

ANALISIS APROKSIMASI FUNGSI SIGMOID BINER MENGGUNAKAN DERET TAYLOR DENGAN IMPLEMENTASI MATLAB

Nezza Anggraini Yolandari, Sabrina Akva, Idris Putra Hatoguan, Putri Harliana

Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara

nezzaanggraini0@gmail.com

ABSTRAK

Fungsi sigmoid memainkan peran penting dalam machine learning dan sistem kontrol, terutama untuk klasifikasi biner. Namun, perhitungan langsung fungsi sigmoid melibatkan operasi eksponensial yang memerlukan komputasi intensif, khususnya pada perangkat dengan sumber daya terbatas. Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan pendekatan deret Taylor sebagai metode aproksimasi fungsi sigmoid. Pendekatan ini mengubah fungsi non-linear menjadi polinomial, menggantikan operasi eksponensial dengan operasi aritmetika yang lebih efisien untuk dihitung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aproksimasi fungsi sigmoid biner menggunakan deret Taylor dengan implementasi MATLAB. Uji coba dilakukan dengan beberapa input x (0.5, 1.0, 1.5, dan 2.0) dan berbagai orde deret Taylor (3, 4, 5, hingga 7). Hasil aproksimasi dibandingkan dengan fungsi sigmoid standar, dan galat relatif dihitung untuk mengevaluasi tingkat akurasi. Hasil menunjukkan bahwa orde lebih tinggi menghasilkan galat lebih kecil, yaitu pada galat orde 7 mencapai di bawah 0,5% untuk $x = 2,0$, dibandingkan galat 70,3% pada orde 3. Aproksimasi paling akurat untuk nilai x kecil, sedangkan nilai x besar membutuhkan lebih banyak suku deret untuk hasil yang mendekati nilai exact. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang keefektifan deret Taylor dalam menghampiri fungsi sigmoid biner. Implementasi dalam MATLAB mendukung analisis efisiensi dan akurasi, menjadikan metode ini relevan dalam pengembangan algoritma efisien untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya.

Kata kunci : fungsi sigmoid biner, deret Taylor, galat relatif, matlab

1. PENDAHULUAN

Fungsi sigmoid merupakan salah satu fungsi matematika yang memiliki peranan penting dalam berbagai bidang, terutama dalam machine learning, statistik, dan sistem kontrol. Fungsi ini sering digunakan dalam algoritma klasifikasi biner karena kemampuannya untuk menghasilkan output yang bernilai kontinu antara 0 dan 1, sesuai dengan kebutuhan model klasifikasi. Namun, perhitungan fungsi sigmoid secara langsung melibatkan operasi eksponensial yang dapat menjadi komputasi intensif, terutama untuk perangkat keras dengan sumber daya terbatas atau dalam situasi yang memerlukan komputasi cepat.

Untuk mengatasi permasalahan ini, pendekatan deret Taylor dapat digunakan untuk menghampiri fungsi sigmoid. Deret Taylor memungkinkan fungsi non-linear seperti sigmoid direpresentasikan dalam bentuk polinomial, sehingga operasi eksponensial yang kompleks dapat digantikan oleh operasi aritmetika sederhana. Dengan deret Taylor, fungsi sigmoid dapat dihamiri hingga orde tertentu, dengan tingkat akurasi yang bergantung pada jumlah suku yang digunakan dalam deret tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aproksimasi fungsi sigmoid biner menggunakan deret Taylor dengan implementasi MATLAB. Melalui penelitian ini, beberapa nilai input x akan diuji untuk membandingkan hasil fungsi sigmoid standar dengan hasil hampiran dari deret Taylor dan galat relatif yang dihitung untuk mengevaluasi akurasi aproksimasi pada setiap orde deret Taylor. Hasil dari penelitian ini

diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai keefektifan deret Taylor dalam menghampiri fungsi sigmoid biner, serta memberikan kontribusi praktis dalam aplikasi komputasi numerik, khususnya pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fungsi sigmoid adalah fungsi matematika yang grafiknya memiliki ciri khas berbentuk S atau kurva sigmoid [1].

