565403	-7.788184913	-183.599
13	108.5641532	-7.76110158	-67.473	13	108.565403	-7.79235158	-187.271
14	108.5641532	-7.762768246	-70.306	14	108.565403	-7.796518246	-189.606
15	108.5641532	-7.764434913	-72.306	15	108.565403	-7.800684913	-190.277
16	108.5641532	-7.76610158	-74.146	16	108.565403	-7.80485158	-189.613
17	108.5641532	-7.767768246	-75.314	17	108.565403	-7.809018246	-186.751
18	108.5641532	-7.769434913	-77.313	18	108.565403	-7.813184913	-183.481

Gambar 2 Sampel Data Batimetri dari : (a) BATNAS; (b) ETOPO
Figure 2 Sample Bathymetry Data from: (a) BATNAS; (b) ETOPO

Sumber: (a) Badan Informasi Geospasial; (b) NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

Mapper, kemudian dikonversi ke dalam format titik (*point data*) yang merepresentasikan nilai kedalaman pada setiap koordinat. Hasil konversi tersebut disimpan dalam format teks (.TXT).

Pengolahan Data

Setelah disimpan dalam format teks (.TXT), file diimpor ke dalam perangkat lunak Microsoft Excel. Hukum Benford hanya berlaku pada data numerik positif yang tidak terbatas secara buatan, maka perlu dilakukan konversi nilai batimetri dari bilangan negatif menjadi bilangan positif (absolut). Tahap berikutnya adalah melakukan uji digit pertama dari setiap nilai batimetri. Uji ini bertujuan untuk menganalisis distribusi frekuensi digit pertama atau angka terdepan dari nilai numerik dalam data. Setiap nilai batimetri yang dianalisis harus memiliki digit pertama yang tidak sama dengan nol. Setelah digit pertama dari setiap data batimetri diekstraksi, frekuensi kemunculannya dihitung dan dibandingkan dengan distribusi teoritis yang dijelaskan oleh Hukum Benford. Merujuk pada (Nigrini, 2012), probabilitas kemunculan digit pertama d_1 dihitung menggunakan persamaan 1.

$$P(D_1 = d_1) = \log_{10} \left(1 + \frac{1}{d_1} \right) \dots\dots\dots 1)$$

untuk $d_1 = 1, 2, 3, \dots, 9$
Dimana $P(D_1=d_1)$ menyatakan peluang munculnya angka d_1 sebagai digit pertama.

Selanjutnya, dilakukan analisis digit kedua untuk melengkapi uji terhadap struktur numerik data. Uji ini bertujuan untuk melihat pola distribusi digit kedua juga mendekati pola distribusi logaritmik sebagaimana dijelaskan oleh Hukum Benford. Digit kedua mencakup angka dari 0 hingga 9. Merujuk pada (Nigrini, 2012), probabilitas teoritis untuk digit kedua dihitung menggunakan persamaan 2.

$$P(D_2 = d_2) = \sum_{d_1=1}^9 \log_{10} \left(1 + \frac{1}{10 \cdot d_1 + d_2} \right) \dots\dots\dots 2)$$

$P(D_2=d_2)$ menunjukkan peluang munculnya angka d_2 sebagai digit kedua.

Meskipun perhitungan secara langsung dapat dilakukan, tabel empiris seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 sering digunakan sebagai acuan.

Pengujian Statistik

Setelah diperoleh distribusi frekuensi digit pertama dari data batimetri, dilakukan pengujian statistik untuk menilai tingkat kesesuaian distribusi aktual dengan distribusi teoritis yang dijelaskan oleh Hukum Benford. Terdapat tiga jenis pengujian statistik yang digunakan yaitu uji Z statistik dan *Mean Absolute Deviation* (MAD).

