



Estimasi Parameter pada Model Matematis Perubahan Suhu Dinding Rumah menggunakan Algoritma Genetika

Muhammad Ammar Alkautsar, Rifky Fauzi*

Program Studi Matematika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Lampung.

*Correspondence: E-mail: rifky.fauzi@ma.itera.ac.id

ABSTRAK

Pada penelitian ini dikaji masalah variasi suhu selama 24 jam pada dinding rumah yang dimodelkan sebagai persamaan diferensial melalui hukum pendinginan/pemanasan Newton. Untuk dapat menggambarkan fenomena tersebut, yakni dalam hal menentukan estimasi parameter pada model tersebut diperlukan Algoritma Genetika. Algoritma ini cukup valid digunakan untuk memodelkan data sintesis (data yang dibangkitkan dari formula analitik) karena menghasilkan error yang cukup kecil yakni sebesar 0.1168. Kemudian algoritma genetika digunakan untuk mengestimasi parameter dalam bentuk vektor yang dibandingkan dengan data hasil pengamatan. Dalam hal ini model pendinginan/pemanasan Newton diselesaikan dengan metode beda hingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameternya bervariasi pada rentang-waktu tertentu, khususnya adanya perubahan nilai negatif dan positif. Hal ini menunjukkan bahwa dinding mengalami proses pendinginan dan pemanasan pada rentang waktu tertentu. Lebih lanjut, hasil modelnya menunjukkan bahwa algoritma ini cukup baik yakni dengan *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 0.13105.

© 2024 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

ABSTRACT

This research focuses on the problem of temperature variation over 24 hours on house walls, modeled as a differential equation through Newton's law of cooling/heating. To describe this phenomenon accurately, a Genetic Algorithm is employed to estimate the parameters in the model. This algorithm is valid to be used to model synthetic data (data generated from analytical formulas) because it produces a fairly small error, namely 0.1168. Subsequently, the Genetic Algorithm is used to estimate parameters in vector form, which are then compared with observed data. The Newton's cooling/heating model is solved using finite difference methods. The results indicate that the parameters vary over specific time intervals, showing both negative and positive changes, demonstrating that the walls undergo cooling and heating processes during certain periods. Furthermore, the model results show that this algorithm performs well, with a Root Mean Squared Error (RMSE) of 0.13105.

© 2024 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima 20 April 2024

Direvisi 28 April 2024.

Disetujui 1 Mei 2024

Tersedia online 2 Mei 2024

Dipublikasikan 2 Mei 2024

Kata Kunci:

Algoritma Genetika,
Hukum Pendinginan/Pemanasan
Newton,
Metode Beda Hingga,
Pemanasan Dinding Rumah.

Keywords:

Finite Difference Method,
Genetic Algorithm,
Newton's Law of Cooling/Heating,
Wall Heating.

1. PENDAHULUAN

Persamaan Diferensial merupakan salah satu bidang dalam matematika yang sangat menarik dan memberikan wawasan penting mengenai berbagai fenomena dunia nyata. Banyak kejadian sehari-hari yang dapat dimodelkan menggunakan persamaan diferensial, seperti pemodelan penyakit (Puspita, *et al.*, 2023) dan pertumbuhan bakteri dalam ilmu kesehatan (Huang, 2013), serta pemodelan perambatan gelombang (Fauzi & Wiryanto, 2018), perpindahan panas (Kazem & Dehghan, 2017), dan dinamika sistem pegas (Ayadi, 2018). Persamaan Diferensial sendiri merupakan persamaan yang menghubungkan fungsi yang tidak diketahui dengan turunannya. Untuk penyelesaian persamaan diferensial biasanya apabila solusi analitiknya tidak bisa dikerjakan, maka dapat dicari solusi hampirannya dengan menggunakan metode numerik.

Salah satu fenomena sehari-hari yang dapat dijelaskan oleh persamaan diferensial adalah masalah perubahan suhu pada dinding rumah. Respon perubahan suhu akibat paparan sinar matahari sepanjang pagi hingga siang hari sangat dipengaruhi dari jenis material terluar yang digunakan (Balaji, *et al.*, 2014). Material-material tertentu seperti bahan tertentu seperti VIP, PCM, ACC, dan kulit polimer dapat digunakan sebagai lapisan terluar suatu bangunan (Latha, *et al.*, 2015). Jenis material mempengaruhi dapat mempengaruhi insulasi ruangan karena mempengaruhi koefisien transfer panas, khususnya interaksi antara suhu dalam dan luar ruangan (Wang, *et al.*, 2022). Dalam kondisi ekstrim seperti wilayah dengan suhu sangat dingin atau sangat panas, masalah insulasi ini menjadi faktor penting dari kenyamanan suatu bangunan.