Fungsi ini dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu fungsi sigmoid biner dan sigmoid tan. Fungsi sigmoid biner memiliki rentang output antara 0 hingga 1, sementara sigmoid tan memiliki rentang antara -1 hingga 1 [2].

Fungsi sigmoid biner sering digunakan dalam jaringan syaraf tiruan yang dilatih menggunakan metode *backpropagation*, karena menghasilkan output yang terletak dalam interval 0 sampai 1 [3].

Rumus yang digunakan untuk menghitung fungsi sigmoid adalah $\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$ [4].

Metode numerik digunakan ketika suatu persoalan matematika tidak mampu diselesaikan dengan menggunakan metode analitik. Metode numerik memiliki pengertian yakni teknik-teknik yang digunakan untuk merumuskan masalah-masalah matematika agar dapat diselesaikan dengan operasi-operasi aritmatika (hitungan) biasa (tambah, kurang, kali, dan bagi). Metode Deret Taylor merupakan bentuk dari fungsi

matematika sebagai jumlahan tak hingga dari suku yang nilainya dihitung dari turunan fungsi tersebut pada suatu titik. Salah satu fungsi deret Taylor adalah memberikan solusi hampiran dari suatu fungsi dalam bentuk polynomial, sehingga nilai penyelesaian pada suatu fungsi dapat diperoleh pendekatannya.

Deret Taylor merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendekati persamaan non-linier melalui persamaan linier [5].

Pendekatan ini digunakan untuk menghampiri fungsi yang rumit ke dalam bentuk polinom, sehingga fungsi yang kompleks menjadi lebih sederhana. Deret Taylor diperoleh dengan mengembangkan fungsi f dan semua turunannya, yaitu $\{f', f'', f''', \dots, f^n\}$ di dalam selang $[a, b]$. Misalkan $x_0 \in [a, b]$, maka untuk nilai-nilai x yang berada di sekitar x_0 , fungsi $f(x)$ dapat diperluas (diekspansi) menjadi deret Taylor yang dinyatakan sebagai:

$$f(x_{i+1}) = \frac{f'(x_i)}{1!} \Delta x + \frac{f''(x_i)}{2!} \Delta x^2 + \dots + \frac{f^n(x_i)}{n!} \Delta x^n; \Delta x = h = x - x_0; y = f(x) \text{ [6].}$$

Dengan ekspansi ini, fungsi yang awalnya sulit dihitung dapat disederhanakan menjadi bentuk yang lebih mudah diaproksimasi dengan polinom.

Aproksimasi adalah pendekatan atau pembulatan hasil pengukuran, seperti pengukuran panjang dan berat [7].

Dalam deret Taylor, aproksimasi merupakan proses mendekati nilai fungsi dengan menggunakan sejumlah suku dari deret Taylor, yang semakin akurat seiring dengan bertambahnya jumlah suku yang digunakan. Aproksimasi sangat berguna dalam berbagai bidang, karena dapat menghitung fungsi yang rumit menggunakan polinom sederhana. Konvergensi deret Taylor bergantung pada sejauh mana deret tersebut mendekati fungsi yang sesungguhnya ketika lebih banyak suku ditambahkan. Deret Taylor akan konvergen jika jumlah suku yang digunakan cukup besar untuk mendekati nilai fungsi yang sebenarnya, dan konvergensi ini dipengaruhi oleh sifat fungsi serta jarak antara titik ekspansi x_0 dan nilai x . Jika nilai x terlalu jauh dari titik ekspansi, deret Taylor tidak konvergen atau memerlukan lebih banyak suku untuk memberikan aproksimasi yang akurat. Konvergensi deret Taylor perlu dipertimbangkan dalam aplikasinya, terutama ketika fungsi yang dianalisis memiliki perilaku yang kompleks atau tidak terdefinisi jauh dari titik ekspansi.

