

PEMANFAATAN MATLAB UNTUK PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM BIOLOGI MENGGUNAKAN PERSAMAAN DIFERENSIAL

Mikha Adillah Zendrato¹, ivahni², Ndor Damayanti Silalahi³, Ruth Sahanaya Manik⁴, Fevi Rahmawati Suwanto⁵

mikhahzendrato@gmail.com¹, yanti040503@gmail.com², putririzky2407@gmail.com³,
hanamanik2003@gmail.com⁴, fevirahmawati@unimed.ac.id⁵

Unimed

ABSTRAK

Pemodelan dan simulasi sistem biologi menggunakan persamaan diferensial adalah pendekatan yang penting dalam memahami dinamika populasi dan fenomena biologis lainnya. Dalam penelitian ini, kami menjelaskan pemanfaatan MATLAB sebagai alat untuk pemodelan dan simulasi sistem biologi dengan fokus pada pertumbuhan populasi. Kami menggunakan persamaan diferensial yang umum digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan populasi, dan mengimplementasikannya dalam MATLAB. Dengan mengidentifikasi parameter model dan menyelesaikan persamaan diferensial numerik, kami melakukan simulasi pertumbuhan populasi ikan di sebuah danau sebagai studi kasus. Hasil simulasi kami menunjukkan pola pertumbuhan populasi dari waktu ke waktu dan memungkinkan analisis kuantitatif deskriptif tentang dinamika sistem. Melalui penelitian ini, kami menegaskan bahwa MATLAB merupakan alat yang efektif untuk memodelkan dan menganalisis sistem biologi, memberikan wawasan yang berharga tentang perilaku populasi dan fenomena biologis lainnya.

Kata Kunci: MATLAB, Persamaan Diferensial, dan Populasi.

ABSTRACT

Modeling and simulating biological systems using differential equations is an important approach in understanding population dynamics and other biological phenomena. In this study, we describe the use of MATLAB as a tool for modeling and simulating biological systems with a focus on population growth. We use commonly used differential equations to describe population growth, and implement them in MATLAB. By identifying model parameters and solving numerical differential equations, we simulated fish population growth in a lake as a case study. Our simulation results show patterns of population growth over time and enable quantitative descriptive analysis of system dynamics. Through this research, we confirm that MATLAB is an effective tool for modeling and analyzing biological systems, providing valuable insights into population behavior and other biological phenomena.

Keywords: MATLAB, Differential equations, and population.

PENDAHULUAN

Perkembangan dan kehadiran teknologi komputer dewasa ini telah memberikan kemudahan berbagai pihak untuk menggunakannya dalam bidang kehidupan, termasuk pendidikan, sebagai sarana penunjang pendidikan. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan komputer dapat mempertinggi efisiensi suatu pekerjaan yang disebabkan adanya kelebihan/manfaat dari komputer. Kelebihan tersebut diantaranya adalah dapat mengerjakan pekerjaan dengan cepat dan tepat, dapat menyimpan data maupun

memanggilnya kembali dan dapat memproses data/informasi dalam cakupan besar. Bahkan dengan adanya perkembangan teknologi khususnya dalam program-program aplikasinya, saat ini komputer semakin memberikan manfaat yang besar di dunia pendidikan, khususnya dalam proses pembelajaran.

Terdapat ratusan bahkan ribuan program aplikasi atau perangkat lunak yang dapat dimanfaatkan untuk pembelajaran matematika, yang terpenting adalah bahwa pengajar harus memiliki pengetahuan/wawasan dan keterampilan menggunakan berbagai perangkat lunak tersebut serta mampu memilih perangkat lunak yang sesuai untuk mendukung pembelajaran topik tertentu, dalam hal ini topik aljabar linier. Salah satu perangkat lunak bantu yang dapat digunakan dalam pembelajaran Aljabar linier yaitu Matrix Laboratory (MATLAB). Program ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kecepatan, dan keakuratan dalam berbagai perhitungan dalam materi aljabar linier sehingga waktu yang diperlukan untuk mengerjakan lebih efisien dan hasil yang diperoleh lebih akurat dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan secara manual, juga dapat memvisualisasikan gerak dalam bentuk 2 dimensi maupun 3 dimensi, yang tentu saja sulit jika digambar secara manual, sehingga diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap materi yang dipelajari.

Matlab adalah sebuah bahasa dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar.