Uji Z Statistik (Z-Test)

Uji Z digunakan untuk mengukur signifikansi perbedaan antara probabilitas digit yang teramati dengan probabilitas teoritis menurut Hukum Benford. Uji ini dilakukan untuk setiap digit secara individual. Persamaan yang digunakan adalah Persamaan 3.

$$Z = \frac{|AP - EP| - \frac{1}{2N}}{\sqrt{\frac{EP(1-EP)}{N}}} \dots\dots\dots 3)$$

Dengan Z adalah nilai statistik Z, AP adalah nilai probabilitas digit yang teramati, EP adalah nilai probabilitas teoritis menurut

Tabel 1. Probabilitas Teoritis Menurut Hukum Benford

Table 1. Theoretical Probability Values According to Benford's Statistical Law

Digit	1st	2nd	3rd	4th
0		0.11968	0.10178	0.10018
1	0.30103	0.11389	0.10138	0.10014
2	0.17609	0.10882	0.10097	0.10010
3	0.12494	0.10433	0.10057	0.10006
4	0.09691	0.10031	0.10018	0.10002
5	0.07918	0.09668	0.09979	0.09998
6	0.06695	0.09337	0.09940	0.09994
7	0.05799	0.09035	0.09902	0.09990
8	0.05115	0.08757	0.09864	0.09986
9	0.04576	0.08500	0.09827	0.09982

Sumber: Nigrini, 2012

Hukum Benford, dan N merupakan jumlah total data. Nilai Z yang tinggi menunjukkan adanya deviasi signifikan antara distribusi aktual dan distribusi teoritis.

Mean Absolute Deviation (MAD)

MAD digunakan untuk mengukur tingkat penyimpangan rata-rata antara probabilitas aktual dan probabilitas teoritis. Uji ini sering dianggap lebih stabil untuk mendeteksi penyimpangan distribusi digit dalam data besar (Persamaan 4).

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^K |AP - EP|}{K} \dots\dots\dots 4)$$

MAD merupakan nilai rata-rata penyimpangan absolut.

Penilaian sejauh mana hasil analisis digit sesuai dengan Hukum Benford dilakukan dengan menggunakan pedoman interpretasi berdasarkan nilai MAD. Batasan kategori kesesuaian untuk digit pertama dan digit kedua ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Nilai Kritis dan Kesimpulan untuk Berbagai Nilai MAD
Table 2 Critical Values and Conclusions for Various MAD Values

Digit	Nilai	Kesimpulan
Digit Pertama	0.000 s/d 0.006	Sangat mirip dengan Benford's Law
	0.006 s/d 0.012	Mirip dengan Benford's Law
	0.012 s/d 0.015	Agak mirip dengan Benford's Law
	Di atas 0.015	Tidak mirip dengan Benford's Law
Digit Kedua	0.000 s/d 0.008	Sangat mirip dengan Benford's Law
	0.008 s/d 0.010	Mirip dengan Benford's Law
	0.010 s/d 0.012	Agak mirip dengan Benford's Law
	Di atas 0.012	Tidak mirip dengan Benford's Law

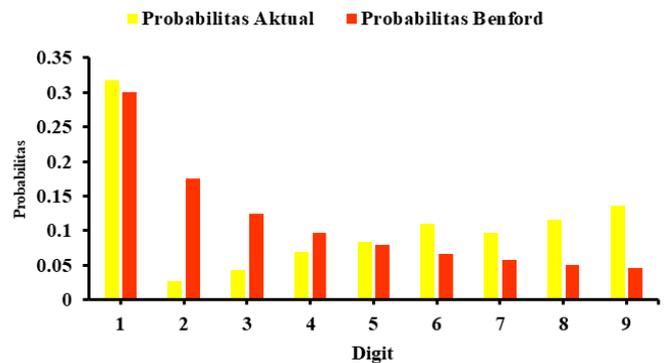
Nigrini, 2012

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan analisis terhadap distribusi digit dari data batimetri dari sumber BATNAS dan ETOPO. Analisis dilakukan untuk mengukur tingkat kesesuaian masing-masing data terhadap pola distribusi yang dijelaskan oleh Hukum Benford. Hasil yang lebih rinci diperoleh dengan mengklasifikasikan data berdasarkan digit pertama dan kedua, sehingga distribusi angka dapat dibandingkan dari segi digit terdepan maupun struktur digit berikutnya dalam data batimetri. Probabilitas aktual dari masing-masing digit, kemudian dibandingkan dengan nilai teoritis menggunakan uji statistik, yaitu uji Z statistik dan MAD (*Mean Absolute Deviation*). Melalui pendekatan ini diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih mendalam mengenai konsistensi dan keandalan masing-masing data dalam merepresentasikan bentuk permukaan dasar laut, serta kemungkinan adanya penyimpangan numerik yang perlu dicermati lebih lanjut.

