

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di muka bumi ini terdapat organisme yang akan selalu berhubungan dan menjalin interaksi satu sama lain, dalam hal ini dapat berupa simbiosis ataupun suatu proses adaptasi yang berkaitan dalam suatu ekosistem. Setiap organisme akan bergantung pada organisme lainnya dan akhirnya membentuk ekosistem. Interaksi juga dapat terjalin dengan ekosistem lain. Dari hal tersebut akan terdapat beberapa jenis hubungan yang dapat terjalin antara spesies. Di antara interaksi tersebut di antaranya yaitu predasi (Darmawan dan Haristuti, 2018).

Predasi merupakan hubungan saling timbal balik antara mangsa sebagai kelompok atau spesies yang dimakan dan pemangsa sebagai kelompok atau spesies yang memakan. Pemangsa membutuhkan mangsa untuk dimakan agar dapat bertahan hidup sedangkan mangsa membutuhkan pemangsa untuk menyeimbangkan populasi mangsa sehingga hubungan ini bersifat simbiosis (Yulfani dan Winanda, 2024). Namun, dalam hal ini dapat dikatakan juga bahwa mangsa mengalami kerugian karena dimangsa oleh pemangsa sehingga dapat pula dikatakan bahwa hubungannya merupakan hubungan yang merugikan salah satu pihak.

Model matematika menjadi solusi yang berguna untuk mengetahui proses dinamika antara pemangsa dan mangsanya serta menganalisis penyebaran mangsa pada waktu tertentu. Model ini terdiri dari laju perubahan populasi pemangsa dan populasi mangsa yang pertama kali ditemukan oleh Lotka Volterra. Model Lotka-Volterra kemudian dikembangkan menjadi berbagai model modifikasi untuk membantu para peneliti (Taufik dan Agustito, 2019).

Dalam model mangsa-pemangsa fungsi respons merupakan salah satu komponen terpenting. Pada model mangsa-pemangsa terdapat Fungsi respons Holling yang diperkenalkan oleh Holling pada tahun 1953 yang merupakan jumlah dari mangsa yang berhasil dimangsa oleh pemangsa sebagai fungsi kepadatan mangsa. Fungsi respons merupakan pola interaksi antara mangsa dan pemangsa yang menggambarkan banyaknya mangsa yang dikonsumsi oleh setiap pemangsa dalam per satuan waktu (Putri dan Savitri, 2021).

Pada suatu populasi, ketika terjadi pemanenan maka suatu populasi dapat terus berkembangbiak seperti pada umumnya atau bisa juga mencapai keadaan seimbang (kestabilan), sehingga populasi yang dalam pertumbuhan tersebut mengalami kestabilan maka mangsa dan pemangsa tidak mengalami pertumbuhan. Hal ini dikarenakan populasi mangsa dan pemangsa akan saling memberi pengaruh dalam proses perkembangbiakan masing-masing populasi meskipun terdapat faktor lain yaitu pemanenan terhadap kedua spesies tersebut (Hidayati, 2018). Berdasarkan penjelasan dari penelitian terdahulu di atas, penulis tertarik membahas

analisis kestabilan pada model matematika dua mangsa dan dua pemangsa dengan efek pemanenan yang dituangkan kedalam skripsi dengan judul: “**ANALISIS KESTABILAN MODEL DUA MANGSA DAN DUA PEMANGSA DENGAN EFEK PEMANENAN**”.

1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

1.2.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pembentukan model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.
2. Bagaimana analisis kestabilan titik kesetimbangan endemik pada model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan
3. Bagaimana hasil simulasi model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.

1.2.2 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tersusun secara terstruktur dan terarah, maka penelitian ini hanya akan berfokus pada model logistik dua mangsa yang berbeda, serta pembagian kelompok usia pemangsa menjadi pemangsa belum dewasa dan pemangsa dewasa, dengan fungsi respons Holling Tipe I dan efek pemanenan.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain:

1. Mengembangkan model matematika dua mangsa dan dua pemangsa dengan efek pemanenan.
2. Menganalisis kestabilan titik kesetimbangan endemik pada model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.
3. Melakukan simulasi model matematika dua mangsa dan dua pemangsa dengan efek pemanenan.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai pengembangan dalam disiplin ilmu model matematika serta sebagai referensi dan sumber bacaan bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada model matematika mangsa pemangsa.