Dengan metode numerik, diperoleh solusi yang menghampiri solusi sejatinya, sehingga ada selisih antara solusi pendekatan dan solusi sejati yang disebut dengan galat (*error*). Terdapat dua jenis galat, yaitu galat mutlak dan galat relatif. Galat mutlak hanya menunjukkan selisih antara solusi pendekatan dan solusi sejatinya, sedangkan galat relatif menunjukkan tingkat ketelitian antara selisih solusi pendekatan dan solusi sejatinya. Galat relatif didefinisikan dengan:

$$\varepsilon_r = \frac{|y - y_i|}{y} \times 100\% \text{ di mana } \varepsilon_r \text{ adalah galat relatif, } y$$

adalah solusi sejati, dan y_i adalah solusi pendekatan [8].

Semakin kecil persentase kesalahan, semakin akurat prediksinya. Keputusan mengenai akurasi jika galat relatif $\leq 25\%$ dianggap akurat, sedangkan nilai galat relatif $> 25\%$ tetapi $\leq 50\%$ perlu dipertimbangkan jika ingin digunakan, dan estimasi dengan nilai galat relatif $> 50\%$ dianggap tidak akurat [9].

Matrix Laboratory, atau yang biasa disebut dengan MATLAB, merupakan lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat yang sering dimanfaatkan untuk menyelesaikan berbagai masalah komputasi dalam berbagai bidang. MATLAB menggunakan matriks sebagai dasar analisis dan perhitungan, dan dikenal sangat efisien untuk perhitungan numerik berbasis matriks, menjadikannya pilihan utama jika masalah dapat dirumuskan dalam bentuk matriks. Secara komersial, MATLAB adalah produk dari Mathworks, Inc., yang dikembangkan menggunakan C++ dan bahasa assembly (terutama untuk fungsi dasar MATLAB) [10].

Selain kemampuan perhitungan, MATLAB juga menawarkan fitur untuk melakukan perhitungan matematik, analisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan, serta menyajikan hasil dalam bentuk grafis. Program ini sangat cocok digunakan untuk aplikasi sains karena memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan perhitungan manual dan memiliki kemampuan grafis yang sangat baik [11].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menguji akurasi aproksimasi fungsi sigmoid menggunakan deret Taylor pada berbagai orde, kemudian membandingkan hasilnya dengan fungsi sigmoid yang dihitung menggunakan rumus standar. Fungsi sigmoid yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi matematis standar, yaitu $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$. Dalam penelitian ini, deret Taylor akan digunakan untuk mendekati fungsi sigmoid, dengan menghitung turunan pertama hingga turunan ketujuh dari fungsi sigmoid pada titik $x=0$. Deret Taylor ini akan diimplementasikan dalam perangkat lunak MATLAB untuk menghitung hasil aproksimasi fungsi sigmoid untuk orde 3, 4, 5, 6, dan 7.

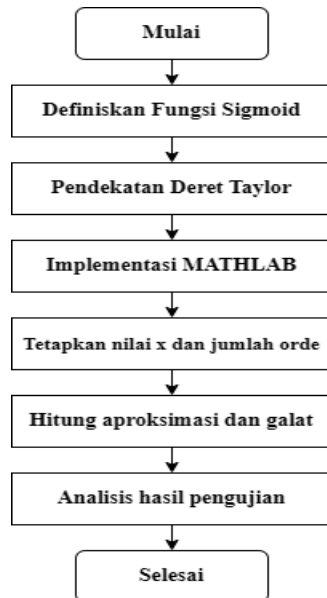
Pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai x yang bervariasi, yaitu 0.5, 1.0, 1.5, dan 2.0. Setiap kombinasi nilai x dan orde deret Taylor akan dihitung nilai fungsi sigmoid menggunakan deret Taylor dan rumus standar. Galat relatif antara hasil perhitungan dengan rumus standar dan hasil perhitungan dengan deret Taylor kemudian dihitung untuk masing-masing kombinasi. Galat relatif dihitung dengan rumus:

$$\text{Galat Relatif} = \frac{|\sigma_{\text{standar}}(x) - \sigma_{\text{aproksimasi}}(x)|}{|\sigma_{\text{standar}}(x)|} \quad (1)$$

Hasil perhitungan galat relatif akan dianalisis untuk mengevaluasi seberapa baik deret Taylor dapat

mendekati fungsi sigmoid pada berbagai nilai x dan orde yang diuji.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara orde deret Taylor dan akurasi aproksimasi, serta untuk menentukan batasan-batasan atau kelebihan dari penggunaan deret Taylor dalam aproksimasi fungsi sigmoid. Semua perhitungan dilakukan menggunakan MATLAB untuk memastikan akurasi dan efisiensi perhitungan.



Gambar 1. Alur metode penelitian

Berikut adalah tahapan metode yang diterapkan pada penelitian tersebut :

- Definisikan fungsi sigmoid: menggunakan fungsi sigmoid standar didefinisikan secara matematis pada rumus (2). Fungsi ini menjadi acuan utama untuk menghitung nilai exact fungsi sigmoid yang digunakan dalam perbandingan dengan hasil aproksimasi.
- Pendekatan deret taylor : deret taylor digunakan untuk mendekati fungsi sigmoid. Turunan pertama dari rumus standar fungsi sigmoid biner dan seterusnya dihitung dengan rumus (4). Lalu menentukan rumus umum deret taylor untuk fungsi sigmoid biner.
- Implementasi MATLAB: Semua perhitungan diformulasikan dalam perangkat lunak MATLAB. MATLAB digunakan karena kemampuannya untuk menangani perhitungan matematis dengan presisi tinggi, sehingga memastikan efisiensi dan akurasi.
- Tetapkan nilai x dan jumlah orde: Penelitian dilakukan dengan menetapkan nilai x yang bervariasi dan jumlah orde deret taylor yang beragam. Hal ini memungkinkan analisis akurasi dalam berbagai aspek.
- Hitung aproksimasi dan galat : hasil aproksimasi fungsi sigmoid biner dihitung menggunakan deret taylor. Galat relatif dihitung dengan

menggunakan nilai exact dan aproksimasi dari fungsi sigmoid biner.

- Analisis hasil pengujian : mengevaluasi hubungan antara jumlah orde, akurasi aproksimasi, pengaruh nilai x yang berbeda, galat yang dihasilkan, dan lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal yaitu menjabarkan bagaimana rumus pendekatan fungsi sigmoid menggunakan deret taylor. Fungsi sigmoid biner diberikan oleh:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

Pendekatan dilakukan dengan menggunakan deret taylor terhadap e^{-x} . Eksponensial e^{-x} dapat diekspansi menggunakan deret taylor di sekitar $x=0$ sebagai berikut :

$$e^{-x} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-x)^n}{n!} \quad (3)$$

Penurunan ini didasarkan pada definisi deret taylor berikut :

$$f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \frac{f'''(0)}{3!}x^3 + \dots \quad (4)$$

Fungsi e^{-x} memiliki sifat bahwa turunan ke- n tetap berbentuk e^{-x} hanya berbeda tanda karena $-x$. Turunan pertama : $-e^{-x}$; turunan kedua : e^{-x} ; turunan ketiga : $-e^{-x}$; dan turunan ke- n : $(-1)^n e^{-x}$. Maka nilai turunan di $x=0$, karena $e^{-0} = 1$ maka :

$$f^n(0) = (-1)^n \quad (5)$$

Substitusi nilai turunan pada deret taylor,

$$e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots \quad (6)$$

Substitusi deret taylor dari e^{-x} ke dalam fungsi sigmoid,

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + \left(1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots\right)} \quad (7)$$

$$\sigma(x) \approx \frac{1}{2 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots} \quad (8)$$

Dengan rumus umum deret taylor untuk fungsi sigmoid biner adalah:

$$\sigma(x) \approx \frac{1}{2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-x)^n}{n!}} \quad (9)$$