Analisis Digit Pertama

Analisis digit pertama dilakukan untuk mengamati pola distribusi angka terdepan dari setiap nilai batimetri. Menurut Hukum Benford, angka 1 diharapkan muncul paling sering, diikuti oleh angka 2 hingga 9 dengan frekuensi yang semakin menurun secara logaritmik. Hasil perhitungan dan uji statistik



Gambar 3. Grafik Perbandingan Digit Pertama Data Batimetri dari BATNAS. Warna kuning menunjukkan probabilitas aktual dan warna orange menunjukkan probabilitas Benford.
Figure 3. Comparison Chart of the First Digit of Bathymetry Data from BATNAS. Yellow color shows actual probability and orange color shows Benford probability.

Sumber: hasil perhitungan

digit pertama untuk data batimetri dari BATNAS ditunjukkan oleh Tabel 3. Dalam Tabel 3, probabilitas aktual diperoleh dari hasil perhitungan digit pertama dari data BATNAS, sedangkan probabilitas Benford didasarkan pada Tabel 2. Grafik perbandingan probabilitas aktual dan probabilitas Benford digit pertama pada data BATNAS ditunjukkan oleh Gambar 3.

Distribusi digit pertama pada data batimetri BATNAS menunjukkan digit “1” memiliki probabilitas tertinggi, yaitu sebesar 0,317 yang mendekati nilai ekspektasi teoritis

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Uji Statistik Digit Pertama Data BATNAS
Table 3. Calculation Results and Statistical Test of the First Digit of BATNAS Data

Digit	Banyak Data	Probabilitas Aktual	Probabilitas Benford	Uji Z Statistik	MAD
1	4718	0,317389842	0.301	4,3564766	0,057275
2	411	0,02764884	0.176	47,49560946	
3	652	0,043861419	0.125	29,91237038	
4	1022	0,068752102	0.097	11,63694139	
5	1257	0,084561049	0.079	2,513598176	
6	1629	0,109586276	0.067	20,7670067	
7	1432	0,09633367	0.058	19,99509192	
8	1721	0,115775311	0.051	35,89829071	
9	2023	0,13609149	0.046	52,43401616	
Total	14865	1	1		

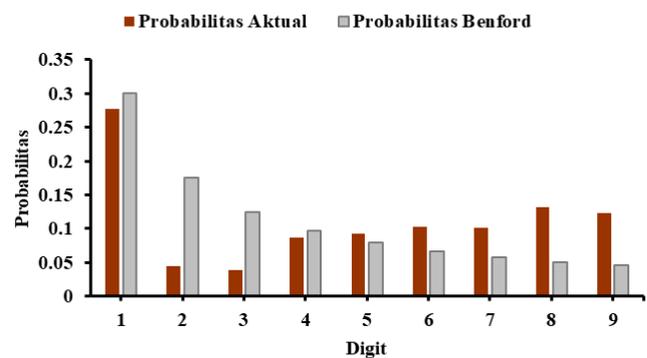
Sumber: Hasil perhitungan

sebesar 0,301. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar nilai kedalaman laut dalam data BATNAS cenderung diawali oleh angka kecil, yang merupakan karakteristik umum dari data numerik alami. Selain itu, digit “5” juga mendekati probabilitas Hukum Benford dengan nilai sebesar 0,84 yang sangat dekat dengan nilai yang diharapkan, yaitu 0,079. Digit lainnya menunjukkan penyimpangan yang cukup besar terhadap distribusi Benford. Digit “2”, “3”, dan “4” menunjukkan nilai yang jauh di bawah probabilitas Benford. Sementara digit “6”, “7”, “8”, dan “9” menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada probabilitas Benford.

Pengujian distribusi statistik pada digit pertama data BATNAS dilihat pada Tabel 3. Uji Z statistik memiliki ambang batas (threshold) sebesar 1.96 yang menyatakan tingkat signifikansi 5%. Hasil Uji Z statistik pada digit pertama data BATNAS menunjukkan seluruh digit diperoleh hasil yang melebihi ambang batas (> 1.96). Nilai Z statistik paling besar terjadi pada digit “9” sebesar 52,43, sedangkan yang paling kecil adalah digit “5” bernilai 2,51. Selanjutnya, uji MAD untuk digit pertama data BATNAS diperoleh nilai sebesar 0,057. Menurut Nigrini (2012) nilai tersebut termasuk dalam kategori tidak mirip dengan Hukum Benford karena melebihi ambang batas untuk digit pertama yaitu 0,015 ($> 0,015$). Dengan demikian, meskipun

digit pertama “1” dan “5” mendekati pola yang diharapkan, distribusi keseluruhan digit pertama pada data BATNAS menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang signifikan terhadap hukum tersebut.