1.4 Landasan Teori

1.4.1 Ekologi

Menurut Saroyo dan Roni (2016) Makhluk hidup dan lingkungannya akan saling berinteraksi sehingga membentuk sistem yang kompleks. Sistem yang terbentuk dari interaksi antara makhluk hidup dan lingkungannya disebut ekosistem. Adapun ekologi adalah ilmu yang mempelajari ekosistem.

Saroyo dan Roni (2016) juga menjelaskan bahwa kata “ekologi” berasal dari bahasa Yunani, yaitu “oikos” yang berarti rumah dan “logos” yang berarti ilmu atau juga pengetahuan. Oleh karena itu, ekologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup atau organisme dengan lingkungannya.

Ekologi memiliki tujuan utama, yaitu memahami bagaimana makhluk hidup bertahan hidup dan beradaptasi dengan lingkungannya. Selain itu, ekologi juga mempelajari interaksi antara organisme dan lingkungan yang memengaruhi distribusi serta kelimpahan spesies, serta bagaimana ekosistem dapat terpengaruh oleh perubahan lingkungan (Yulfani dan Winanda, 2024).

1.4.2 Interaksi Antar Mangsa-Pemangsa

Makhluk hidup di alam akan selalu memerlukan makhluk hidup lain dan membentuk suatu Kumpulan individu yang hidup di suatu Lokasi tertentu, hal ini menyebabkan terjadinya interaksi antar makhluk hidup. Interaksi ini dapat berupa interaksi antar individu dari spesies yang berbeda maupun dari spesies yang berbeda (Odum, 1983).

Interaksi antara berbagai spesies dalam suatu populasi dapat memengaruhi kondisi populasi tersebut, karena aktivitas atau tindakan individu dapat berdampak pada laju pertumbuhan maupun kelangsungan hidup populasi. Odum (1983) juga menyatakan bahwa setiap anggota dalam suatu populasi bisa memangsa anggota lainnya, bersaing untuk mendapatkan makanan, menghasilkan limbah yang merugikan, atau bahkan saling membunuh. Interaksi tersebut dapat berlangsung secara satu arah ataupun dua arah atau timbal balik. Interaksi antarspesies dalam suatu populasi dapat bersifat positif, negatif, ataupun netral, tergantung pada pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan keberlangsungan populasi.

Predasi atau pemangsaan merupakan salah satu bentuk interaksi antar spesies dalam suatu populasi. Predasi adalah hubungan simbiosis parasitisme, di mana salah satu pihak, yaitu mangsa, mengalami kerugian, sedangkan pihak lain, yaitu pemangsa, mendapatkan keuntungan. Pada tipe interaksi ini, pemangsa akan membunuh dan memakan mangsa untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Dengan demikian, keberlangsungan hidup pemangsa akan bergantung pada keberadaan mangsa sebagai sumber makanan. Hubungan antara mangsa dan pemangsa ini akan menciptakan keseimbangan, di mana jumlah populasi mangsa dipengaruhi oleh jumlah pemangsa, sedangkan populasi pemangsa bergantung pada ketersediaan mangsa (Indrianto, 2006).

Volterra (1926) merupakan orang pertama yang merumuskan model matematika sederhana untuk menggambarkan interaksi pemangsaan antara satu spesies dengan spesies lainnya (Pratama dan Baqi, 2019). Model tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial sebagai berikut

$$\frac{dx}{dt} = rx - pyx,$$

$$\frac{dy}{dt} = -sy + qyz. \quad (1)$$

Persamaan (1) disebut sebagai model Lotka-Volterra, yang sebelumnya pada tahun 1925 juga dikembangkan oleh Alfred Lotka. Pertumbuhan populasi spesies mangsa dipengaruhi oleh daya dukung lingkungan, seperti yang dijelaskan dalam model berikut