Studi ini membahas mengenai model perubahan suhu pada dinding rumah. Perubahan suhu terluar rumah dimodelkan dengan prinsip pendinginan Newton (Vollmer, 2009). Prinsip ini menyatakan bahwa perubahan suhu sebanding dengan suhu saat itu. Karena perubahannya bergantung pada konstanta tersebut, maka pemilihan material tertentu akan berdampak pada perubahan suhu tiap waktunya. Untuk negara tropis, perubahan suhu sangatlah dipengaruhi oleh kondisi sekitar khususnya penyinaran matahari (Arminda & Kamaruddin, 2021).

Pada studi ini, model pendinginan/pemanasan Newton digunakan untuk memodelkan perubahan suhu dinding terluar rumah berdasar data pada (Arminda & Kamaruddin, 2021). Namun, karena kompleksitas skenario data pengamatan, solusi numerik digunakan untuk menyelesaikan model tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi parameter berupa koefisien panas pada model tersebut dengan menggunakan Algoritma Genetika. Algoritma Genetika (GA) dipilih untuk estimasi parameter karena kemampuannya yang kuat dalam optimasi, sehingga memungkinkan untuk eksplorasi di ruang pencarian parameter yang berdimensi tinggi dan kompleks. Selain itu, GA serta kemampuannya dalam menangani nonlinieritas (El-Shorbagy & El-Refaey, 2020). GA juga sangat ideal untuk estimasi parameter karena adaptabilitas dan fleksibilitasnya, sehingga dapat mengakomodasi berbagai masalah dan kendala. Metode ini digunakan karena sangat baik dalam melakukan estimasi parameter pada model akurat (Zhu, *et al.*, 2021).

2. METODE

2.1 Data Penelitian

Penelitian ini data sekunder yang bersumber dari (Arminda & Kamaruddin, 2021). Model Matematika akan digunakan untuk menggambarkan perubahan suhu pada dinding luar dan dalam rumah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data suhu dinding rumah tiap jam. Sumber: (Arminda & Kamaruddin, 2021)

No.	Jam	Suhu Dinding Luar (C)	No.	Jam	Suhu Dinding Luar (C)
1	06.00	26	10	15.00	35.8
2	07.00	26.2	11	16.00	35
3	08.00	28	12	17.00	33.5
4	09.00	31	13	18.00	28.1
5	10.00	32	14	19.00	27.8
6	11.00	34	15	20.00	27.4
7	12.00	35	16	21.00	27.2
8	13.00	36	17	22.00	27
9	14.00	36.3			

2.2 Model Perubahan Suhu Newton

Perubahan suhu merupakan fenomena yang sering dirasakan dalam kehidupan sehari-hari. Suatu objek dapat terasa hangat dan juga dapat terasa dingin pada waktu tertentu. Perubahan suhu tersebut dapat dimodelkan dengan menggunakan Persamaan Diferensial Biasa Orde 1 (PDB Orde 1). Persamaan Diferensial Biasa Orde 1 sendiri merupakan persamaan diferensial yang mempunyai satu variabel dan memuat turunan pertama (Edwards & Penney, 2008). Model perubahan suhu Newton dapat dinyatakan sebagai laju perubahan suhu objek sebanding dengan selisih suhu objek pada waktu tersebut dengan suhu lingkungan, yaitu:

Dari Persamaan (2.1) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dT(t)}{dt} = k(T(t) - T_a) \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = f(t, T) = k(T_n - T_a) \quad (2)$$

dengan kondisi saat suhu untuk waktu ke 0, yaitu $T(t_0) = T_0$. Misalkan $T_n = T(t_n)$ adalah nilai T di t_n yang akan dihitung secara numerik. Dalam hal ini $t_n = t_0 + nh, n = 0, 1, 2, 3, \dots, N$.

Metode Euler diturunkan dengan cara melakukan ekspansi deret Taylor pada $T(t_n)$ disekitar t_n :

$$T(t_{n+1}) = T(t_n) + hT'(t) + \frac{h^2}{2!}T''(t) + \dots$$

dengan $h = t_{n+1} - t_n$. Bila Persamaan (3.2) dipotong sampai suku orde tiga, maka diperoleh Persamaan (3.3):

$$T(t_{n+1}) = T(t_n) + hT'(t) + \frac{h^2}{2!}T''(t)$$

Kemudian Persamaan (3.1) disubstitusikan ke Persamaan (3.3), sehingga diperoleh:

$$T(t_{n+1}) = T(t_n) + hf(t_n, T(t_n)) + \frac{h^2}{2!}f'(t_n, T(t_n))$$

Apabila didapat nilai h yang cukup kecil, sehingga nilai $\frac{h^2}{2!} f'(t_n, T(t_n))$ sangat kecil. Akibatnya suku tersebut dapat diabaikan, sehingga didapat metode Euler sebagai berikut:

$$T_{(n+1)} = T_n + hf(t_n, T_n) \quad (3)$$

Metode ini biasa dikenal juga sebagai metode beda hingga karena mengaproksimasi turunan dengan formula beda (Enkekes & Fauzi, 2023). Metode ini, khususnya pada masalah *time dependent* banyak digunakan dalam mengaproksimasi model dalam bentuk persamaan diferensial untuk masalah perubahan suhu (Noor, et. al., 2022), perambatan gelombang (Fauzi & Wiryanto, 2017), aliran lapis tipis (Wiryanto, et. al., 2022), longSORan granular (Fauzi & Wiryanto, 2021) (Fauzi & Wiryanto, 2023), proteksi pesisir dengan mangrove (Magdalena, et. al, 2022), tsunami (Firdaus, et. al., 2022), dan bendungan bobol (Magdalena, et. al, 2021).

Selanjutnya substitusikan $f(t_n, T_n) = k(T_n - T_a)$ ke Persamaan (3.5), sehingga diperoleh:

$$T_{(n+1)} = T_n + k(T_n - T_a)h \quad (4)$$

2.3 Root Mean Squared-Error

RMSE digunakan untuk mengevaluasi akurasi model prediksi. Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik model tersebut dalam memprediksi data. Formula RMSE adalah sebagai berikut

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (T_i - T(t_i))^2} \quad (5)$$

dengan n adalah jumlah total observasi, T_i adalah nilai aktual dari observasi ke- i , $T(t_i)$ adalah nilai yang diprediksi oleh model untuk observasi ke- i . RMSE memberikan gambaran tentang seberapa baik model dalam memprediksi data dengan menghitung akar dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai yang diprediksi dan nilai aktual. Model yang menghasilkan nilai RMSE yang cukup kecil menandakan kebaikan dari model tersebut.

2.4 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika atau *Genetic Algorithm* (GA) adalah metode pencarian solusi optimum dari masalah optimasi berbasis evolusi biologis yang terinspirasi oleh teori seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan memperbaiki populasi solusi potensial (kromosom) dari satu generasi ke generasi berikutnya. Selama evolusi dalam generasi akan ada percampuran genetik (crossover) dan juga ada perubahan informasi genetik dalam kromosom (mutasi). Untuk melahirkan generasi berikutnya GA hanya menyeleksi kandidat-kandidat yang sesuai dengan kebutuhan (fitness).

Sebelum memulai GA, diperlukan beberapa hyperparameter, parameter-parameter yang harus ditentukan sebelum proses optimisasi dimulai yang berbeda dengan konteks masalah optimisasi yang diangkat, yakni:

1. **Ukuran Populasi:** Jumlah individu (kromosom) dalam populasi, besar kecilnya berdampak pada keberagaman genetik. Ukuran populasi yang lebih besar berdampak pada kebutuhan sumber daya komputasi yang lebih banyak.
2. **Jumlah Generasi:** Banyak keturunan baru yang dihasilkan, dengan kata lain merupakan jumlah iterasi yang akan dijalankan oleh algoritma. Banyaknya generasi (iterasi) memberikan kesempatan bagi algoritma untuk menjelajah kandidat-kandidat solusi optimum dalam ruang pencarian.

3. **Tingkat Crossover (Probabilitas):** Nilai probabilitas melakukan crossover antara pasangan orang tua suatu generasi. Tingkat crossover yang lebih tinggi mendorong pencampuran informasi genetik untuk meningkatkan keberagaman pada generasi baru.
4. **Tingkat Mutasi (Probabilitas):** Nilai probabilitas perubahan acak pada informasi genetik masing-masing individu. Tingkat mutasi yang lebih tinggi meningkatkan peluang individu untuk bermutasi sehingga diperoleh keberagaman genetik (kandidat solusi optimum).
5. **Fungsi Fitness:** Fungsi yang mengevaluasi seberapa baik, mengembalikan sebuah nilai riil, dari individu (kromosom). Dalam estimasi parameter, fungsi fitness yang dapat digunakan adalah formula ukuran kesalahan misalnya Mean-squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE).

Langkah-langkah GA adalah sebagai berikut

i. Inisialisasi Populasi

Langkah pertama dalam algoritma genetika (AG) adalah menginisialisasi populasi awal dengan sejumlah individu (solusi potensial) secara acak. Setiap individu direpresentasikan sebagai serangkaian nilai-nilai yang disebut sebagai kromosom.

ii. Evaluasi Fitness

Setelah populasi awal dibentuk, setiap individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi fitness. Fungsi ini mengukur seberapa baik suatu individu menyelesaikan masalah atau mendekati solusi yang optimal.

iii. Seleksi

Individu yang memiliki nilai fitness yang lebih tinggi cenderung lebih berpeluang untuk bertahan dan bereproduksi. Proses seleksi ini mirip dengan proses seleksi alamiah di mana individu yang lebih baik beradaptasi lebih baik terhadap lingkungannya.

iv. Reproduksi (Crossover dan Mutasi)

Proses reproduksi dalam AG melibatkan penggabungan kromosom dari dua individu yang dipilih (crossover) untuk menghasilkan keturunan baru. Selain itu, kadang-kadang dilakukan mutasi pada kromosom untuk memperkenalkan variasi baru ke dalam populasi.

v. Generasi Baru

Dengan langkah-langkah di atas, generasi baru individu terbentuk. Proses evaluasi, seleksi, dan reproduksi diulang untuk generasi berikutnya. Proses ini dilakukan berulang kali hingga mencapai kriteria berhenti atau konvergensi terhadap solusi yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Koefisien Panas bervariasi linear

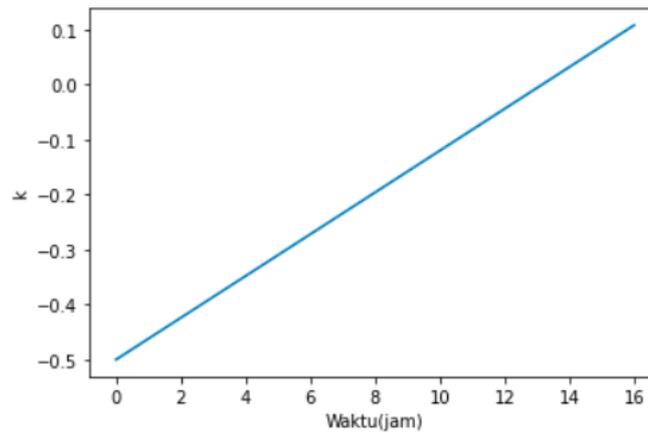
Perubahan suhu yang dapat naik dan turun pada dinding, menyebabkan nilai k dapat bernilai positif dan negatif. Selanjutnya, akan mengestimasi nilai k yang sesuai dengan model. Diberikan persamaan perubahan suhu, sebagai berikut:

$$\frac{dT(t)}{dt} = k(t)(T(t) - T_a) \quad (6)$$

Koefisien k diasumsikan bervariasi terhadap waktu dalam bentuk fungsi linear, yaitu:

$$k(t) = mt + b$$

Dipilih nilai $m = 0.038$ dan $b = -0.5$. Grafik fungsi $k(t)$ dapat dilihat pada Gambar 1.



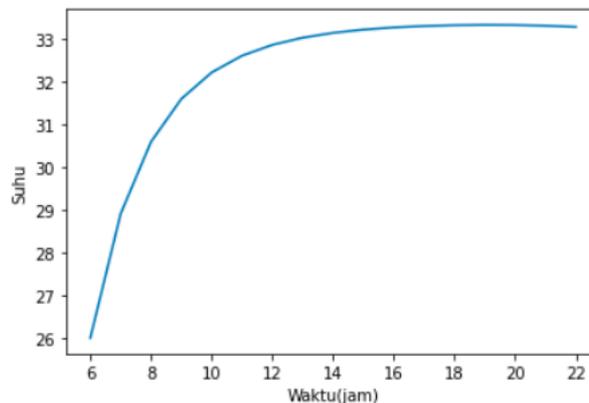
Gambar 1. Koefisien transfer panas monoton naik.

Gambar 1 menggambarkan nilai k berubah setiap waktu dengan nilai k yang bernilai negatif hingga positif. Selanjutnya, akan membentuk data analitik yang akan digunakan untuk mengestimasi nilai m dan b agar mendapatkan nilai yang tepat.

Dari persamaan perubahan suhu diperoleh solusi khusus Persamaan 6 sebagai berikut,

$$T(t) = T_0 e^{\frac{mt^2}{2} + bt} + T_a \left(1 - e^{\frac{mt^2}{2} + bt} \right) \quad (7)$$

Gambar 2 menggambarkan data yang didapat dari solusi analitik T , Persamaan (7). Pada data analitik suhu cenderung meningkat dan selanjutnya akan konstan sesuai dengan besar nilai T_a . Data yang diperoleh pada Gambar 2 akan digunakan untuk mengestimasi nilai m dan b . Data ini akan digunakan sebagai data sintesis untuk menguji hasil estimasi parameter pada model Newton menggunakan Algoritma Genetika.



Gambar 2. Solusi analitik persamaan (7)

Algoritma Genetika agar didapat nilai yang tepat. Fungsi tujuan yang akan digunakan untuk mengestimasi nilai m dan b , yaitu

$$\min_{(m,b)} \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (T_i(m, b) - data_i)^2 \quad (7)$$

dengan $T_i(m, b)$ merupakan solusi analitik model perubahan suhu dengan parameter m dan b untuk $t = t_i$, $data_i$ merupakan data analitik ke- i .

i. Inisialisasi Populasi

Langkah pertama adalah menginisialisasi populasi awal dengan sejumlah individu (solusi potensial) secara acak. Representasi kromosom pada masalah ini adalah berupa vektor berdimensi dua yakni (m, b) , sebagai contoh individu dengan kromosom $(2.5, -1)$ merepresentasikan parameter $m = 2.5$ dan $b = -1$. Ilustrasi informasi kromosom masing-masing individu dapat dilihat pada Tabel

Tabel 2. Data suhu dinding rumah tiap jam. Sumber: (Arminda & Kamaruddin, 2021)

Individu	Kromosom
1	$(2.5, -1)$
2	$(-1.4, 4)$
3	$(-3.4, -2)$
4	$(1.2, 5.6)$

Populasi yang dibangkitkan adalah dengan kromosom sebagai berikut

$$P = \{(m_i, b_i) | m_{min} \leq m_i \leq m_{max}, b_{min} \leq b_i \leq b_{max}\}$$

untuk $i = 1, 2, \dots, N_{pop}$, dengan N_{pop} banyaknya populasi. Sedangkan Nilai m_{min} , m_{max} , b_{min} , dan b_{max} merupakan batas bawah dan batas atas berturut-turut untuk masing-masing parameter. Untuk nilai rentangnya akan menyesuaikan dengan masalah yang diangkat. Setiap individu direpresentasikan sebagai serangkaian nilai-nilai yang disebut sebagai kromosom.

ii. Evaluasi Fitness

Fungsi fitness yang digunakan adalah:

$$fitness = \min_{(m,b)} (L(m, b))$$

dengan L berasal dari Persamaan (7) yakni:

$$L(m, b) = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (T_i(m, b) - data_i)^2$$

iii. Seleksi

Individu-individu yang memiliki nilai fitness yang lebih tinggi akan dipilih sebagai individu yang bertahan dan untuk bereproduksi menghasilkan keturunan. Metode yang digunakan dalam permasalahan ini adalah metode *Roulette Wheel Selection*, yakni metode seleksi yang bergantung pada nilai fitness. Artinya, individu dengan fitness yang lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam seimbang antara eksplorasi dan eksploitasi (kandidat solusi optimum) dalam masalah berdimensi tinggi, sehingga dapat menghasilkan hasil baik secara dan akurat (Ma, et. al., 2024).

iv. Reproduksi (Crossover dan Mutasi)

Pada proses crossover, kromosom bermutasi dengan saling silang kromosom sebagai contoh $P_1 = (m_1, b_1)$ dan $P_2 = (m_2, b_2)$ menjadi populasi baru $P_n = (m_1, b_2)$. Metode crossover yang digunakan adalah crossover satu titik (single-point crossover). Titik crossover (posisi kromosom) secara acak dipilih, dan keturunan baru diciptakan dengan menukar informasi genetik antara induk pada titik tersebut. Misalkan terdapat dua kromosom induk

yang mewakili kandidat solusi potensial: induk [2.5,1.8] dan induk [3.0,1.5]. Keturunan yang dihasilkan adalah keturunan [2.5, 1.5] dan keturunan [3.0, 1.8].

Pada proses mutasi, digunakan metode dengan mengganti setiap gen dalam setiap informasi genetik individu untuk diganti dengan nilai acak dari distribusi normal. Misalkan diterapkan probabilitas mutasi sebesar 10% (nilai hipotetis) pada salah satu keturunan dari contoh crossover, maka setiap individu memiliki peluang 0.1 untuk bermutasi (informasi genetik berganti). Misal terdapat keturunan asli [1.2, 1.5], jika mutasi terjadi maka informasi genetiknya menjadi [1.2, 1.7], Mutasi memastikan bahwa keturunan mengeksplorasi bagian berbeda dari ruang pencarian parameter.

v. Generasi Baru

Dengan langkah-langkah di atas, generasi baru individu terbentuk. Proses evaluasi, seleksi, dan reproduksi diulang untuk generasi berikutnya. Proses ini dilakukan berulang kali hingga mencapai kriteria berhenti (iterasi maksimum) .