Analisis digit pertama data batimetri dilakukan juga untuk data batimetri yang diperoleh dari ETOPO. Hasil perhitungan dan uji statistiknya ditunjukkan oleh Tabel 4. Hasil perhitungan dan uji statistik terhadap distribusi digit pertama pada data ETOPO ditampilkan dalam Tabel 4. Perbandingan probabilitas aktual dan probabilitas Benford dari data ETOPO dapat dilihat dalam



Gambar 4. Grafik Perbandingan Digit Pertama Data Batimetri dari ETOPO. Warna cokelat menunjukkan probabilitas aktual dan warna abu-abu menunjukkan probabilitas Benford. *Figure 4. Comparison Chart of the First Digit of Bathymetry Data from ETOPO. The brown color shows the actual probability and the gray color shows the Benford probability.*

Sumber: hasil perhitungan

Tabel 4 Hasil Perhitungan dan Uji Statistik Digit Pertama Data ETOPO
Table 4 Calculation Results and Statistical Test of the First Digit of ETOPO Data

Digit	Banyak Data	Probabilitas Aktual	Probabilitas Benford	Uji Z Statistik	MAD
1	665	0,277083333	0,301	2,554373711	0,057275
2	106	0,044166667	0,176	0,055796	
3	95	0,039583333	0,125	16,95941682	
4	209	0,087083333	0,097	12,6528747	
5	223	0,092916667	0,079	1,641502672	
6	247	0,102916667	0,067	2,527536787	
7	243	0,10125	0,058	7,037581248	
8	317	0,132083333	0,051	9,064675975	
9	295	0,122916667	0,046	18,05589501	
Total	2400	1	1	17,9875897	

Sumber: Hasil perhitungan

bentuk grafik pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa digit “1” memiliki frekuensi kemunculan tertinggi sebesar 0,277, yang relatif mendekati nilai teoritis Benford yaitu 0,301. Digit “4” dan “5” juga menunjukkan nilai probabilitas yang tidak jauh dari ekspektasi, masing-masing sebesar 0,087 dan 0,093, dibandingkan dengan nilai teoritis sebesar 0,097 dan 0,079. Digit “2” dan “3” menghasilkan nilai probabilitas yang lebih rendah dari probabilitas Benford. Sementara itu, digit “6”, “7”, “8”, dan “9” memiliki nilai probabilitas yang melebihi nilai ekspektasi berdasarkan distribusi Benford.

Nilai uji Z statistik tertinggi pada digit pertama data ETOPO tercatat pada digit “8” yaitu sebesar 18,05. Hal ini menunjukkan adanya penyimpangan signifikan terhadap distribusi Hukum Benford. Sebaliknya, nilai uji Z statistik terendah ditemukan pada digit “4” yaitu sebesar 1,64 yang menunjukkan nilai di bawah ambang batas ($< 1,96$). Sehingga dapat dikatakan digit “4” tidak menunjukkan penyimpangan yang signifikan secara statistik. Selain itu, hasil perhitungan MAD untuk digit pertama pada data ETOPO bernilai 0,055. Berdasarkan klasifikasi MAD oleh Nigrini (2012), nilai tersebut termasuk dalam kategori tidak sesuai atau tidak mirip dengan Hukum Benford, karena melebihi ambang batas kesesuaian sebesar 0,015.

Namun, jika dibandingkan nilai MAD digit pertama data BATNAS dan ETOPO, data ETOPO memiliki nilai MAD yang lebih rendah. Hal tersebut menunjukkan digit pertama data ETOPO lebih baik daripada data BATNAS.