Persamaan diferensial seringkali muncul dalam model matematika yang mencoba menggambarkan keadaan kehidupan nyata, seperti dalam perhitungan luas dan volume daerah yang tidak beraturan. Menurut Finizio & Ladas (1988) persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat satu (atau beberapa) fungsi yang tak diketahui. Istilah persamaan diferensial diperkenalkan oleh Leibniz pada tahun 1676. Banyak hukum-hukum alam dan hipotesahipotesa yang dapat diterjemahkan ke dalam persamaan yang mengandung turunan melalui bahasa matematik.

Persamaan diferensial biasa sebagai suatu proses. “Ketika suatu aksi dilakukan secara berulang dan dilakukan refleksi atas aksi itu, maka aksi tersebut diinteriorasikan menjadi proses, yaitu konstruksi internal dibuat dengan melakukan aksi yang sama, tetapi sekarang tidak diarahkan oleh stimulus dari luar. Individu yang sudah mengkonstruksi konsep proses dapat menguraikan atau bahkan membalikkan langkah-langkah dari transformasi tanpa benar-benar melakukannya. Berbeda dengan aksi, proses dirasakan oleh individu sebagai hal yang internal dan di bawah kontrol individu tersebut”.

Pemodelan matematis dan simulasi numerik memainkan peran penting dalam pemahaman sistem biologi kompleks. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah penggunaan persamaan diferensial untuk memodelkan dinamika populasi dan interaksi antara organisme dalam ekosistem. Pemodelan semacam itu memberikan wawasan yang berharga tentang perilaku populasi dan dapat digunakan untuk mengambil keputusan yang lebih baik dalam manajemen sumber daya alam.

Populasi merujuk pada sekelompok individu dari spesies yang sama yang tinggal dalam area geografis yang sama dan dapat berkembang biak bersama. Istilah ini digunakan dalam berbagai konteks, termasuk ekologi, demografi, dan genetika. Dalam konteks ekologi, populasi adalah unit dasar dari analisis ekosistem. Ini mencakup semua individu

dari spesies yang sama yang mendiami suatu wilayah atau habitat yang spesifik. Populasi dapat menjadi objek penelitian dalam memahami interaksi antarindividu, dinamika pertumbuhan, persebaran geografis, dan respons terhadap perubahan lingkungan. Dalam demografi, populasi sering diidentifikasi berdasarkan kriteria seperti usia, jenis kelamin, dan lokasi geografis. Analisis demografis populasi membantu dalam memahami tren pertumbuhan, pola migrasi, dan distribusi spasial individu. Dalam genetika populasi, fokusnya adalah pada variasi genetik yang ada di dalam populasi dan bagaimana variasi ini dapat berubah dari waktu ke waktu melalui proses seperti seleksi alam, mutasi, dan drift genetik.

METODOLOGI

Metode penelitian yang kami terapkan dalam studi ini adalah pendekatan kuantitatif deskriptif. Kami menggunakan pendekatan ini untuk memodelkan dan mensimulasikan dinamika pertumbuhan populasi ikan di danau menggunakan persamaan diferensial yang diimplementasikan dalam lingkungan MATLAB. Langkah-langkah metodologi mencakup identifikasi parameter model, formulasi persamaan diferensial, penulisan kode MATLAB, pemecahan numerik persamaan diferensial, serta analisis hasil simulasi untuk menggambarkan pola pertumbuhan populasi dari waktu ke waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah pemaparan studi kasus yang dikembangkan yang membahas tentang untuk memodelkan dan mensimulasikan dinamika pertumbuhan populasi ikan di danau menggunakan persamaan diferensial yang diimplementasikan dalam lingkungan MATLAB. Langkah-langkah metodologi mencakup identifikasi parameter model, formulasi persamaan diferensial, penulisan kode MATLAB, pemecahan numerik persamaan diferensial, serta analisis hasil simulasi untuk menggambarkan pola pertumbuhan populasi dari waktu ke waktu.

STUDI KASUS

Seorang ahli biologi sedang mempelajari pertumbuhan populasi suatu spesies ikan di sebuah danau. Pada awalnya, populasi ikan di danau tersebut adalah 100 ekor. Ahli biologi memperkirakan bahwa laju pertumbuhan populasi ikan tersebut mengikuti model pertumbuhan logistik dengan laju pertumbuhan intrinsik $r = 0.2$ per bulan dan kapasitas dukung lingkungan $K = 1000$ ekor.

Tuliskan persamaan diferensial yang menggambarkan model pertumbuhan populasi ikan ini. Gunakan MATLAB untuk menyelesaikan persamaan diferensial tersebut dan gambarkan kurva pertumbuhan populasi ikan selama 50 bulan. Tentukan populasi ikan setelah 20 bulan berdasarkan model tersebut.

