



Analisis Ketidakstabilan Data Digital Menggunakan Konsep Supremum, Infimum, dan Divergensi Barisan Bilangan Real dengan Pendekatan MATLAB

Analysis of Digital Data Instability Using Supremum, Infimum, and Divergence of Real Number Sequences with MATLAB

**Anisa Husna¹, Najwa Nabila Dilvina², Nur Jannah³, Septa Riana Tarigan⁴
Tri Andri Hutapea⁵**

^{1,2,3,4} Program Studi Matematika, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

**Najwa Nabila Dilvina., Departmen of Mathematics, 20371, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia.*

anisa.4233230030@mhs.unimed.ac.id¹

biladilvina.4233230028@mhs.unimed.ac.id²

nurjannah.4233230032@mhs.unimed.ac.id³

septariana.4231230012@mhs.unimed.ac.id⁴

triandrihutapea@unimed.ac.id⁵

Kata Kunci :

supremum; infimum;
divergensi; stabilitas data;
MATLAB

ABSTRAK

Ketidakstabilan data digital menjadi isu penting dalam sistem komputasi modern karena data yang dihasilkan perangkat digital sering mengalami gangguan seperti noise dan perubahan lingkungan. Kondisi tersebut menyebabkan nilai data melebihi batas normal, sehingga memengaruhi akurasi proses pengolahan informasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis ketidakstabilan data digital dengan konsep supremum, infimum, dan divergensi pada barisan bilangan real. Dua jenis barisan digunakan sebagai dataset, yaitu sinyal ideal dan sinyal terganggu yang diberi noise sebagai representasi kondisi dunia nyata. Perhitungan dan visualisasi dilakukan menggunakan MATLAB. Hasil menunjukkan bahwa penambahan noise menyebabkan supremum meningkat dan infimum menurun, sehingga rentang nilai bertambah sebesar +0.47005 dan meningkatkan kemungkinan munculnya nilai ekstrem. Selain itu, analisis divergensi melalui perbedaan berkelanjutan menunjukkan bahwa perubahan antar elemen barisan tidak menurun menuju nol seiring bertambahnya indeks. Hal ini membuktikan bahwa dataset terganggu tidak mendekati batas tertentu dan menunjukkan pola acak yang membuat sistem berada dalam kondisi divergen dan tidak stabil. Dengan demikian, supremum, infimum, dan divergensi terbukti sebagai indikator matematis yang efektif dalam mendeteksi ketidakstabilan data digital. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknik untuk mengatasi gangguan, sehingga sistem komputasi bisa lebih stabil di masa depan.

Keywords :

*supremum; infimum;
divergence; data stability;
MATLAB*

ABSTRACT

Digital data instability is an important issue in modern computing systems because data generated by digital devices often experiences disturbances such as noise and environmental changes. These conditions cause data values to exceed normal limits, thereby affecting the accuracy of information processing. This study aims to analyze digital data instability using the concepts of supremum, infimum, and divergence in real number sequences. Two types of sequences are used as datasets, namely ideal signals and disturbed signals with noise added to represent real-world conditions. Calculations and visualizations were performed using MATLAB. The results show that the addition of noise causes the supremum to increase and the infimum to decrease, thereby increasing the value range by +0.47005 and increasing the possibility of extreme values. In addition, divergence analysis through continuous differences shows that the changes between sequence elements do not decrease towards zero as the index increases. This proves that the disturbed dataset does not approach a certain limit and exhibits random patterns that cause the system to be in a divergent and unstable condition. Thus, the supremum, infimum, and divergence are proven to be effective mathematical indicators in detecting digital data instability. These findings are expected to form the basis for the development of techniques to overcome disturbances, so that computing systems can be more stable in the future.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital menyebabkan volume data yang dihasilkan oleh perangkat elektronik semakin besar dan kompleks. Data digital yang dihasilkan sensor, perangkat IoT, maupun sistem komputasi lainnya sering mengalami gangguan berupa noise, fluktuasi lingkungan, serta distorsi sinyal. Kondisi tersebut dapat menyebabkan nilai data melampaui batas normal sehingga memengaruhi stabilitas sistem serta akurasi proses pengolahan informasi. (Maryati & Fadhilah, 2021) Menurut penelitian-penelitian terbaru, keberadaan noise dalam sinyal digital dapat memicu perubahan ekstrem pada nilai dataset dan berdampak langsung pada performa sistem numerik maupun algoritmik dalam pengolahan data modern (misalnya pada domain sensor cerdas, pengantar sinyal, dan sistem prediksi). Hal ini menunjukkan perlunya indikator matematis yang mampu mendeteksi ketidakstabilan data secara akurat dan terukur. (shaputri,2025)