Implementasi rumus deret taylor untuk fungsi sigmoid biner kedalam software Matlab. Dimana user akan memasukkan input nilai x dan jumlah orde deret taylor yang diinginkan. Serta Menghitung nilai galat relative untuk hasil exact dan aproksimasi. Berikut adalah code implementasi pada Matlab :

```

Sigmoidfinal.m
MATLAB Drive\Sigmoidfinal.m
1 function Sigmoidfinal()
2     % Meminta input x dan jumlah orde
3     x = input('Masukkan nilai x: ');
4     n = input('Masukkan jumlah orde deret Taylor: ');
5
6     % Hitung nilai exact sigmoid
7     sigmoid_exact = 1 / (1 + exp(-x));
8
9     % Hitung nilai aproksimasi sigmoid dengan deret Taylor
10    sigmoid_approx = taylor_sigmoid(x, n);
11
12    % Hitung galat relatif
13    galat_relatif = abs((sigmoid_exact - sigmoid_approx) / sigmoid_exact) * 100;
14
15    % Tampilkan hasil
16    fprintf('Nilai exact sigmoid: %.10f\n', sigmoid_exact);
17    fprintf('Nilai aproksimasi sigmoid: %.10f\n', sigmoid_approx);
18    fprintf('Galat relatif: %.10f%%\n', galat_relatif);
19 end
20
21 function sigmoid_approx = taylor_sigmoid(x, n)
22 % Inisialisasi nilai deret Taylor
23 taylor = 0;
24 for k = 0:n
25     taylor = taylor + ((-x)^k) / factorial(k);
26 end
27
28 % Hitung nilai sigmoid aproksimasi
29 sigmoid_approx = 1 / (1 + taylor);
30
31 end

```

Gambar 2. Implementasi Matlab pada aproksimasi deret taylor fungsi sigmoid biner

Pengujian dilakukan dengan beberapa input nilai x dengan interval 0,5 yang dimulai dari 0.5; 1.0; 1.5; dan 2.0. Dengan melakukan percobaan pada beberapa jumlah orde deret taylor yang berbeda, yaitu: 3, 4, 5, 6 dan 7. Setelah mendapatkan hasil pengujian dengan rumus exact dan aproksimasi maka akan menghitung galat relative antar keduanya untuk mengetahui seberapa efisien aproksimasi deret taylor pada fungsi sigmoid biner. Dan menganalisis apakah jumlah orde pada deret taylor akan mempengaruhi besarnya galat yang dihasilkan.

Berikut adalah contoh pengujian yang dijalankan pada matlab :

```

Sigmoidfinal.m
Command Window
>> Sigmoidfinal
Masukkan nilai x:
0.5
Masukkan jumlah orde deret Taylor:
3
Nilai exact sigmoid: 0.6224593312
Nilai aproksimasi sigmoid: 0.6233766234
Galat relatif: 0.1473658003%
>> |

```

Gambar 3. Pengujian aproksimasi deret taylor pada fungsi sigmoid biner

Dapat dilihat, gambar 3 menunjukkan salah satu hasil contoh pengujian fungsi sigmoid dengan pendekatan deret taylor. Dengan running file yang diberi nama “Sigmoidfinal” lalu meminta user untuk memasukkan nilai x dan jumlah orde, maka matlab akan mengeluarkan output berupa nilai exact, aproksimasi, dan galat. Contoh pengujian dilakukan pada input x = 0.5 dengan jumlah orde deret taylor 3 dengan hasil yang ditampilkan. Begitu juga untuk pengujian selanjutnya, yang diuji pada nilai x yang berbeda dan jumlah orde yang lebih tinggi.

Tabel 1. Hasil pengujian matlab

Orde	x	Exact	Aproksimasi	Galat
3	0.5	0.6224593312	0.6233766234	0.1473658003%
	1.0	0.7310585786	0.75	2.5909580879%
	1.5	0.8175744762	0.9411764706	15.1181327199%
	2.0	0.8807970780	1.5	70.3002924855%
4	0.5	0.6224593312	0.6223662885	0.0149475965%
	1.0	0.7310585786	0.7272727273	0.5178588239%
	1.5	0.8175744762	0.7852760736	3.9505150313%
	2.0	0.8807970780	0.75	14.8498537573%
5	0.5	0.6224593312	0.6224671746	0.0012600632%
	1.0	0.7310585786	0.7317073171	0.0887395979%
	1.5	0.8175744762	0.8263395739	1.0720855384%
	2.0	0.8807970780	0.9375	6.4376828034%
6	0.5	0.6224593312	0.6224587662	0.0000907758%
	1.0	0.7310585786	0.7309644670	0.0128733357%
	1.5	0.8175744762	0.8156762785	0.2321742877%
	2.0	0.8807970780	0.8653846154	1.7498312584%
7	0.5	0.6224593312	0.6224593312	0.0000057115%
	1.0	0.7310585786	0.7310704961	0.0016301640%
	1.5	0.8175744762	0.8179380385	0.0444683967%
	2.0	0.8807970780	0.8848314607	0.4580377021%

Dari tabel 1, dapat di lihat bahwa pada orde 3, galat mencapai 70.3% untuk x = 2.0, menunjukkan bahwa deret Taylor dengan 3 suku belum cukup untuk memberikan hasil yang akurat, terutama pada nilai x yang besar. Pada orde 7, galat turun menjadi 0.458% untuk x = 2.0, menunjukkan bahwa menambahkan lebih banyak suku dalam deret Taylor secara signifikan meningkatkan keakuratan aproksimasi. Setiap nilai x, semakin besar orde (banyaknya suku

dalam deret Taylor), hasil aproksimasi semakin mendekati nilai exact. Hal ini terlihat dari galat yang menurun signifikan seiring dengan peningkatan orde.

Pada orde 3, galat untuk x = 0.5 hanya 0.147%, sedangkan untuk x = 2.0 mencapai 70.3%. Hal ini menunjukkan bahwa deret Taylor lebih akurat untuk nilai x kecil, terutama di sekitar x = 0, karena pusat aproksimasi biasanya berada di titik ini. Bahkan pada orde 7, galat untuk x = 0.5 hampir nol, sedangkan

untuk $x = 2.0$ masih sekitar 0.458%. Nilai x yang besar membutuhkan lebih banyak suku deret untuk mengurangi galat. Semakin besar nilai xxx , galat antara hasil exact dan aproksimasi cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh sifat fungsi sigmoid yang lebih curam pada nilai xxx yang besar, sehingga deret Taylor memerlukan lebih banyak suku untuk mendekati nilai exact.

Aproksimasi cukup baik untuk x kecil tetapi mulai melenceng untuk x besar. Sebagai contoh pada orde 3, aproksimasi untuk $x = 2.0$ adalah 1.5 yang jauh dari nilai exact 0.8808. Namun pada orde 5, aproksimasi sudah turun mendekati 0.937. Aproksimasi pada orde 6 dan 7 sangat mendekati nilai exact, bahkan untuk x besar. Misalnya galat pada orde 7 untuk $x = 2.0$ hanya 0.458% jauh lebih kecil dibandingkan galat pada orde sebelumnya. Pada orde 7, nilai aproksimasi sangat mendekati nilai exact untuk semua x , dengan galat berada di bawah 0.5%.

Fungsi sigmoid memiliki perubahan nilai yang cepat untuk x besar atau kecil. Aproksimasi deret Taylor bekerja dengan baik di sekitar pusat ekspansi tetapi kurang akurat untuk nilai x yang jauh dari pusat karena deret Taylor memanfaatkan turunan fungsi di pusat untuk mendekati fungsi tersebut. Dengan menambah suku deret, aproksimasi menjadi lebih akurat, bahkan untuk x yang lebih jauh dari pusat.