Jawaban :

Persamaan diferensial yang menggambarkan model pertumbuhan populasi ikan ini.

$$\frac{dP}{dt} = r \cdot P \left(1 - \frac{P}{K} \right)$$

Keterangan :

➤ P adalah populasi ikan pada waktu t

- r adalah laju pertumbuhan intrinsik
- K adalah kapasitas dukung lingkungan

Penyelesaian :

dengan $r = 0,2$ (laju pertumbuhan) dan $K = 1000$ (kapasitas dukung), serta kondisi awal $P(0) = 100$.

Pisahkan variabel P dan t :

$$\frac{dP}{P\left(1-\frac{P}{K}\right)} = r dt$$

Untuk memudahkan integrasi, kita dapat melakukan substitusi parsial. Misalkan $u = \frac{P}{K}$,

Sehingga $du = \frac{dP}{K}$ atau $dP = K du$. Kemudian persamaan menjadi :

$$\int \frac{K du}{u(1-u)} = \int r dt$$

Untuk memudahkan integrasi, kita dapat melakukan substitusi parsial. Misalkan $u = P/K$

Sehingga $du = dP/K$ atau $dP = K du$. Kemudian persamaan menjadi :

$$\int \frac{K du}{u(1-u)} = \int r dt$$

Pisahkan integrasi menjadi pecahan parsial :

$$\frac{1}{u(1-u)} = \frac{A}{u} + \frac{B}{1-u}$$

Dengan cara substitudikan parsial,, kita dapat menemukan A dan B :

$$1 = A(1-u) + Bu$$

$$1 = A - Au + Bu$$

Bandingkan koefisien :

$$A = 1 \text{ dan } -A + B + 0 \rightarrow B = 1$$

Jadi, kita memiliki :

$$\int \left(\frac{1}{u} + \frac{1}{1-u} \right) du = \int r dt$$

Integrasikan kedua sisi :

$$\int \frac{1}{u} du + \int \frac{1}{1-u} du = \int r dt$$

$$\ln|u| - \ln|1-u| = rt + C$$

Kembalikan substitusi $u = \frac{P}{K}$

$$\ln \left| \frac{P}{K} \right| - \ln \left| 1 - \frac{P}{K} \right| = rt + C$$

$$\ln \left| \frac{P}{K} \cdot \frac{1}{1-\frac{P}{K}} \right| = rt + C$$

$$\ln \left| \frac{P}{K-P} \right| = rt + C$$

Ekspenientiasi Kedua sisi untuk menghilangkan logaritma :

$$\left| \frac{P}{K-P} \right| = e^{rt+c}$$

Misalkan $e^C = A$:

$$\frac{P}{K-P} = Ae^{rt}$$

Solusi Eksplisit

Solusi eksplisit untuk P:

$$P = \frac{Ae^{rt}(K-P)}{1 + Ae^{rt}}$$

Untuk kondisi awal $P(0) = 100$:

$$\frac{100}{K-100} = Ae^0$$

$$\frac{100}{1000-100} = A$$

$$A = \frac{100}{900} = \frac{1}{9}$$

Jadi, substitusi kembali A:

$$\frac{P}{K-P} = \frac{1}{9}e^{rt}$$

$$9P = (K-P)e^{rt}$$

$$9P = Ke^{rt} - Pe^{rt}$$

$$P(1 + e^{rt}) = Ke^{rt}$$

$$P = \frac{Ke^{rt}}{1 + e^{rt}}$$

Solusi Akhir

Dengan $K = 1000$ dan $r = 0,2$:

$$P(t) = \frac{1000 e^{0,2t}}{1 + e^{0,2t}}$$

Hitung Populasi Setelah 20 Bulan

untuk $t = 20$

$$P(20) = \frac{1000 e^{0,2 \cdot 20}}{1 + e^{0,2 \cdot 20}}$$

$$P(20) = \frac{1000 e^4}{1 + e^4}$$

Hitung nilai e^4 :

$$e^4 \approx 54.598$$

$$P(20) = 1000 \times \frac{54.598}{1 + 54.598}$$

$$P(20) = \frac{54598}{1 + 54.598}$$

$$P(20) = \frac{54598}{492.382}$$

$$P(20) \approx 110.9$$

$$P = ([Ae]^{rt} (K-P)) / (1 + [Ae]^{rt})$$

Untuk kondisi awal $P(0) = 100$:

$$100 / (K - 100) = [Ae]^0$$

$$100 / (1000 - 100) = A$$

$$A = 100 / 900 = 1/9$$

Jadi, substitusi kembali A:

$$P / (K - P) = 1/9 e^{rt}$$

$$9P = (K - P)e^{rt}$$

$$9P = K e^{rt} - P e^{rt}$$

$$P(1 + e^{rt}) = K e^{rt}$$

$$P = K e^{rt} / (1 + e^{rt})$$

6. Solusi Akhir

Dengan $K = 1000$ dan $r = 0,2$:

$$P(t) = (1000e^{0,2t}) / (1 + 9e^{0,2t})$$

7. Hitung Populasi Setelah 20 Bulan

untuk $t = 20$

$$P(20) = (1000e^{0,2 \cdot 20}) / (1 + 9e^{0,2 \cdot 20})$$

$$P(20) = (1000e^4) / (1 + 9e^4)$$

Hitung nilai e^4 :

$$e^4 \approx 54.598$$

$$P(20) = 1000 \times 54.598 / (1 + 9 \times 54.598)$$

$$P(20) = 54598 / (1 + 491.382)$$

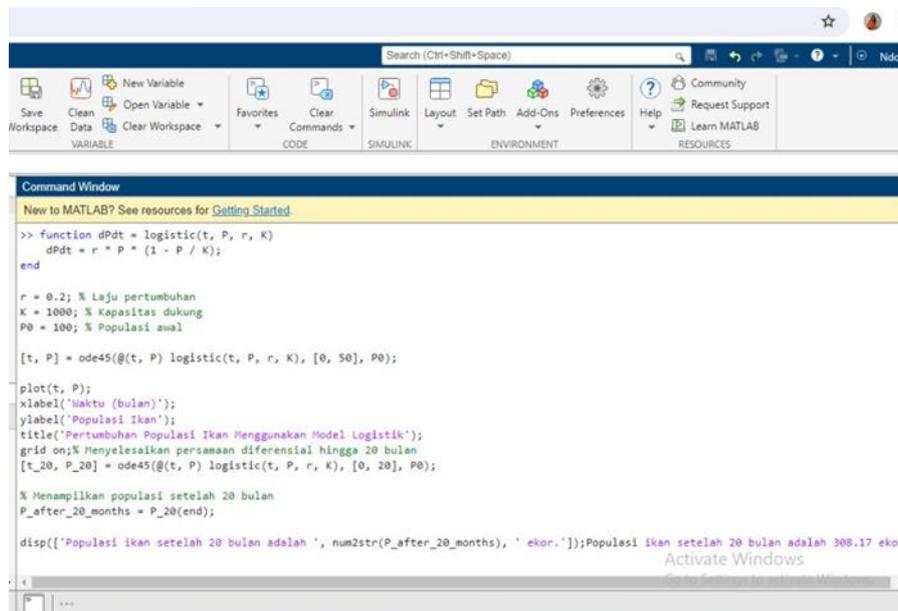
$$P(20) = 54598 / 492.382$$

$$P(20) \approx 110.9$$

Dengan demikian, populasi ikan didanau setelah 20 bulan adalah sekitar 110 ekor berdasarkan perhitungan manual dengan model logistik.

Penggunaan MATLAB untuk menyelesaikan persamaan diferensial tersebut dan gambarkan

kurva pertumbuhan populasi ikan selama 50 bulan.



```

>> function dPd_t = logistic(t, P, r, K)
    dPd_t = r * P * (1 - P / K);
end

r = 0.2; % Laju pertumbuhan
K = 1000; % Kapasitas dukung
P0 = 100; % Populasi awal

[t, P] = ode45(@(t, P) logistic(t, P, r, K), [0, 50], P0);

plot(t, P);
xlabel('Waktu (bulan)');
ylabel('Populasi Ikan');
title('Pertumbuhan Populasi Ikan Menggunakan Model Logistik');
grid on; % Menyelesaikan persamaan diferensial hingga 20 bulan
[t_20, P_20] = ode45(@(t, P) logistic(t, P, r, K), [0, 20], P0);

% Menampilkan populasi setelah 20 bulan
P_after_20_months = P_20(end);

disp(['Populasi ikan setelah 20 bulan adalah ', num2str(P_after_20_months), ' ekor.']);

```

Gambar. Hasil dari Mathlab

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa hasil matlab dari populasi pertumbuhan ikan selama 20 bulan adalah 308.17 ekor.