Tabel 3. Daftar parameter algoritma genetik yang digunakan

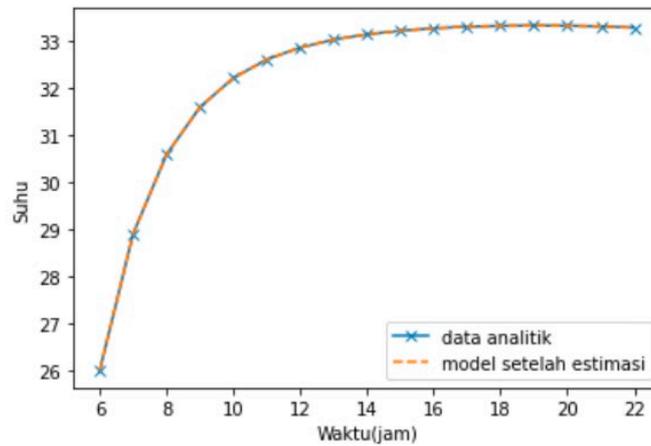
Parameter	Jumlah
Iterasi	100
mutasi	0,1
crossover	0,985
parents	0,013

Tabel 4. Nilai RMSE terhadap banyak populasi yang digunakan

Populasi	RMSE
15000	0.1486
17000	0.4930
20000	0.1168
23000	0.1744

Hyper parameter yang digunakan yakni jumlah iterasi, populasi, mutasi, crossover dan parents disajikan pada Tabel 3. Pengaruh banyaknya populasi terhadap RMSE yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, nilai terkecil didapat pada saat populasi sebesar 20000. Hasil estimasinya untuk kedua koefisien model adalah $m_{est} = 0.0380$ dan $b_{est} = -0.5006$. Grafik dari hasil model dapat dilihat pada Gambar 3.

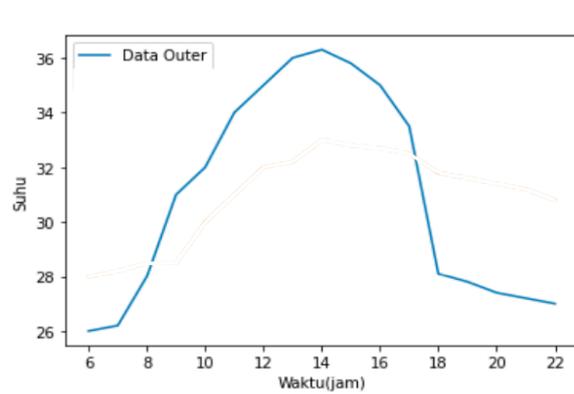
Gambar 3 menampilkan simulasi hasil dari model perubahan suhu pada dinding. Algoritma Genetika berhasil mengestimasi nilai m dan b sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan data yang digunakan. Nilai RMSE hasil model adalah 0.1168. Ini menunjukkan bahwa luaran model hasil estimasi cukup baik dalam mendekati data sintesis (data analitik).



Gambar 3. Perbandingan data dengan model hasil estimasi parameter.

3.2 Koefisien Panas Berupa Vektor

Dalam studi ini, suhu dinding luar akan didekati dengan menggunakan hukum pendinginan Newton dengan koefisien perpindahan panas yang diestimasi sebagai sebuah vektor. Pendekatan ini melibatkan vektor koefisien multi-dimensi yakni 10 dan 13 dimensi yang mencirikan sifat termal sistem. Studi ini menggunakan algoritma genetik untuk memperkirakan vektor koefisien ini. Proses dimulai dengan mendefinisikan koefisien sebagai vektor dengan dimensi tertentu. Selanjutnya, dibangun model beda hingga yang menggabungkan vektor koefisien ini untuk mensimulasikan proses perpindahan panas. Model beda hingga ini penting karena dapat digunakan untuk mendekati perubahan suhu dari waktu ke waktu, yang mencerminkan dinamika pendinginan atau pemanasan yang diatur oleh hukum Newton. Gambar 4 menyajikan perubahan suhu dari relatif rendah kemudian meningkat dan kemudian menurun kembali. Hal ini mengindikasikan adanya proses pemanasan dan pendinginan sepanjang waktu.



Gambar 4. Plot suhu dinding luar tiap jam dari pagi hingga malam.

Untuk menemukan vektor koefisien yang paling sesuai, dibuat fungsi fitness yang mengkuantifikasi kesalahan antara data yang diamati dan prediksi model, diukur dengan root mean square error (RMSE). Algoritma genetik secara iteratif mencari vektor koefisien optimal yang meminimalkan kesalahan ini. Algoritma ini bekerja dengan mensimulasikan proses seleksi alam, di mana solusi potensial berevolusi selama beberapa generasi untuk meningkatkan fitness. Hasilnya adalah vektor koefisien yang paling sesuai dengan data suhu yang diamati, menyediakan model yang efektif untuk perilaku pemanasan dan pendinginan.

Metode ini menawarkan cara yang kuat untuk memperkirakan koefisien perpindahan panas, memfasilitasi prediksi dan analisis yang akurat dari sistem termal.

$$L = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (T_i - data_i)^2$$

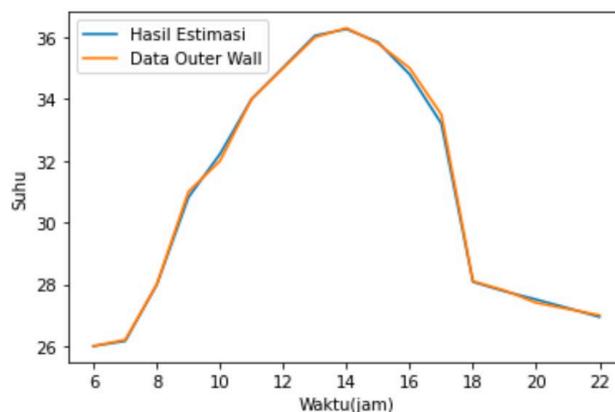
dengan T merupakan vektor yang didapat dari metode beda hingga pada Persamaan 4 sebagai berikut

$$T_{(i+1)} = T_i + k_i(T_i - T_a)h$$

Pada studi ini digunakan parameter yang dirancang berdimensi 13, parameternya adalah k_{13} , artinya bahwa parameternya ditetapkan untuk bervariasi sebanyak 13. Dengan menggunakan hyper parameter yang sama sebagai mana Tabel 2, diperoleh koefisien transfer panas hasil estimasi sebagai berikut:

$$\bar{k}_{13} = \begin{cases} -0.02130172, & t = 0 \\ -0.24600564, & t = 1 \\ -0.50429976, & t = 2,3 \\ -1.28987941, & t = 4 \\ 2.55710206, & t = 5 \\ 0.72638, & t = 6 \\ 0.08692577, & t = 7 \\ -0.16036974, & t = 9 \\ -0.4655222, & t = 10 \\ -1.32643398, & t = 11 \\ 13.13706372, & t = 12 \\ 0.05552612, & t = 13,14,15,16 \end{cases}$$

Nilai $t = 0,1,2, \dots, 16$ menyatakan waktu dalam jam dari pengamatan pertama pengukuran suhu. Ekspresi parameter tersebut menunjukkan berbagai set koefisien untuk model dengan dimensi yang berbeda di setiap waktu pengamatan (t). Dimensionalitas model mencerminkan variasi nilai parameter yang diperoleh, dengan dimensi yang lebih tinggi memungkinkan penangkapan variasi suhu yang lebih rinci tetapi juga berpotensi menyebabkan *overfitting*. Koefisien yang bervariasi dari waktu ke waktu, menunjukkan sifat dinamis dari perubahan suhu. Misalnya, dalam model 13 dimensi, koefisien pada $t=5$ bernilai positif yang cukup besar, menunjukkan dampak kuat peningkatan suhu (pemanasan) estimasi suhu, demikian juga pada $t=12$.



Gambar 5. Perbandingan hasil model dan data aktual suhu dinding luar.

Hasil luaran model dapat dilihat pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa luaran model dapat mengikuti data aktual. Nilai RMSE hasil model adalah 0.13105. Ini menunjukkan bahwa hasil estimasi parameter pada model perubahan suhu Newton cukup baik.

4. KESIMPULAN

Persamaan Diferensial dapat digunakan untuk memodelkan berbagai kejadian sehari-hari. Model perubahan suhu pada dinding rumah selama 24 jam dapat dijelaskan menggunakan Persamaan Diferensial Biasa (PDB) dengan hukum pendinginan Newton. Karena kompleksitas skenario dunia nyata yang ditunjukkan oleh data pengamatan, solusi numerik digunakan untuk mensimulasikan perubahan suhu dengan akurat, menggunakan metode Euler yang sederhana namun efektif. Parameter model diestimasi dengan menggunakan Algoritma Genetika (GA) agar luaran model dapat menggambarkan fenomena sebenarnya. GA pertama kali diuji pada data sintesis, hasilnya menunjukkan bahwa hasil estimasinya sangat akurat yang dibuktikan dengan nilai RMSE yang cukup kecil yakni 0.1168. GA kemudian digunakan untuk melakukan estimasi parameter pada model terhadap data pengamatan suhu dinding. Hasilnya menunjukkan bahwa model perubahan suhu pada dinding rumah yang dihasilkan cukup akurat dengan nilai RMSE yang kecil, sehingga dapat diandalkan dalam memprediksi perubahan suhu dengan baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ikha Magdalena, Institut Teknologi Bandung untuk diskusi yang menginisiasi dan membimbing penyelesaian masalah yang diangkat pada penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arminda, W., & Kamaruddin, M. (2021). Heat transfer through building envelope materials and their effect on indoor air temperatures in tropics. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(2), 403.
- Ayadi, S. (2008). Finite element solution of dynamic response of helical springs. *International Journal of Simulation Modelling*, 7(1), 17–28.
- Balaji, N. C., Mani, M., & Reddy, B. V. V. (2014). Discerning heat transfer in building materials. *Energy Procedia*, 54, 654–668.
- El-Shorbagy, M. A., & El-Refaey, A. M. (2020). Hybridization of grasshopper optimization algorithm with genetic algorithm for solving system of non-linear equations. *IEEE Access*, 8, 220944–220961.
- Enkekes, Y. B., & Fauzi, R. (2023). Simulasi terbentuknya gelombang permukaan akibat adanya longsoran bawah laut (Metode Lax- Friedrich). *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 2(2), 40–43.
- Fauzi, R., & Wiryanto, L. H. (2017). On the staggered scheme for shallow water model down an inclined channel. *AIP Conference Proceedings*, 1867(020002), 1-8.
- Fauzi, R., & Wiryanto, L. H. (2018). Kestabilan aproksimasi numerik model linear aliran fluida pada bidang miring. *Konferensi Nasional Matematika XIX*, 395–400.
- Fauzi, R., & Wiryanto, L. H. (2021). Momentum conservative scheme for simulating granular landslide over an inclined rigid bed. *Advances and Applications in Fluid Mechanics*, 27(1), 37–45.

- Fauzi, R., & Wiryanto, L. H. (2023). Numerical simulation of granular landslide using predictor-corrector method. *AIP Conference Proceedings*, 2903(060001), 1-8.
- Firdaus, K., Matin, A. M. A., Nurisman, N., & Magdalena, I. (2022). Numerical study for Sunda Strait Tsunami wave propagation and its mitigation by mangroves in Lampung, Indonesia. *Results in Engineering*, 16(100605), 1-11.
- Huang, L. (2013). Optimization of a new mathematical model for bacterial growth. *Food Control*, 32(1), 283–288.
- Kazem, S., & Dehghan, M. (2017). Application of finite difference method of lines on the heat equation. *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 34(2), 626–660.
- Latha, P. K., Darshana, Y., & Venugopal, V. (2015). Role of building material in thermal comfort in tropical climates – A review. *Journal of Building Engineering*, 3, 104–113.
- Ma, H., Li, M., Siyu Lv, Wang, L., & Deng, S. (2024). Roulette wheel-based level learning evolutionary algorithm for feature selection of high-dimensional data. *Applied Soft Computing*, 163(111948).
- Magdalena, I., Hariz, A. A. A., Farid, M., & Kusuma, M. S. B. (2021). Numerical studies using staggered finite volume for dam break flow with an obstacle through different geometries. *Results in Applied Mathematics*, 12(100193), 1-14.
- Magdalena, I., Karima, N., Delfina, P., & Ferren, V. (2022). Wave damping by breakwater and mangrove for protecting shoreline. *Results in Engineering*, 16(100693), 1-10.
- Noor, D. M. M., Haniah, H., & Magdalena, I. (2022). Mathematical model for a liquid heat loss. *AIP Conference Proceedings*, 2479(1), 1-8.
- Puspita, J. W., Farida, Fakhruddin, M., Nuraini, N., Fauzi, R., Indratno, S. W., & Soewono, E. (2023). Modeling and descriptive analysis of dengue cases in Palu City, Indonesia. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 625, 129019.
- Vollmer, M. (2009). Newton's Law of Cooling Revisited. *European Journal of Physics*, 30(5), 1063–1084.
- Wang, Y., Liu, K., Liu, Y., Wang, D., & Liu, J. (2022). The impact of temperature and relative humidity dependent thermal conductivity of insulation materials on heat transfer through the building envelope. *Journal of Building Engineering*, 46, 103700.
- Wiryanto, L. H., R. Widyawati, R. Fauzi, Putra, G., & E. Noviani. (2022). Simulation of wave propagation on thin film. *Advances and Applications in Fluid Mechanics*, 29, 45–58.
- Zhu, Z. Q., Liang, D., & Liu, K. (2021). Online parameter estimation for permanent magnet synchronous machines: An overview. *IEEE Access*, 9, 59059–59084.