Orde yang lebih tinggi memberikan aproksimasi lebih baik tetapi memerlukan komputasi yang lebih besar. Untuk aplikasi yang memerlukan nilai x besar, seperti dalam jaringan saraf tiruan atau optimisasi, perlu dipertimbangkan metode aproksimasi lain atau orde yang jauh lebih tinggi untuk menjaga akurasi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aproksimasi fungsi sigmoid biner menggunakan deret Taylor efektif dalam menghasilkan nilai yang mendekati hasil exact, terutama untuk nilai x kecil atau dengan menggunakan orde deret yang tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa galat relatif menurun secara signifikan seiring bertambahnya orde, dengan galat di bawah 0.5% pada orde 7 untuk semua nilai x yang diuji. Namun, aproksimasi dengan deret Taylor kurang akurat untuk nilai x besar pada orde rendah, karena sifat fungsi sigmoid yang lebih curam di luar pusat ekspansi. Penelitian ini memberikan manfaat praktis pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya, di mana deret Taylor dapat digunakan untuk menghampiri fungsi sigmoid secara efisien dengan tingkat akurasi yang dapat disesuaikan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi metode aproksimasi lain seperti algoritma numerik yang lebih efisien, serta menguji aproksimasi ini dalam konteks aplikasi nyata seperti jaringan saraf tiruan atau sistem kontrol, guna membandingkan keakuratan dan efisiensinya dalam berbagai kondisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutrisno, H.B.T., and Setyawan, A.A., 2024. Menggunakan Binary Classification untuk Mendeteksi SPAM pada SMS dengan Metode Logistic Regression. *CONTEN: Computer and Network Technology*, 4(1), pp. 21-30.
- [2] Pangaribuan, J.J., Tanjaya, H., and Kenichi, K., 2021. Mendeteksi Penyakit Jantung Menggunakan Machine Learning dengan Algoritma Logistic Regression. *INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT*, 6(2), pp. 1-10.
- [3] Sitepu, N.L.B., 2021. Jaringan Saraf Tiruan Memprediksi Nilai Pemelajaran Siswa Dengan Metode Backpropagation (Studi Kasus: SMP Negeri 1 Salapian). *JOURNAL OF INFORMATION AND TECHNOLOGY UNIMOR (JITU)*, 1(2), pp. 54-58.
- [4] Maesaroh, S., Mubarak, R., Hakim, L., Yunianto, I., Mutmainah, S., Santoso, H., Utami, W. S., Nugroho, A. Y., Oleh, K., Soleh, S., Oktavian, R., Alam, S., Solihin, S., Waseso, B., Yusuf, M., and Roza, Y. 2024. *Pembelajaran Mesin dan Kecerdasan Buatan: Teori dan Aplikasi Praktis*, PT Sada Kurnia Pustaka, Banten
- [5] Wulandari, N., Erfiani, E., Irzaman, I., and Syafitri, U.D., 2022. Rancangan G-Optimal pada Model Non-Linier Untuk Meningkatkan Kadar Kemurnian Silikon Dioksida. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), pp. 149-151.
- [6] Pandia, W., and Sitepu, I., 2021. Penentuan Galat Persamaan Diferensial Biasa Orde 1 dengan Metode Numerik. *Jurnal Mutiara Pendidikan Indonesia*, 6(1), pp. 31-37.
- [7] Barkah, R.F., Nabila, Widia, and Andes, 2022. Pengaruh Pendekatan RME Berbantuan Media Konkret Terhadap Hasil Belajar Matematika Siswa Kelas IV. *Jurnal PANCAR (Pendidikan Anak Cerdas dan Pintar)*, 6(1), pp. 206-210.
- [8] Hanafi, L., Kamiran, K., Sadjidon, S., and Prasetyo, R. E., 2024. Aplikasi Metode Adams-Bashforth-Moulton Model Verhulst Pada Hasil Panen Padi di Kabupaten Jombang. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 21(1), pp. 43-52.
- [9] Ramadhan, Y.A., Faqih, A., and Dwilestari, G., 2023. Prediksi Penjualan Handphone di Toko X Menggunakan Algoritma Regresi Linear. *Jurnal Informatika Terpadu*, 9(1), pp. 40-44.
- [10] Ginting, M. E., Hasibuan, E. S. H., Dani, D. R., Friskauly, N. D., and Hulu, W. W., 2024. Penyelesaian Masalah Limit Fungsi dengan Menggunakan Software MATLAB (Matrix Laboratory). *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 2(6), pp. 34-47.
- [11] Astuti, S. P., and Alhidayatuddiniyah, T. W., 2020. Pemanfaatan Software Matrix Laboratory (MATLAB) untuk Meningkatkan Minat Belajar Mahasiswa dalam Pembelajaran Fisika Kinematika. *Pendekar: Jurnal Pendidikan Berkarakter*, 3(2), pp. 54-57.