Kesulitan dalam Menggunakan Mathlab

Penggunaan MATLAB, meskipun sangat berguna dalam analisis data dan pemodelan matematika, bisa memiliki beberapa kesulitan yang mungkin dihadapi pengguna:

1. Kurva Pembelajaran: MATLAB memiliki antarmuka yang cukup kompleks bagi pengguna yang belum terbiasa. Ada banyak fungsi dan sintaks yang harus dipelajari, dan membutuhkan waktu untuk menjadi terbiasa dengan cara kerjanya.
2. Memori dan Kinerja: Analisis data besar atau pemodelan kompleks memerlukan sumber daya komputer yang signifikan. Memori yang cukup dan pemahaman tentang bagaimana memanfaatkan sumber daya komputer secara efisien penting untuk menjalankan skrip atau program MATLAB secara lancar.
3. Debugging: Seperti bahasa pemrograman lainnya, MATLAB juga dapat menghasilkan kesalahan (error) dalam kode. Menemukan dan memperbaiki kesalahan dalam kode MATLAB bisa menjadi tantangan, terutama bagi pengguna baru.
4. Pemahaman Matematika yang Kuat Diperlukan: MATLAB adalah alat yang kuat untuk pemrosesan matematika. Namun, untuk menggunakannya secara efektif, pengguna harus memiliki pemahaman yang kuat tentang konsep matematika yang mendasarinya.
5. Biaya: MATLAB bukanlah perangkat lunak open source. Untuk mendapatkan akses ke semua fitur dan fungsinya, pengguna perlu membayar lisensi yang cukup mahal. Ini bisa menjadi hambatan bagi individu atau organisasi dengan anggaran terbatas.
6. Keterbatasan Fungsionalitas Built-in: Meskipun MATLAB menawarkan banyak fungsi built-in, tetapi ada kasus di mana Anda mungkin memerlukan fungsi yang tidak disediakan secara bawaan. Pada titik ini, Anda mungkin perlu menulis fungsi Anda sendiri atau menggunakan toolbox tambahan.

7. Kesulitan Visualisasi Data yang Kompleks: Sementara MATLAB menyediakan berbagai macam alat untuk visualisasi data, menghasilkan visualisasi yang kompleks dengan tampilan yang tepat bisa menjadi sulit bagi beberapa pengguna.
8. Interoperabilitas: Mengintegrasikan MATLAB dengan perangkat lunak atau bahasa pemrograman lainnya juga bisa menjadi tantangan. Meskipun ada cara untuk melakukannya, diperlukan pemahaman yang baik tentang interoperabilitas MATLAB dengan platform lain.

Mengatasi kesulitan dalam menggunakan MATLAB seringkali melibatkan kombinasi dari pembelajaran lanjutan, pengalaman praktis, dan kadang-kadang, dukungan komunitas yang luas.

KESIMPULAN

Studi ini menerapkan metode penelitian berupa pendekatan kuantitatif deskriptif untuk memodelkan dan mensimulasikan dinamika pertumbuhan populasi ikan di danau dengan menggunakan persamaan diferensial yang diimplementasikan dalam lingkungan MATLAB. Langkah-langkah metodologi mencakup identifikasi parameter model, formulasi persamaan diferensial, penulisan kode MATLAB, pemecahan numerik persamaan diferensial, dan analisis hasil simulasi untuk menggambarkan pola pertumbuhan populasi dari waktu ke waktu. Studi kasus menggunakan model pertumbuhan logistik dengan laju pertumbuhan intrinsik 0,2 per bulan dan kapasitas dukung lingkungan sebesar 1000 ekor. Meskipun hasil manual dan hasil MATLAB menunjukkan perbedaan dalam populasi ikan setelah 20 bulan, yaitu sekitar 110 ekor dan 308,17 ekor secara berturut-turut, dan hasil manualnya 110.9 ekor hal ini mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti perbedaan pendekatan numerik dan variasi dalam pengaturan parameter dalam simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. (2004). Pembelajaran Perancangan sistem kontrol PID dengan software MATLAB. *Jurnal edukasi@ elektro*, 1(1), 1-8.
- Cahyono, B. (2013). Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam pembelajaran aljabar linier. *Jurnal Phenomenon*, 1(1), 45-62.
- Ningsih, Y. L., & Rohana, R. (2018). Pemahaman Mahasiswa Terhadap Persamaan Diferensial Biasa Berdasarkan Teori APOS. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran Matematika*, 11(1).
- Nugraha, A. M., & Nurullaeli, N. (2023, January). GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) MATLAB UNTUK PENYELESAIAN PERSAMAAN DIFERENSIAL BIASA ORDE SATU. In *Semnas Ristek (Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi)* (Vol. 7, No. 1).
- Parinduri, I., & Hutagalung, S. N. (2018). Perangkaian Gerbang Logika Dengan Menggunakan Matlab (Simulink). *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, 5(1), 63-70.