Analisis Digit Kedua

Setelah dilakukan analisis pada digit pertama, selanjutnya menganalisis digit kedua dari data batimetri BATNAS dan ETOPO. Tujuan dari analisis ini untuk melengkapi hasil evaluasi distribusi digit pertama dan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pola distribusi numerik dalam dataset yang dianalisis. Penyimpangan terhadap distribusi Benford tidak selalu tampak secara jelas pada digit pertama. Distribusi digit kedua yang mendekati nilai teoritis menurut Hukum Benford mengindikasikan bahwa data tersebut lebih alami dan bebas dari intervensi atau bias buatan. Hasil perhitungan dan uji statistik digit kedua data batimetri dari BATNAS ditunjukkan dalam Tabel 5.

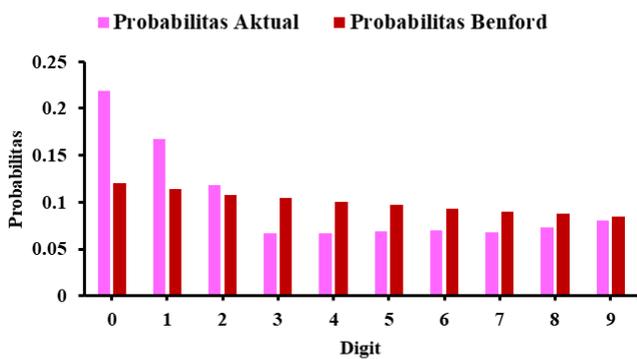
Perbandingan antara nilai probabilitas aktual dan probabilitas Benford pada digit kedua data BATNAS sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5 dapat divisualisasikan dalam Gambar 5.

Distribusi digit kedua pada data

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Uji Statistik Digit Pertama Data BATNAS
Table 3. Calculation Results and Statistical Test of the First Digit of BATNAS Data

Digit	Banyak Data	Probabilitas Aktual	Probabilitas Benford	Uji Z Statistik	MAD
0	3248	0,218499832	0,120	36,9434676	0,032327
1	2490	0,167507568	0,114	20,51423329	
2	1756	0,118129835	0,108	3,965939267	
3	997	0,067070299	0,104	14,73641448	
4	998	0,067137571	0,100	13,34185175	
5	1023	0,068819374	0,097	11,59537148	
6	1047	0,070433905	0,093	9,459015226	
7	1015	0,068281197	0,090	9,23853837	
8	1094	0,073595695	0,088	6,184729343	
9	1197	0,080524723	0,085	1,941806467	
Total	14865	1	1		

Sumber: hasil perhitungan



Gambar 5. Grafik Perbandingan Digit Kedua Data Batimetri dari BATNAS. Warna pink menunjukkan probabilitas aktual dan warna merah menunjukkan probabilitas Benford.

Figure 5. Comparison Chart of the Second Digit of Bathymetry Data from BATNAS. The pink color shows the actual probability and the red color shows the Benford probability.

Sumber: hasil perhitungan

batimetri BATNAS menunjukkan adanya penyimpangan yang cukup signifikan terhadap distribusi teoritis menurut Hukum Benford. Digit “0” merupakan digit kedua yang paling sering muncul dengan nilai sebesar 0,218, jauh di atas nilai teoritis sebesar 0,12. Demikian pula, digit “1” dan “2” juga menunjukkan probabilitas aktual yang lebih tinggi dari ekspektasi, yaitu masing-masing 0,167 dan 0,118. Sebaliknya, digit “3” hingga “8” mengalami penurunan nilai dibandingkan nilai yang diharapkan oleh Hukum Benford. Digit “9” menjadi satu-satunya digit yang memiliki nilai aktual yang mendekati nilai

teoritis, yakni sebesar 0,0805 dibandingkan dengan data ekspektasi sebesar 0,085.

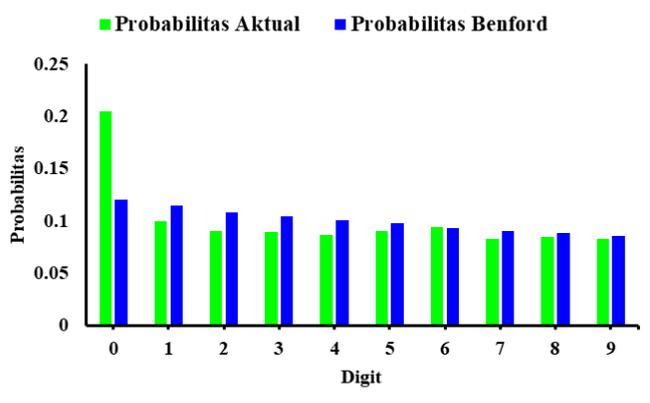
Berdasarkan Tabel 5 mengenai uji Z statistik, nilai tertinggi ditemukan pada digit “0” sebesar 36,94 yang menunjukkan deviasi yang sangat signifikan. Digit “9” memiliki nilai Z terendah yakni sebesar 1,94. Nilai tersebut berada tepat di bawah ambang batas signifikansi, sehingga tidak dianggap menyimpang secara statistik. Nilai keseluruhan MAD untuk digit kedua data BATNAS adalah 0,0323. Berdasarkan ambang batas yang ditetapkan oleh Nigrini (2012), yaitu 0,012 untuk digit kedua, nilai ini termasuk dalam kategori tidak sesuai dengan Hukum Benford. Artinya, meskipun digit “9” menunjukkan kesesuaian yang baik, secara umum distribusi digit kedua dalam data BATNAS tidak mencerminkan pada logaritmik alami yang diharapkan. Grafik perbandingan probabilitas aktual dan probabilitas Benford digit kedua data ETOPO dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6, distribusi digit kedua dari data batimetri ETOPO terlihat bahwa digit “0” memiliki frekuensi kemunculan tertinggi, yaitu sebesar 0.204. Nilai ini jauh melampaui nilai teoritis Hukum Benford sebesar 0,120. Digit “1” hingga “9” memiliki frekuensi aktual yang lebih rendah

Tabel 6. Hasil Perhitungan dan Uji Statistik Digit Kedua Data ETOPO
Table 6. Calculation Results and Statistical Test of the Second Digit of ETOPO Data

Digit	Banyak Data	Probabilitas Aktual	Probabilitas Benford	Uji Z Statistik	MAD
0	491	0,204583333	0,120	12,72000985	0,016883
1	238	0,099166667	0,114	2,254406402	
2	215	0,089583333	0,108	2,87396524	
3	213	0,08875	0,104	2,413964653	
4	208	0,086666667	0,100	2,143303525	
5	215	0,089583333	0,097	1,193193118	
6	224	0,093333333	0,093	0,02108485	
7	197	0,082083333	0,090	1,319544852	
8	202	0,084166667	0,088	0,626866233	
9	197	0,082083333	0,085	0,475759781	
Total	2400	1	1		

Sumber: hasil perhitungan



Gambar 6. Grafik Perbandingan Digit Kedua Data Batimetri dari ETOPO. Warna hijau menunjukkan probabilitas aktual dan warna biru menunjukkan probabilitas Benford.

Figure 6. Comparison Chart of the Second Digit of Bathymetry Data from ETOPO. Green color shows actual probability and blue color shows Benford probability.

Sumber: hasil perhitungan

dibandingkan distribusi teoritis. Digit “6” menunjukkan nilai probabilitas yang hampir identik dengan distribusi Benford sebesar 0,933. Hal ini dapat dikatakan bahwa digit ini mencerminkan pola yang relatif sesuai dengan distribusi logaritmik alami. Digit “5”, “7”, “8”, dan “9” berada sedikit di bawah nilai teoritis. Meskipun demikian, selisih antara probabilitas aktual dan teoritis pada digit-digit tersebut tergolong kecil dan tidak mencerminkan penyimpangan yang signifikan.

Dari segi pengujian statistik, nilai Z statistik tertinggi diperoleh pada digit “0”, yakni sebesar 12,72, yang menandakan adanya penyimpangan yang sangat signifikan terhadap distribusi yang diharapkan. Hal ini bisa saja terjadi karena nilai batimetri terbanyak pada kedalaman dengan digit kedua bernilai “0”. Selain itu, digit “1” hingga “4” menunjukkan nilai Z yang cukup tinggi, masing-masing sebesar 2,25; 2,87; 2,41; dan 2,14. Digit-digit lainnya seperti “5” hingga “9” memiliki nilai Z yang rendah dan berada di bawah ambang batas ($< 1,96$). Nilai tersebut menunjukkan penyimpangan tidak signifikan secara statistik. Berdasarkan hasil perhitungan MAD, diperoleh nilai sebesar 0,016 untuk digit