Konsep supremum, infimum, dan divergensi dalam analisis barisan bilangan real merupakan pendekatan fundamental yang dapat menggambarkan perilaku ekstrem dan kecenderungan stabil/tidak stabil suatu barisan. Supremum dan infimum memberikan batas atas dan bawah dari data, sehingga perubahan nilai ekstrem dapat diamati secara matematis. Sementara itu, divergensi digunakan untuk menguji apakah suatu barisan mendekati nilai limit tertentu atau justru menyebar tanpa pola. Sejumlah penelitian sebelumnya telah menggunakan pendekatan matematis untuk menilai kestabilan data, namun sebagian besar hanya menekankan aspek statistik atau pemodelan probabilistik, dan belum banyak yang mengkaji perilaku ekstrem melalui supremum-infimum serta pola ketidakstabilan melalui analisis divergensi secara simultan. Selain itu, penggunaan simulasi komputasi berbasis MATLAB untuk menganalisis fenomena ketidakstabilan sinyal secara numerik juga masih terbatas dalam penelitian-penelitian terdahulu. (Ugoala,2024)

Penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa analisis terpadu antara supremum, infimum, dan divergensi untuk mengevaluasi ketidakstabilan data digital, dengan

memanfaatkan dua jenis barisan: sinyal ideal dan sinyal yang diberi noise sebagai representasi kondisi dunia nyata. Melalui simulasi MATLAB, penelitian ini tidak hanya menghitung nilai ekstrem dari dataset, tetapi juga menilai kecenderungan divergensi melalui running difference sehingga dapat memetakan perilaku osilasi data secara lebih komprehensif. Pendekatan ini memberikan gambaran matematis yang lebih kuat terkait pengaruh noise terhadap kestabilan data digital. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis ketidakstabilan data digital melalui konsep supremum, infimum, dan divergensi pada barisan bilangan real dengan bantuan komputasi MATLAB, serta melihat bagaimana penambahan noise memengaruhi batas ekstrem dan perilaku penyebaran nilai data. (Br et al., 2024)

METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan memanfaatkan perangkat lunak MATLAB untuk menganalisis kestabilan dua jenis barisan bilangan real, yaitu barisan ideal dan barisan terganggu yang diberi noise sebagai representasi kondisi data digital di dunia nyata. Prosedur penelitian dilakukan dengan menyusun kedua barisan tersebut, kemudian menghitung nilai supremum, infimum, dan rentang menggunakan perhitungan numerik di MATLAB. Selanjutnya dilakukan analisis divergensi melalui running difference untuk menilai apakah perubahan antar elemen barisan mendekati nol atau justru menyebar, sebagai indikator stabilitas atau ketidakstabilan data. Hasil perhitungan juga divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk melihat pola osilasi dan fluktuasi data secara lebih jelas. Analisis akhir dilakukan dengan membandingkan barisan ideal dan barisan terganggu untuk menentukan sejauh mana penambahan noise memengaruhi perilaku ekstrem dan kecenderungan divergensi pada data digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Supremum - Infimum Dataset

Penelitian ini menggunakan dua jenis barisan bilangan real sebagai dataset, yaitu :

$$y_n = \sin(n) \text{ (data ideal)}$$

$$x_n = \sin(n) + \epsilon_n, \epsilon_n \sim \mathcal{N}(0, 0.15^2)$$

Barisan pertama merepresentasikan sinyal periodik yang murni, sedangkan barisan kedua meniru kondisi data digital yang terkena gangguan atau noise. Berdasarkan perhitungan menggunakan MATLAB, diperoleh nilai supremum, infimum, dan rentang sebagai berikut:

Tabel 1. Perhitungan di Matlab

Dataset	Supremum	Infimum	Rentang
(y_n) (ideal)	0.99998	-0.99998	1.99996
(x_n) (noise)	1.24857	-1.22144	2.47001

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan noise menyebabkan rentang nilai meningkat sebesar +0.47005. Hal ini mengindikasikan bahwa gangguan eksternal memperluas nilai ekstrem atas dan bawah, sehingga kestabilan barisan menurun.