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right). \quad (2)$$

Persamaan (2) adalah model yang diperkenalkan oleh Verhulst (1838) dan populer dengan sebutan model pertumbuhan logistic. Dengan mempertimbangkan persamaan (2) dan model Lotka-Volterra pada persamaan (1) maka dapat disesuaikan atau dimodifikasi menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= rx \left(1 - \frac{x}{K}\right) - pyx, \\ \frac{dy}{dt} &= -sy + qyx. \end{aligned} \quad (3)$$

Dalam model ini, x mewakili jumlah populasi mangsa pada waktu t , sedangkan y merupakan jumlah populasi pemangsa pada waktu t . Nilai K menunjukkan kapasitas daya dukung lingkungan untuk populasi mangsa. Laju pertumbuhan mangsa ketika tidak ada pemangsa dimisalkan dengan parameter r , dan untuk menunjukkan seberapa rentan mangsa terhadap pemangsaan di misalkan dengan parameter p . Sementara itu, laju pertumbuhan pemangsa tanpa kehadiran mangsa dimisalkan dengan parameter s , dan untuk menunjukkan efektivitas pemangsa dalam menangkap mangsa dimisalkan dalam parameter q . Semua parameter r, s, p, q dan K bernilai positif (Pratama dan Baqi, 2019).

Namun, dalam beberapa kasus, terdapat lebih dari satu pemangsa dan lebih dari satu mangsa. Hal ini membentuk rantai makanan yang lebih kompleks, di mana mangsa pertama dapat berinteraksi dengan mangsa kedua, dan pemangsa tertinggi (konsumen puncak) memangsa kedua jenis mangsa tersebut untuk keberlangsungan hidupnya. Dengan beberapa modifikasi, persamaan (3) dapat disesuaikan menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1 \rho_1 \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) - \beta x_1 y - \theta x_1 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2 \rho_2 \left(1 - \frac{x_2}{K}\right) - \alpha x_2 y - g x_1 x_2, \\ \frac{dy}{dt} &= c \beta x_1 y + d \alpha x_2 y. \end{aligned} \quad (4)$$

Dalam model dinamika populasi mangsa-pemangsa, interaksi juga dipengaruhi oleh struktur usia pemangsa, di mana pemangsa dibagi menjadi belum dewasa dan dewasa. Pemisahan ini dilakukan karena rentang usia tertentu memiliki potensi yang lebih besar untuk eksploitasi (Pratama, dkk, 2020). Oleh karena itu, persamaan (4) dimodifikasi menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= x_1\rho_1 \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) - \beta x_1 z - \theta x_1 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2\rho_2 \left(1 - \frac{x_2}{K}\right) - \alpha x_2 z - g x_1 x_2, \\ \frac{dy}{dt} &= c\beta x_1 z + d\alpha x_2 z - (\tau + \delta_1)y, \\ \frac{dz}{dt} &= \tau y - (vz + \delta_2)z.\end{aligned}\tag{5}$$

Terdapat beberapa jenis fungsi respon Holling, yaitu tipe I, tipe II, dan tipe III. Yulfani dan Winanda (2024) menjelaskan bahwa fungsi respon Holling Tipe I akan terjadi ketika laju konsumsi pemangsa meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya kepadatan mangsa, namun akan tetap konstan Ketika pemangsa berhenti melakukan aktivitas memangsa. Fungsi ini biasanya terjadi pada pemangsa yang memiliki perilaku pasif dalam berburu mangsa. Fungsi tipe ini dinyatakan sebagai berikut

$$f(x) = mx.\tag{6}$$

Model matematika mangsa-pemangsa juga telah dikembangkan dengan sebuah variabel pemanenan pada populasi mangsa atau pemangsa (Putri, 2018). Dalam skripsi ini akan memfokuskan penelitian pada dinamika populasi dua mangsa dan dua pemangsa. Dengan pemisahan antara pemangsa belum dewasa dan pemangsa dewasa serta pemanenan pada pemangsa dewasa. Oleh karena itu, Persamaan (5) akan menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= x_1\rho_1 \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) - \beta x_1 z - \theta x_1 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2\rho_2 \left(1 - \frac{x_2}{K}\right) - \alpha x_2 z - g x_1 x_2, \\ \frac{dy}{dt} &= c\beta x_1 z + d\alpha x_2 z - (\tau + \delta_1)y, \\ \frac{dz}{dt} &= \tau y - (vz + \delta_2)z - q_1 Wz,\end{aligned}\tag{7}$$

dengan q_1 adalah koefisien penangkapan pemangsa dewasa dan W adalah usaha pemanenan pemangsa dewasa.