kedua. Nilai ini melebihi ambang batas 0,012 yang ditetapkan oleh Nigrini (2012), sehingga masuk dalam kategori tidak sesuai dengan Hukum Benford. Walaupun terdapat beberapa digit yang menunjukkan kesesuaian, secara keseluruhan distribusi digit kedua pada data ETOPO menyimpang dari pola distribusi logaritmik yang ideal. Jika dibandingkan dengan nilai MAD digit kedua data BATNAS, nilai MAD ETOPO memiliki nilai yang relatif lebih kecil, meskipun keduanya sama-sama berada di luar kategori yang sesuai dengan Hukum Benford.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baik data BATNAS maupun ETOPO belum sepenuhnya mengikuti pola distribusi logaritmik alami sebagaimana dijelaskan oleh Hukum Benford. Meskipun demikian, data ETOPO menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih tinggi dibandingkan BATNAS. Hal ini terlihat khususnya dari nilai MAD yang lebih rendah pada data ETOPO. Oleh karena itu, untuk kebutuhan validasi awal atau pemodelan statistik, data ETOPO dapat dipertimbangkan memiliki keandalan numerik yang relatif lebih baik dibandingkan data BATNAS dalam konteks wilayah perairan selatan Pangandaran.

Hasil dari penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap validasi kualitas data batimetri yang sering digunakan dalam pemodelan oseanografi dan mitigasi bencana, khususnya di kawasan rawan seperti selatan Pangandaran. Dengan mengaplikasikan Hukum Benford sebagai metode statistik non-parametrik, penelitian ini menawarkan pendekatan alternatif untuk mendeteksi anomali numerik pada data spasial. Hal ini tidak hanya meningkatkan kepercayaan terhadap sumber data yang digunakan, tetapi juga memberikan dasar ilmiah dalam memilih dataset yang lebih representatif dan akurat. Temuan ini diharapkan dapat mendorong pemanfaatan metode verifikasi statistik dalam

pengolahan data geospasial lainnya, serta memperkaya diskursus ilmiah terkait kualitas data dalam studi kebumihan dan kelautan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang kepada Program Studi Magister Fisika Universitas Jenderal Soedirman atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan. Chiquita Laila Mahfud berkontribusi dalam pengumpulan data, pengolahan awal, serta penyusunan draf awal manuskrip. Ulil Uzmi berperan dalam analisis data menggunakan pendekatan statistik Hukum Benford serta visualisasi hasil penelitian. Mirda Prisma Wijayanto memberikan arahan konseptual, supervisi dalam metodologi penelitian, interpretasi hasil, serta penyempurnaan naskah akhir hingga siap untuk publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifa, N. N., & Zahidi, M. S. (2024). Pengembangan Ekonomi Biru Sebagai Strategi Indonesia Menuju Ekonomi Maju. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 38(1), 48–65. <https://doi.org/10.52318/jisip.2024.v38.1.4>
- Alipour, A., & Alipour, S. (2019). Application of Benford's Law in Analyzing Geotechnical Data. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 52(2), 232–234. <https://doi.org/10.22059/cej.2019.272005.1534>
- Badrutamam, M., Satriadi, A., & Ismanto, A. (2020). Studi Batimetri dan Topografi Dasar Laut untuk Penentuan Jalur Peletakan Kabel Bawah Laut di Perairan Lampung – Pulau Pahawang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 02, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.8065>
- Batam, K., Riau, P. K., Hanifa, I., & Setyaningsih, L. (2024). Pola Arus dan Gelombang Air Laut di Sekitar Perairan Pulau Abang Besar, Kecamatan. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 06(04), 383–393. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i4.24843>
- Benazir, B., Syamsidik, S., & Idris, Y. (2022). Asesmen Potensi Tsunami dan Kesiapsiagaan Masyarakat Pesisir: Studi Kasus Teluk Ulee Lheue, Aceh Besar. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.32679/jth.v13i1.678>
- Firdaus, A. N., Alfari, L., Fitira, P. T., & Latuputty, G. (2023). Zonasi Rawan Bencana Tsunami Di Pesisir Kabupaten Pangandaran. *Aurelia Journal*, 5(1), 167–176.
- Hasanah, F. T. (2020). Karakteristik Wilayah Daratan dan Perairan di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(13).
- Hermawan, T., & Sutanto, R. (2022). Strategi Pertahanan Laut Indonesia Dalam Analisa Ancaman Dan Kekuatan Laut. *Jurnal Education and Development*, 10(2), 363–371.
- Kamal, S., Rondonuwu, D., & Warouw, F. (2023). Analisis Rencana Zonasi Wilayah Pesisir Kota Manado Berbasis Mitigasi Bencana. *Jurnal Spasial*, 11(1), 29–39.
- Kopczewska, K., & Kopczewski, T. (2022). Natural spatial pattern—When mutual socio-geo distances between cities follow Benford's law. *PLoS ONE*, 17(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276450>
- Laksono, F. A. T., Aditama, M. R., Setijadi, R., & Ramadhan, G. (2020). Run-up Height and Flow Depth Simulation of the 2006 South Java Tsunami Using COMCOT on Widarapayung Beach. IOP