2. Divergensi Data

Untuk mengevaluasi kestabilan barisan, digunakan running difference:

$$D_n = |x_{n+1} - x_n|, \bar{D} = 0.1842$$

Jika nilai rata-rata perubahan (\bar{D}) tetap besar atau tidak mendekati nol ketika indeks n semakin besar, maka barisan dapat dikategorikan sebagai divergen atau tidak stabil. Analisis menunjukkan:

- Perubahan antar elemen cukup signifikan dan tidak menunjukkan kecenderungan untuk merapat,

- b. Barisan tidak mendekati nilai limit tertentu,
 - c. Pola osilasi bersifat acak dengan energi tinggi.
- Dengan demikian, dataset yang terdistorsi memiliki karakter divergen, mencerminkan kondisi digital yang tidak mudah dikontrol secara numerik.
- Dengan demikian, dataset terganggu memiliki karakter divergen dan mencerminkan kondisi digital yang tidak terkendali secara numerik.

3. Perbandingan Himpunan Berhingga vs Tak Berhingga

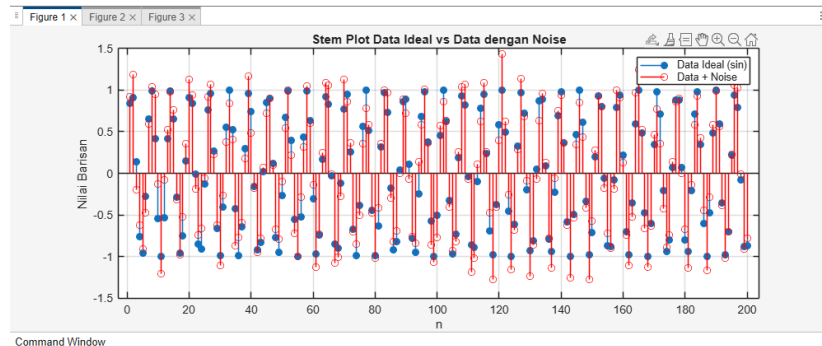
Berikut merupakan tabel yang merangkum perbedaan konseptual hasil yang ditemukan:

Tabel 2. Perbandingan berhingga dan tak berhingga

Himpunan Berhingga ($1 \leq n \leq N$)	Himpunan Tak Berhingga ($n \rightarrow \infty$)
Nilai supremum–infimum dapat ditentukan final	Nilai supremum–infimum dinamis & dapat berubah
Rentang tetap, stabil secara teoritis	Rentang dapat membesar \rightarrow potensi divergensi
Contoh: $\left\{1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots\right\}$ terbatas pada nilai akhir	Tidak ada batas aktual jika jumlah elemen meningkat

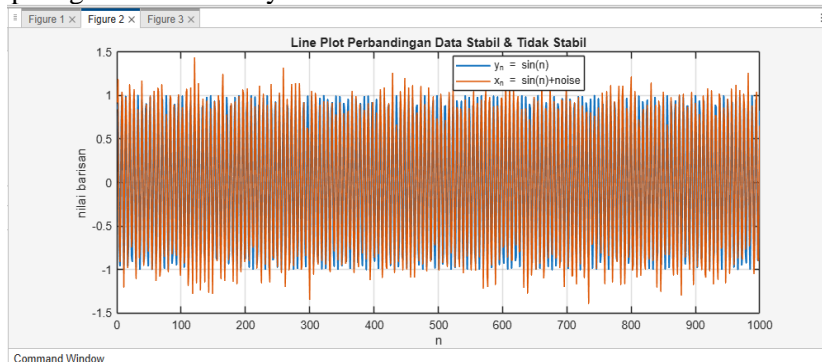
4. Grafik

- a. Melihat sebaran nilai diskrit & fluktuasi awal



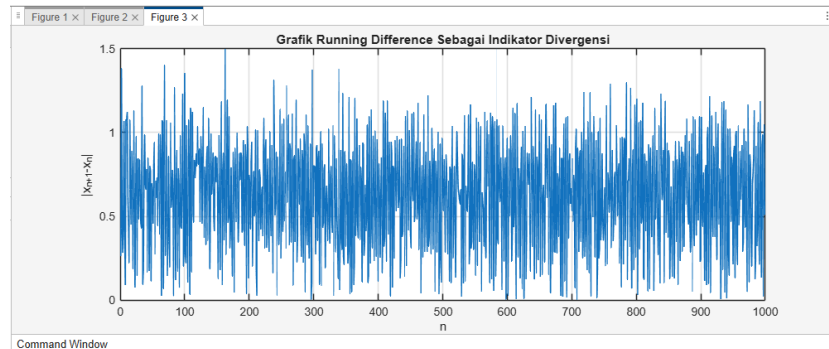
Gambar 1. Sebaran Nilai Diskrit dan Fluktuasi Awal

- b. Menilai pola global osilasi sinyal



Gambar 2. Nilai Global Osilasi Sinyal

c. Mendeteksi divergensi dan ketidakstabilan data



Gambar 3. Grafik Divergensi dan Ketidakstabilan Data

5. Interpretasi Fenomena Ketidakstabilan Data

Berdasarkan hasil analisis supremum–infimum dan divergensi, terlihat bahwa dataset digital yang diberi gangguan (noise) menunjukkan pola ketidakstabilan yang cukup signifikan. Fenomena ini dapat dijelaskan lebih rinci melalui beberapa indikator matematis berikut.

- a. Supremum meningkat dan infimum menurun \Rightarrow Rentang data membesar ketika supremum (nilai maksimum dari dataset) meningkat, sementara infimum (nilai minimum) menurun, maka rentang data:

$$\text{Range} = \sup(x_n) - \inf(x_n)$$

menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa:

- i. Nilai ekstrem muncul lebih sering,
- ii. Amplitudo sinyal menjadi lebih tidak terkendali,
- iii. Sistem lebih rentan terhadap lonjakan mendadak, osilasi liar, atau gangguan tiba-tiba.

Dalam konteks data digital, kondisi ini mirip dengan overfluktuasi yang terjadi pada sensor, transaksi keuangan, atau traffic media sosial ketika menghadapi beban tinggi.

- b. Rata-rata perubahan \bar{D} tidak mengecil \Rightarrow Data tetap tersebar
Parameter divergensi didefinisikan sebagai:

$$D_n = |x_{n+1} - x_n|$$

Jika barisan mendekati nilai limit tertentu, perubahan antar elemen seharusnya mengecil sehingga:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} D_n = 0$$

Namun, hasil menunjukkan bahwa \bar{D} tetap besar dan stabil. Artinya:

- i. Data tidak mendekati nilai tertentu,
- ii. Tidak ada kecenderungan menuju konvergensi,
- iii. Barisan cenderung “bergerak liar” tanpa pola yang jelas.

Interpretasinya adalah bahwa sinyal tersebut bukan sinyal stasioner, melainkan sistem yang terus menerima gangguan.

- c. Dataset bergerak secara tidak teratur seiring waktu
Ketidakteraturan ini terlihat dari:

- i. Osilasi cepat yang sulit diprediksi,
- ii. Perubahan arah secara mendadak,
- iii. Distribusi nilai yang tidak simetris,
- iv. Rentang nilai yang semakin melebar seiring bertambahnya indeks n .

Secara matematis, hal ini mencerminkan perilaku chaotic atau kacau, yang sangat sensitif terhadap gangguan kecil. Perubahan sekecil apapun pada satu titik dapat menimbulkan efek besar pada keseluruhan sistem (konsep *sensitive dependence on initial conditions*).

- d. Implikasi matematis terhadap interpretasi fenomena digital
 Dari sisi teori bilangan real dan analisis barisan:
- i. Supremum – Infimum sebagai indikator tekanan sistem
 Melebarnya rentang menunjukkan sistem memiliki “tekanan informasi” lebih besar yang memperbesar peluang terjadinya anomali.
 - ii. Divergensi sebagai tanda ketidakmampuan sistem mencapai keseimbangan
 Ini sejalan dengan fenomena dunia digital yang tidak pernah mencapai kondisi stabil karena selalu menerima data baru dalam jumlah besar.
 - iii. Data tidak rapat \Rightarrow Sistem tidak memiliki keseimbangan jangka panjang
 Sama seperti media sosial, di mana tidak ada “fase tenang”; tren terus berubah.
 - iv. Perilaku kacau (chaotic) akibat noise kecil
 Menunjukkan bahwa sistem digital sangat sensitif—hal sepele dapat memicu lonjakan besar (efek bola salju/viral).
- e. Makna praktis dalam konteks analisis data
 Interpretasi ini memberi beberapa wawasan penting:
- i. Sistem digital yang tampak sederhana sebenarnya dapat berperilaku sangat kompleks ketika diberi sedikit gangguan.
 - ii. Metode analisis matematis (supremum, infimum, divergensi) menjadi alat penting untuk mendeteksi instabilitas lebih awal.
 - iii. Visualisasi melalui grafik menegaskan bahwa ketidakstabilan bukan sekadar angka, tetapi pola nyata yang dapat dilihat secara langsung.

6. Konsistensi Teori–Komputasi

Tabel 3. Hubungan Konsep Teori dan Pembuktian Komputasi

Konsep Teori	Pembuktian Komputasi
Supremum - Infimum indikator ekstrim	Rentang meningkat saat noise ditambahkan
Divergensi Ketika $\lim x_n$ tidak ada	$D^* > 0.1 \rightarrow$ data tidak konvergen
Ketidakstabilan terjadi pada domain tak berhingga	Grafik menunjukkan fluktuasi berkelanjutan

Teori dan komputasi saling menguatkan bahwa barisan digital yang terdistorsi sulit mencapai limit dan cenderung menyebar tak terkendali.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis supremum, infimum, dan divergensi yang dilakukan melalui simulasi MATLAB, dapat disimpulkan bahwa penambahan noise pada dataset digital menyebabkan penyebaran nilai menjadi lebih besar. Hal ini terlihat dari meningkatnya nilai supremum dan menurunnya nilai infimum. Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai ekstrem muncul lebih sering dan rentang data semakin lebar, sehingga sistem menjadi lebih tidak stabil. Selain itu, hasil perbedaan antar elemen barisan tetap signifikan meskipun indeks meningkat, sehingga barisan tidak mendekati nilai limit tertentu dan menunjukkan perilaku divergen. Pola osilasi acak yang muncul pada dataset terganggu menunjukkan sifat data digital yang chaotic, di mana gangguan kecil dapat memengaruhi sistem secara besar. Dengan demikian, konsep supremum, infimum, dan divergensi terbukti sebagai indikator matematis yang efektif untuk mengevaluasi kestabilan data dalam konteks komputasi digital modern.

Saran

Penelitian berikutnya dapat memperluas model noise agar analisis kestabilan data semakin komprehensif. Misalnya, dengan menggunakan noise Gaussian, impulsif, atau jitter untuk melihat bagaimana sistem merespons berbagai jenis gangguan. Selain itu, dianjurkan untuk menambahkan parameter analisis lain seperti variansi, standar deviasi, atau pendekatan transformasi sinyal untuk mengukur tingkat kekacauan data secara lebih detail. Strategi stabilisasi berbasis MATLAB seperti

filtering juga bisa dievaluasi untuk mengetahui efektivitasnya dalam mengurangi ketidakstabilan numerik. Terakhir, analisis bisa diperluas dengan menggunakan dataset nyata, seperti data sensor IoT, data keuangan, atau traffic media sosial, sehingga relevansi penerapan konsep supremum, infimum, dan divergensi dalam mendeteksi ketidakstabilan digital menjadi lebih kuat dan aplikatif dalam situasi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Sahputri, B., Tarigan, B., Agustin, F., Bahagia, S., Ujung, F., Purba, Y., Christin, V., Siregar, O., & Hutapea, T. A. (2025). Menyelesaikan Permasalahan Himpunan Barisan Bilangan Real Dengan Bantuan MATLAB Solving Problems of Sequences of Real Numbers with the Assistance of MATLAB. 3, 211–219.
- Ugoala, B. (2024). Generation Z's lingos on TikTok: Analysis of emerging linguistic structures. *Journal of Language and Communication*, 11(2), 211-224
- Br, C., Angin, P., & Tambunan, C. P. (2024). Analisis Kemampuan Mahasiswa Matematika FMIPA Unimed dalam Menyelesaikan Permasalahan Konvergensi dan Divergensi Barisan Bilangan Real dengan Berbantuan Software MATLAB. 2(6).
- Maryati, I., & Fadhilah, D. N. (2021). Sequence and Series : An Analysis of Mathematical Problem Solving Ability. 4(2), 95–106.