1.4.3 Sistem Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial merupakan persamaan yang melibatkan turunan dari fungsi yang tidak diketahui. Fungsi tersebut digunakan untuk mendefinisikan hubungan antara variabel bebas, variabel terikat, dan konstanta dalam sistem tersebut. Jika fungsi yang tidak diketahui bergantung hanya pada satu variabel, maka persamaan tersebut disebut persamaan diferensial biasa. Namun, jika fungsi yang tidak diketahui bergantung pada dua atau lebih variabel, maka persamaan tersebut disebut persamaan diferensial parsial (Boice dan DiPrima, 2009).

Selain itu, persamaan diferensial dapat dibedakan menjadi persamaan diferensial linear dan persamaan diferensial tak linear. Jika persamaan diferensial memiliki hubungan yang linear terhadap fungsi dan turunannya, maka disebut persamaan diferensial linear. Sebaliknya, jika terdapat perkalian antara fungsi yang tidak diketahui dengan turunannya atau fungsi non-linear lainnya, maka disebut persamaan diferensial tak linear.

Terdapat pula pembagian persamaan diferensial berdasarkan jumlah fungsi yang terdapat di dalamnya. Jika terdapat dua atau lebih persamaan diferensial yang saling terkait, maka persamaan tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut sistem persamaan diferensial.

Model matematika mangsa-pemangsa pada Persamaan (7) memiliki bentuk persamaan diferensial biasa, dan keempat persamaan diferensial dalam Persamaan (7) membentuk suatu sistem tak linear antara variabel-variabelnya.

1.4.4 Sistem Linear

Sebuah sistem $\dot{x} = X(x)$, di mana x adalah sebuah vektor dalam \mathbb{R}^n , disebut sebagai sistem linier berdimensi n , jika $X: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ adalah sebuah pemetaan linier. Jika pemetaan $X: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$, di mana $\mathbb{R}^n = \{(x_1, \dots, x_n) | x_i \in \mathbb{R}, i = 1, \dots, n\}$, adalah linier, maka X dapat dinyatakan dalam bentuk matriks,

$$X(x) = \begin{bmatrix} X_1(x_1, \dots, x_n) \\ \vdots \\ X_n(x_1, \dots, x_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

persamaan (8) dapat dituliskan menjadi

$$\dot{x} = X(x) = Ax, \quad (9)$$

dengan A adalah matriks koefisien berukuran $n \times n$. Tiap komponen $X_i, i = 1, \dots, n$ dari \dot{x} adalah fungsi linear terhadap variabel x_1, \dots, x_n (Arrowsmith dan Place, 1992).

Definisi 1 (Anton dan Rorres, 2004) jika A adalah matriks berukuran $n \times n$, maka sebuah vektor tak nol x pada \mathbb{R}^n disebut vektor eigen dari A jika Ax adalah sebuah kelipatan skalar dari x yang dapat dituliskan dalam bentuk,

$$Ax = \lambda x, \quad (10)$$

untuk sebarang skalar λ . Skalar λ disebut nilai eigen dari A dan x disebut sebagai vektor eigen dari A yang terkait dengan λ .

Nilai eigen λ dari matriks A diperoleh dengan terlebih dahulu menuliskan persamaan (10) menjadi $Ax = \lambda Ix$ atau dapat ditulis

$$(\lambda I - A)x = \mathbf{0}. \quad (11)$$

Nilai eigen λ diperoleh jika terdapat solusi tak nol dari persamaan (11). persamaan (11) memiliki solusi tak nol jika dan hanya jika,

$$\det(\lambda I - A) = 0 \text{ atau } |\lambda I - A| = 0 \quad (12)$$

dengan I merupakan matriks identitas.

