

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena penyebaran populasi makhluk hidup di alam menunjukkan bahwa setiap organisme memiliki wilayah persebaran dan pola kehidupan yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan tempat hidupnya. Dalam perspektif Islam, keberagaman dan persebaran makhluk hidup di muka bumi merupakan bagian dari keteraturan ciptaan Allah Swt., sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an surat Hud ayat 6:

وَمَا مِنْ دَابَّةٍ فِي الْأَرْضِ إِلَّا عَلَى اللَّهِ رِزْقُهَا وَيَعْلَمُ مُسْتَقَرَّهَا وَمُسْتَوْدَعَهَا كُلٌّ فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦﴾

yang artinya:

”Dan tidak satu pun makhluk bergerak (bernyawa) di bumi melainkan semuanya dijamin Allah rezekinya. Dia mengetahui tempat kediamannya dan tempat penyimpanannya. Semua itu tertulis dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuz).” (Q.S. Hud: 6).

Ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah Swt. mengetahui tempat tinggal, perpindahan, serta persebaran setiap makhluk hidup di bumi. Hal ini mengisyaratkan bahwa kehidupan organisme di alam berlangsung dalam suatu keteraturan (*sunnatullah*) yang dapat diamati dan dipelajari melalui berbagai pendekatan ilmiah, termasuk ekologi dan matematika.

Dalam kajian ekologi, distribusi spesies yang heterogen di alam merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara faktor biotik (predasi dan vegetasi), abiotik (curah hujan, ketinggian, suhu) dan pergerakan organisme dalam ruang. Dinamika ekosistem dalam dunia nyata tidak hanya berlangsung dalam satu dimensi ruang atau waktu saja melainkan keduanya terjadi secara bersamaan, fenomena ini disebut sebagai dinamika spasial-temporal. Untuk memahami fenomena ini secara matematis, digunakan sistem reaksi-difusi, yaitu model yang menggabungkan proses reaksi seperti reproduksi, predasi, dan kompetisi dengan difusi spasial sebagai representasi pergerakan organisme. Sistem ini memberikan kerangka penting dalam menjelaskan dinamika populasi dalam ruang dan waktu, serta pembentukan pola spasial dalam domain ruang seperti hutan, padang rumput, maupun perairan [1].

Turing (1952) [2] menjadi pelopor dalam menjelaskan bahwa sistem reaksi-difusi dapat menghasilkan pola spasial yang tetap akibat ketidakstabilan difusi. Fenomena ini dikenal sebagai ketidakstabilan Turing, yaitu kondisi di mana sistem homogen menjadi tidak stabil secara spasial ketika dua komponen memiliki laju difusi berbeda dan saling berinteraksi secara nonlinier. Hao dan Xue (2020) [3] menjelaskan bahwa gangguan kecil pada sistem reaksi-difusi dapat tumbuh menjadi pola tetap, yang dikenal sebagai pola Turing. Pola-pola tersebut dapat berupa spot, stripe, atau kombinasi keduanya, sebagaimana ditunjukkan oleh Chakraborty dkk. (2021) [4] dalam model *predator-prey*. Barman dkk. (2022) [5] mengemukakan bahwa pola Turing dapat dipandang sebagai kasus khusus dari dinamika spasial-temporal, yaitu pola yang tetap dalam waktu namun bervariasi dalam ruang. Lebih lanjut, Guo dkk. (2024) [6] menunjukkan bahwa struktur interaksi dan heterogenitas kontak dalam sistem dapat memengaruhi amplitudo dan bentuk pola, mencerminkan tingginya kompleksitas dinamika spasial yang dihasilkan.