- Conference Series: Materials Science and Engineering*, 982(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012047>
- Liuw, C. B., Tendean, M., & Kumaat, J. C. (2024). Kajian Batimetri dan Morfometri Danau Pangolombian Kota Tomohon. *Jurnal Episentrum*, 5(2), 1–8.
- Mahfudz, M., Admawidjaja, R. R., & Firmansyah, Y. (2024). Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Kabupaten Pangandaran Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Globe*, 26(1), 31–40.
- Mocnik, F. B. (2021). Benford's law and geographical information—the example of OpenStreetMap. *Journal of Geographical Information Science*, 35(9), 1746–1772. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1829627>
- Narulita, N. A., Wiyono, R. U. A., Halik, G., & Pratama, M. (2023). Tsunami – Tides Interaction of the South Coast of Jember Using Delft3D-Flow. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 14(2), 143–152. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2023.014.02.5>
- Nigrini, M. J. (2012). Benford's Law : Applications for Forensic Accounting, Auditing, and Fraud Detection.
- Noya, Y. A., Ratuluhain, E. S., & Sampe, N. (2023). Pemodelan Tsunami Berdasarkan Historis Kejadian Tsunami di Utara Pulau Buru, Maluku. *Jurnal Laut Pulau*, 2(1), 15–19. <https://doi.org/10.30598/jlpvol2i>
- Pratama, I. P. D. (2020). Pemodelan dan Pembuatan Peta Evakuasi Tsunami Pesisir Sanur. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 8(2), 65. <https://doi.org/10.23887/jjpg.v8i2.23167>
- Ramadhan, B., Herlangga, M. R., & Almutawakkil, F. N. (2023). Filter Estimator Statistik Rata-Rata Berbasis Anak Matriks Adaptif Dan Selektif Cepat Dengan Eksplorasi Acak Untuk Menghilangkan Gangguan Salt-And-Pepper Citra Digital Guna Mendukung Teknologi Satellite-Derived Bathymetry. *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 5(1), 47–51. <https://doi.org/10.62703/jhi.v5i1.20>
- Sambridge, M., Tkalčić, H., & Jackson, A. (2010). Benford's law in the Natural Sciences. *Geophysical Research Letters*, 37(22). <https://doi.org/10.1029/2010GL044830>
- Santoso, H., Munandar, R. K., Saputra, R., Zibar, Z., & Raynaldo, A. (2024). Pemetaan Batimetri dan Analisis Kondisi Fisik dan Kimi Perairan Pulau Putri-Kayu Angin, Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 14, 209–218.
- Sharif, S. N., & Jaaman, S. H. (2023). HUKUM BENFORD DAN PENYIMPANGAN PASARAN SAHAM SEMASA PANDEMIK COVID-19. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 19(3), 95–105.
- Suwarno, P., Sumantri, S. H., & Bahar, F. (2021). Rekonstruksi Keamanan Maritim Indonesia Dalam Rangka Mewujudkan Ketahanan Wilayah (Studi Di Kabupaten Natuna Periode Tahun 2019-2020). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 27(1), 65. <https://doi.org/10.22146/jkn.62028>
- Uyun, F. Q., Supriyadi, Sutikno, Adhi, M. A., & Latief, H. (2024). Virtual Tide Gauge Observation of the 2006 Pangandaran Tsunami Using COMCOT Version 1.7. *Jurnal Fisika*, 14(2), 45–53. <https://journal.unnes.ac.id/journals/jf>