Persamaan (12) disebut juga persamaan karakteristik dari matriks A . Apabila diperluas lagi maka persamaan (12) adalah sebuah perluasan polinomial p dalam variabel λ yang disebut sebagai polinomial karakteristik matriks A . Polinomial karakteristik $p(\lambda)$ dari sebuah matriks $n \times n$ memiliki bentuk

$$p(\lambda) = \det(\lambda I - A) = \lambda^n + c_1 \lambda^{n-1} + \dots + c_n \quad (13)$$

sehingga persamaan karakteristik dari persamaan (12) menjadi

$$\lambda^n + c_1 \lambda^{n-1} + \dots + c_n = 0, \quad (14)$$

yang memiliki sebanyak n solusi, sehingga matriks $n \times n$ memiliki sebanyak n nilai eigen.

1.4.5 Sistem Tak Linier

Diberikan suatu sistem persamaan diferensial tak linier,

$$\dot{x} = f(x), x \in \mathbb{R}^n. \quad (15)$$

Definisi 2 (Perko, 2001): Titik $x_0 \in \mathbb{R}^n$ disebut sebagai titik kesetimbangan atau titik kritis dari sistem (15) jika $f(x_0) = \mathbf{0}$.

Teorema 1 (Perko, 2001): jika $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ adalah fungsi yang dapat diturunkan di x_0 , maka turunan parsial $\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$, $i, j = 1, \dots, n$, ada pada x_0 untuk semua $x \in \mathbb{R}^n$, sehingga

$$Df(x_0)x = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j}(x_0)x_j. \quad (16)$$

Jadi, jika f adalah fungsi yang dapat diturunkan, maka turunan Df diberikan dengan matriks Jacobian $n \times n$,

$$Df = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Perilaku sistem pada Persamaan (15) di sekitar titik kesetimbangan x_0 dapat diketahui dengan melinierkan sistem pada Persamaan (15) di sekitar titik kesetimbangan x_0 . Hasil linierisasi sistem pada persamaan (15) dapat ditulis sebagai

$$\dot{x} = Ax \quad (18)$$

dengan matriks $A = Df(x_0)$ merupakan sebuah matriks Jacobian. Linierisasi merupakan proses untuk membawa sistem tak linear ke sistem linier.

Kemudian sistem linear pada Persamaan (18) akan dianalisis nilai eigennya. Hubungan antara nilai eigen dan jenis kestabilan sistem pada Persamaan (15) di sekitar titik kesetimbangan x_0 berlaku sebagai berikut:

1. Nilai eigen stabil, jika memenuhi kriteria berikut:
 - Setiap nilai eigen riil adalah negatif ($\lambda_i \leq 0$) untuk setiap i .
 - Setiap komponen real dari nilai eigen kompleks adalah negatif yaitu ($\lambda_i \leq 0$) untuk setiap i dengan $Re(\lambda_i)$ menyatakan bilangan real dari nilai eigen λ_i .
2. Nilai eigen tidak stabil, jika memenuhi kriteria berikut:
 - Terdapat nilai eigen real adalah positif ($\lambda_i \leq 0$).
 - Terdapat komponen real dari nilai eigen kompleks adalah positif yaitu ($\lambda_i \leq 0$) dengan $Re(\lambda_i)$ menyatakan bagian real dari nilai eigen λ_i .

1.4.6 Kriteria Routh-Hurwitz

Terdapat metode untuk menyelesaikan akar-akar persamaan karakteristik berordo tinggi pada suatu sistem yaitu kriteria Routh-Hurwitz. Kriteria Routh-Hurwitz dapat digunakan sebagai metode untuk menganalisis kestabilan sistem. Persamaan karakteristik nilai eigen λ dari matriks $A_{n \times n}$ yaitu

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + a_2 \lambda^{n-2} + \dots + a_{n-1} \lambda + a_n = 0, \quad (19)$$

dengan $a_0 \neq 0$ merupakan koefisien dari persamaan karakteristik matriks A .