Namun, penelitian terkini menunjukkan bahwa mekanisme difusi diri (*self-diffusion*) saja sering kali tidak cukup untuk memicu terbentuknya pola Turing. Dalam sistem biologis nyata, pergerakan suatu spesies tidak hanya bergantung pada gradien populasinya sendiri, tetapi juga pada keberadaan spesies lain di sekitarnya. Fenomena ini dikenal sebagai difusi silang (*cross-diffusion*), yaitu mekanisme di mana migrasi suatu spesies dipengaruhi oleh gradien kepadatan spesies lain. Gambino dkk. (2022) [7] menunjukkan bahwa penambahan komponen difusi silang pada model ekologi dua spesies dapat memperluas domain ketidakstabilan Turing dan menghasilkan pola spasial yang lebih bervariasi dibandingkan model dengan difusi biasa. Iida dan Mimura (2023) [8] juga menegaskan bahwa keberadaan difusi silang berperan penting dalam memunculkan berbagai tipe pola seperti *stripe-spot* dan *labyrinthine patterns* yang tidak dapat dijelaskan oleh difusi diri semata. Sementara itu, Yu dkk. (2023) [9] menemukan bahwa interaksi asimetris antarspesies melalui difusi silang dapat menyebabkan munculnya struktur spasial dinamis yang bergantung pada parameter interaksi dan rasio laju difusi. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa difusi silang merupakan mekanisme penting dalam pembentukan pola spasial dan mampu menghasilkan dinamika yang lebih realistis dibandingkan model yang hanya mempertimbangkan difusi diri.

Selain aspek spasial, faktor penundaan waktu (*time delay*) juga memainkan peran penting dalam dinamika ekologi karena banyak proses biologis tidak terjadi secara instan, melainkan memerlukan waktu tertentu untuk merespons perubahan lingkungan. Penundaan ini dapat merepresentasikan masa inkubasi penyakit, periode

kehamilan (*gestation delay*), maupun waktu yang dibutuhkan untuk mengonversi *prey* menjadi biomassa *predator*. Beretta dan Kuang (2002) [10] menunjukkan bahwa keberadaan waktu tunda dalam sistem *predator-prey* dapat mengubah kestabilan lokal dan memicu munculnya Bifurkasi Hopf, yaitu kondisi ketika titik kesetimbangan yang semula stabil kehilangan kestabilannya dan menghasilkan osilasi periodik. Kajian mengenai pengaruh waktu tunda kemudian berkembang pada model eko-epidemiologi yang mempertimbangkan heterogenitas spasial. Majee dkk. (2025) [11] meneliti pengaruh periode inkubasi dan gestasi pada model eko-epidemiologi spasial dan menemukan bahwa penambahan waktu tunda dapat memperkaya dinamika sistem melalui munculnya osilasi yang lebih kompleks serta memperluas domain ketidakstabilan Turing. Temuan tersebut menunjukkan bahwa waktu tunda tidak hanya memengaruhi kestabilan temporal sistem, tetapi juga dapat berinteraksi dengan mekanisme spasial dalam membentuk pola yang lebih beragam. Dengan demikian, waktu tunda merupakan salah satu mekanisme penting yang perlu dipertimbangkan dalam pemodelan sistem eko-epidemiologi spasial-temporal.

Meskipun difusi silang dan waktu tunda masing-masing dapat menghasilkan ketidakstabilan spasial maupun temporal, berbagai penelitian menunjukkan bahwa interaksi keduanya mampu memunculkan dinamika yang jauh lebih kompleks. Yang dkk. (2024) [12] menunjukkan bahwa kombinasi difusi silang dan waktu tunda pada model kompetisi dua spesies tidak hanya memperkuat ketidakstabilan Turing, tetapi juga dapat memunculkan Bifurkasi Hopf-Turing. Fenomena ini terjadi ketika ketidakstabilan spasial akibat difusi dan ketidakstabilan temporal akibat waktu tunda muncul secara simultan dalam sistem. Selanjutnya, Yang dan Song (2021) [13] menunjukkan bahwa interaksi kedua mekanisme tersebut mampu menghasilkan berbagai pola spasial-temporal dinamis, seperti *traveling waves*, *oscillating spots*, dan *wave-front patterns*. Hasil-hasil tersebut mengindikasikan bahwa penggabungan mekanisme difusi silang dan waktu tunda dapat memberikan representasi yang lebih realistis terhadap dinamika ekosistem dibandingkan model yang hanya mempertimbangkan salah satu mekanisme secara terpisah. Oleh karena itu, kajian mengenai interaksi difusi silang dan waktu tunda menjadi penting untuk memahami proses pembentukan pola spasial-temporal kompleks pada sistem eko-epidemiologi.

Di sisi lain, fenomena kanibalisme pada *predator* telah banyak diamati dalam berbagai sistem ekologi alami dan dilaporkan secara luas dalam literatur, khususnya pada ikan *predator*, krustasea, dan serangga [14, 15]. Pada ikan *predator* air tawar seperti *Esox lucius* (northern pike), kanibalisme sering terjadi ketika kepadatan populasi tinggi atau ketersediaan *prey* menurun, dan perilaku ini berperan

penting dalam mengatur struktur ukuran serta kepadatan populasi *predator* [16, 17]. Demikian pula, pada krustasea seperti udang *Penaeus monodon*, kanibalisme merupakan perilaku umum yang meningkat pada kondisi stres lingkungan, kompetisi yang tinggi, serta kepadatan populasi yang besar [18]. Selain faktor perilaku, penyakit juga merupakan komponen penting yang memengaruhi dinamika populasi *predator*, karena banyak penyakit bersifat menular dan dapat menyebar melalui kontak langsung, luka akibat agresi intra-spesifik, maupun konsumsi jaringan individu yang terinfeksi. Dalam beberapa sistem biologis, kanibalisme berperan sebagai jalur transmisi penyakit, terutama ketika *predator* sehat mengonsumsi individu sejenis yang terinfeksi patogen, sebagaimana dilaporkan pada sistem akuatik seperti penyebaran White Spot Syndrome Virus (WSSV) pada udang serta infeksi mikrosporidia pada amphipoda air tawar [19, 20]. Menariknya, kanibalisme memiliki peran ganda dalam dinamika eko-epidemiologi, karena di satu sisi dapat mempercepat penyebaran penyakit melalui peningkatan kontak langsung dengan individu terinfeksi, namun di sisi lain juga dapat menekan prevalensi penyakit dengan mengeliminasi individu yang lemah atau sakit dari populasi *predator*, sehingga berfungsi sebagai mekanisme *self-regulation* yang berpotensi meningkatkan kestabilan sistem [21, 22]. Motivasi biologis ini mendorong pengembangan berbagai model matematika, yang mana Biswas dkk. [22] menunjukkan bahwa kanibalisme *predator* dapat menstabilkan sistem eko-epidemiologi dengan penyakit pada *predator*. Sementara itu, dalam konteks spasial Sun dkk. [23] serta Mishra dkk. [24] menunjukkan bahwa kanibalisme *predator* merupakan faktor kunci yang memungkinkan munculnya ketidakstabilan spasial dan pola Turing dalam sistem reaksi-difusi *predator-prey*, terutama ketika tingkat kanibalisme dan laju difusi *predator* cukup besar.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji peran kanibalisme, difusi silang, dan waktu tunda dalam model *predator-prey* secara terpisah, kajian yang mengintegrasikan ketiga faktor tersebut dalam kerangka model eko-epidemiologi masih sangat terbatas. Penelitian ini secara khusus mengembangkan model yang dikemukakan oleh Kumar dkk. (2022) [25], yang menganalisis dinamika spasial-temporal dan kemunculan pola Turing dalam sistem eko-epidemiologi dengan perilaku kanibalisme pada *predator*. Model tersebut merupakan perluasan spasial dari sistem temporal yang sebelumnya dikembangkan oleh Biswas dkk. (2017) [22]. Dalam penelitian ini, model Kumar tersebut dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan faktor waktu tunda untuk merepresentasikan proses biologis yang berlangsung dengan jeda waktu tertentu seperti masa inkubasi penyakit dan reproduksi *predator*, serta komponen difusi silang yang menggambarkan

respons pergerakan spesies terhadap gradien populasi lain. Penambahan kedua mekanisme ini diharapkan dapat memperkaya dinamika sistem dan memungkinkan munculnya ketidakstabilan Hopf-Turing, sehingga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pembentukan pola spasial-temporal dalam model eko-epidemiologi dengan kanibalisme, waktu tunda, dan difusi silang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Model matematika seperti apa yang mengintegrasikan mekanisme kanibalisme pada populasi *predator*, dua komponen waktu tunda biologis berupa waktu tunda inkubasi dan waktu tunda gestasi, serta mekanisme difusi silang dalam satu kerangka eko-epidemiologi spasial-temporal?
2. Pada kondisi parameter apa sehingga mekanisme kanibalisme, waktu tunda biologis, dan difusi silang menyebabkan terjadinya bifurkasi Hopf, ketidakstabilan Turing, dan bifurkasi Hopf-Turing pada model yang dikembangkan?
3. Apa karakteristik pola Turing dan dinamika spasial-temporal yang dihasilkan melalui simulasi numerik akibat interaksi antara mekanisme kanibalisme, waktu tunda biologis, dan difusi silang?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh sejumlah asumsi dan ruang lingkup analisis sebagai berikut:

1. Sistem yang digunakan merupakan sistem reaksi-difusi yang merepresentasikan dinamika populasi dalam ruang dan waktu, dengan penerapan syarat batas Neumann (tidak ada fluks keluar atau masuk dari domain studi).
2. Penyakit hanya menyebar di antara individu *predator* melalui kontak langsung dan tidak menular kepada populasi *prey*.
3. Perilaku kanibalisme terjadi antar *predator*, baik antara *predator* sehat maupun *predator* sakit, dengan tingkat kanibalisme dan dampak yang berbeda untuk masing-masing kelompok.

4. Pergerakan populasi dalam ruang dimodelkan melalui difusi diri dan difusi silang. *Prey* diasumsikan menghindari area dengan kepadatan *predator* tinggi, sedangkan *predator* sehat cenderung bergerak menuju area dengan kepadatan *prey* yang tinggi. *Predator* terinfeksi diasumsikan memiliki kemampuan bergerak yang terbatas.
5. Faktor penundaan waktu (*time delay*) yang dipertimbangkan terdiri dari dua jenis, yaitu waktu tunda yang merepresentasikan masa inkubasi penyakit dan waktu tunda yang merepresentasikan periode gestasi (kehamilan atau reproduksi) pada *predator*.
6. Analisis kestabilan titik kesetimbangan dibatasi pada analisis kestabilan lokal (*local stability*) di sekitar titik kesetimbangan koeksistensi. Analisis ini dievaluasi melalui pendekatan linearisasi sistem dan analisis akar persamaan karakteristik, tanpa mengeksplorasi kestabilan global.
7. Penelitian masih bersifat teoritis dan berfokus pada pengembangan model matematis serta eksplorasi dinamika sistem melalui pendekatan analitik dan simulasi numerik, dengan parameter yang sebagian diambil dari literatur dan sebagian lainnya ditentukan berdasarkan asumsi yang realistis secara biologis tanpa kalibrasi langsung terhadap data empiris.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan penelitian skripsi adalah sebagai berikut:

1. Memformulasikan model matematika eko-epidemiologi spasial-temporal dengan faktor kanibalisme *predator*, dua komponen waktu tunda, serta difusi silang;
2. Menganalisis kestabilan solusi sistem pada kasus temporal dan spasial-temporal untuk menentukan kondisi terjadinya ketidakstabilan Turing sebagai mekanisme pembentukan pola spasial, serta mengidentifikasi kemunculan bifurkasi Hopf dan bifurkasi Hopf-Turing yang menyertainya;
3. Menyajikan simulasi numerik untuk menginvestigasi pembentukan pola Turing dan pola spasial-temporal yang dihasilkan oleh interaksi kanibalisme, waktu tunda, dan difusi silang, serta mengkaji keterkaitannya dengan bifurkasi Hopf-Turing.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini mencakup dua aspek utama, yaitu teoretis dan aplikatif. Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman terhadap dinamika sistem eko-epidemiologi, khususnya mengenai interaksi antara mekanisme temporal (*time delay*) dan spasial (*diffusion*) yang dapat memunculkan pola kompleks seperti Pola Turing (*Turing pattern*), *oscillating spots*, dan *traveling waves*. Kajian ini juga berpotensi memperluas pemahaman tentang kondisi terjadinya ketidakstabilan Hopf-Turing yang masih jarang dibahas pada model eko-epidemiologi dengan kanibalisme. Sementara itu, dari sisi aplikatif, penelitian ini dapat memberikan dasar matematis bagi analisis fenomena ekologis yang lebih realistis, seperti memetakan distribusi spasial spesies dan mengidentifikasi terbentuknya kluster spasial penyakit atau wilayah dengan konsentrasi infeksi yang tinggi melalui representasi Pola Turing. Model yang dikembangkan juga diharapkan dapat menjadi acuan awal bagi studi lanjut dalam pengendalian dinamika penyakit pada populasi *predator* maupun dalam pengembangan model ekologis berbasis spasial lainnya.

1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada skripsi ini diantaranya:

1. Studi Literatur

Tahap ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi dari buku teks, jurnal ilmiah, dan artikel penelitian yang relevan dengan topik eko-epidemiologi, kanibalisme, difusi silang, serta teori bifurkasi Hopf dan Turing. Studi literatur ini bertujuan untuk memahami dasar teori, model matematis yang telah ada, serta metode analisis yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

2. Analisis

(a) Model Temporal

Menyusun model dasar dalam bentuk sistem persamaan diferensial biasa (*ordinary differential equations/ODE*) yang menggambarkan interaksi antara *prey*, *predator* sehat, dan *predator* terinfeksi tanpa mempertimbangkan efek spasial. Selanjutnya, dilakukan analisis titik kesetimbangan, kestabilan lokal, dan bifurkasi Hopf menggunakan linearisasi sistem, matriks Jacobian, nilai eigen, serta kriteria Routh-Hurwitz dengan pendekatan yang merujuk pada penelitian sebelumnya dan disesuaikan dengan struktur model yang digunakan.

(b) Model Spasial-Temporal dengan Difusi Silang dan Waktu Tunda

Model temporal kemudian dikembangkan menjadi sistem reaksi-difusi dengan tambahan komponen difusi silang dan waktu tunda untuk menggambarkan dinamika populasi yang bergantung pada ruang dan waktu. Komponen difusi merepresentasikan pergerakan individu secara acak di ruang, sedangkan difusi silang menggambarkan pergerakan suatu spesies akibat gradien kepadatan spesies lain. Waktu tunda digunakan untuk merepresentasikan keterlambatan proses biologis seperti transmisi penyakit atau reproduksi *predator*.

Analisis kestabilan dilakukan menggunakan metode linearisasi dengan pendekatan perturbasi kecil (*small perturbation method*) terhadap solusi homogen dari sistem. Prosedur analisis dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- (i) Melakukan linearisasi sistem di sekitar titik kesetimbangan koeksistensi;
- (ii) Menyusun sistem linear dalam bentuk gelombang normal $\exp(\lambda t + i\chi x)$ untuk memperoleh persamaan karakteristik;
- (iii) Menentukan nilai eigen $\lambda(\chi)$ sebagai fungsi bilangan gelombang χ untuk mengidentifikasi kondisi kestabilan sistem;
- (iv) Menganalisis tanda bagian real dari $\lambda(\chi)$ untuk menentukan kondisi munculnya bifurkasi.

Dari hasil tersebut, diperoleh kondisi munculnya tiga jenis bifurkasi utama:

- (a) Bifurkasi Hopf muncul ketika waktu tunda melewati nilai kritis yang menyebabkan kestabilan temporal hilang dan sistem berosilasi terhadap waktu;
- (b) Bifurkasi Turing terjadi ketika perbedaan laju difusi antarspesies atau keberadaan difusi silang menyebabkan ketidakstabilan spasial sehingga terbentuk pola ruang tetap;
- (c) Bifurkasi Hopf-Turing muncul dari interaksi antara ketidakstabilan spasial dan temporal yang menghasilkan pola ruang-waktu kompleks.

Proses penurunan persamaan karakteristik, penentuan nilai eigen, dan

identifikasi kondisi bifurkasi dilakukan secara simbolik menggunakan perangkat lunak yaitu Maple untuk memperoleh ekspresi analitik yang akurat.

3. Simulasi Numerik

Setelah model matematis disusun dan dianalisis secara teoretis, tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Octave. Simulasi ini bertujuan untuk:

- (i) Memvisualisasikan dinamika temporal dan pola spasial yang muncul dari model;
- (ii) Memverifikasi hasil analisis kestabilan terhadap kondisi bifurkasi Hopf dan Turing;
- (iii) Mengamati pengaruh parameter kanibalisme, perbedaan laju difusi, dan waktu tunda terhadap pembentukan pola.

Simulasi numerik dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam dua skema penyelesaian berdasarkan jenis model yang dianalisis. Pertama, metode *Runge-Kutta* orde empat (RK4) digunakan pada model temporal tanpa pengaruh spasial untuk menghasilkan grafik evolusi waktu populasi. Kedua, metode beda hingga *Forward Time Centered Space* (FTCS) pada domain dua dimensi dengan kondisi batas Neumann (*zero-flux*) diterapkan pada model spasial-temporal guna memvisualisasikan pembentukan pola spasial. Khusus untuk sistem dengan waktu tunda, baik pada skema RK4 maupun FTCS, evaluasi variabel waktu lampau ($t - \tau$) dilakukan menggunakan interpolasi linear untuk mengaproksimasi nilai populasi ketika titik waktu tunda tidak jatuh tepat pada grid waktu diskret komputasi.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi numerik, dilakukan penarikan kesimpulan terhadap dinamika sistem yang terbentuk serta implikasi biologisnya. Selain itu, disampaikan pula saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, baik dari sisi analisis matematis maupun perluasan model.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian skripsi ini mengkaji model matematika eko-epidemiologi spasial-temporal yang melibatkan interaksi *predator-prey* dengan faktor kanibalisme

pada *predator*, dua komponen waktu tunda biologis, serta difusi silang. Berdasarkan sistematika penulisannya, skripsi ini terdiri dari lima bab dan pada setiap bab terdapat beberapa subbab. Adapun rincian sistematika penulisan yaitu sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I dibahas mengenai pendahuluan yang merupakan garis besar penulisan skripsi. Bab ini terdiri dari enam sub bab yaitu latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab II diuraikan teori-teori yang menjadi landasan dalam penulisan skripsi sehingga dapat memberikan dasar bagi pembaca untuk memahami istilah/terminologi yang tertuang. Teori yang dibahas diantaranya yaitu kanibalisme, pemodelan matematika, model eko-epidemiologi, model temporal, model spasial-temporal, kestabilan sistem temporal, kestabilan sistem spasial-temporal, dan bifurkasi.

BAB III KONSTRUKSI DAN ANALISIS MODEL

Pada bab III diuraikan konstruksi dan analisis model yang meliputi penentuan titik kesetimbangan beserta syarat eksistensinya, analisis kestabilan lokal dan bifurkasi Hopf pada model temporal tanpa waktu tunda, analisis kestabilan dan syarat terjadinya ketidakstabilan Turing pada model spasial-temporal dengan difusi silang, serta bifurkasi Hopf pada model spasial-temporal yang dipengaruhi oleh difusi silang dan waktu tunda.

BAB IV SIMULASI NUMERIK DAN INTERPRETASI

Pada Bab IV dipaparkan hasil simulasi numerik terhadap dinamika spasial-temporal model eko-epidemiologi serta kemunculan ketidakstabilan Hopf-Turing akibat variasi tingkat kanibalisme, interaksi waktu tunda (masa inkubasi dan gestasi), serta efek pergerakan responsif melalui difusi silang, yang disertai dengan interpretasi ekologis dari pembentukan polanya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V diuraikan penutup yang menyajikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis matematis dan simulasi numerik terhadap dinamika spasial-temporal model eko-epidemiologi serta diuraikan saran-saran yang dapat digunakan sebagai acuan bagi pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya di bidang pemodelan matematika biologi.