Tabel Routh-Hurwitz merupakan sebuah tabel yang disusun secara khusus berdasarkan urutan koefisien-koefisien yang terdapat dalam matriks A . berikut ini adalah tabel Routh-Hurwitz

Tabel 1. Tabel kriteria Routh-Hurwitz

a_0	a_2	a_4	...	a_{2n-2}
a_1	a_3	a_5	...	a_{2n-2}
b_1	b_2	b_3

c_1	c_2	c_3	\dots	\dots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

dengan $n = 1, 2, 3, \dots, k$ didefinisikan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}, \quad b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1}, \\
 b_n &= \frac{a_1 a_{2n} - a_0 a_{2n+1}}{a_1}, \quad c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}, \\
 c_2 &= \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1}, \quad c_n = \frac{b_1 a_{2n+1} - a_1 b_{n+1}}{b_1}.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Tabel Routh-Hurwitz di atas dilanjutkan mendatar dan menurun sampai diperoleh elemen-elemen pada kolom yang pertama memiliki nilai nol. Kestabilan dapat ditentukan dari tanda-tanda pada kolom pertama tabel Routh-Hurwitz. Jika tidak ada perubahan tanda pada kolom tersebut, maka bagian real dari semua nilai eigen bernilai negatif, sehingga sistem dinyatakan stabil (Putri dan Savitri, 2021).

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian Pustaka yang dilakukan dengan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, artikel, jurnal, dan penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini.

2.2 Lokasi dan waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Waktu penelitian berlangsung dari bulan oktober 2024.

2.3 Sumber Data

Data nilai parameter yang digunakan bersumber dari bacaan terdahulu berupa jurnal yang mendukung penelitian ini dan juga asumsi dari penulis.

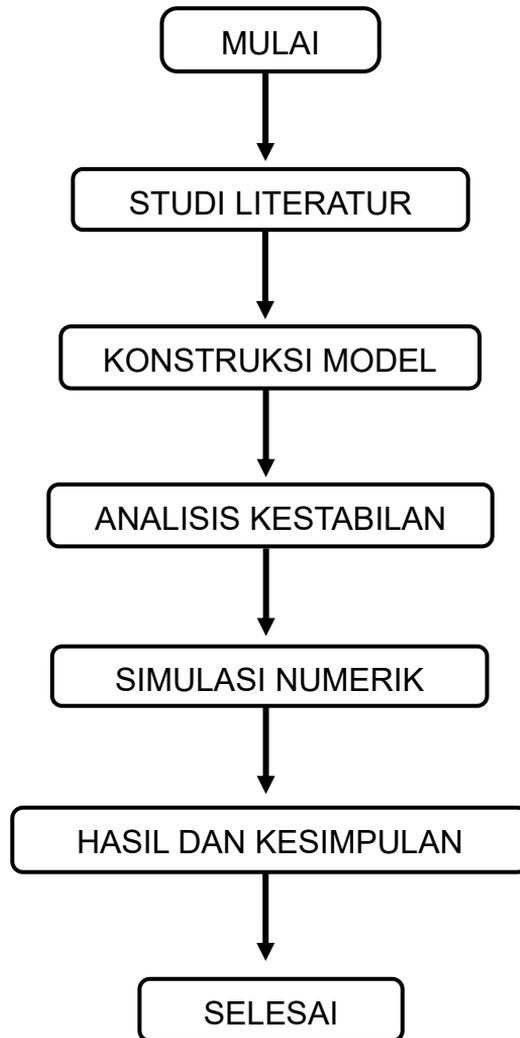
2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan oleh peneliti pada penelitian ini adalah

1. Membangun model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan
 - a. Menentukan asumsi-asumsi yang akan digunakan untuk membangun model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.
 - b. Membentuk model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.
2. Menganalisis model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan.
 - a. Menentukan titik kesetimbangan.
 - b. Menentukan kestabilan titik kesetimbangan.
3. Mengumpulkan data dari bahan bacaan berupa jurnal untuk memperoleh nilai parameter dan juga asumsi penulis.
4. Melakukan simulasi model matematika dua mangsa dua pemangsa dengan efek pemanenan
5. Menginterpretasikan hasil dari simulasi numerik
6. Menarik Kesimpulan.

2.5 Alur Penelitian

Untuk alur penelitian ini akan di tunjukkan dalam bentuk *flowchart* berikut



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian