

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat banyak penyakit yang menginfeksi makhluk hidup, terutama manusia. Beberapa penyakit tersebut bersifat menular. Artinya, jika suatu penyakit menginfeksi satu individu, maka penyakit tersebut sangat mungkin untuk ditularkan kepada individu lain dengan berbagai cara penularan yang memungkinkan. Hal tersebut kadangkala membuat masyarakat kelimpungan akibat angka penularannya yang amat cepat. Kecepatan dan cakupan penyebaran suatu penyakit dapat dipengaruhi baik oleh faktor kebersihan (sanitasi) lingkungan maupun protokol kesehatan yang memadai [1]. Berkaitan dengan protokol kesehatan, terdapat peran kedisiplinan masyarakat yang dapat membantu menekan laju penyebaran penyakit. Ini tentu menjadi suatu topik yang menarik untuk dikaji tentang bagaimana perilaku suatu penyakit dalam penyebarannya di lingkungan masyarakat. Dengan demikian, didapat cara paling tepat dan efisien dalam mengontrol suatu penyakit agar penyebarannya dapat ditekan. Dalam hal ini, model epidemiologi memainkan peran yang sangat penting. Secara definitif, model epidemiologi adalah suatu model matematika yang digunakan untuk memodelkan suatu penyakit sehingga dapat diperoleh kesimpulan baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Berbagai model epidemiologi telah banyak dikaji dan diterapkan ke berbagai penyakit. Misalnya model SIR yang diterapkan dalam COVID-19. Model SIR merupakan salah satu model epidemiologi yang paling sederhana dengan tiga kompartemen mencakup S sebagai kelompok individu rentan, I sebagai kelompok individu yang terinfeksi, dan R sebagai kelompok individu yang telah sembuh dari penyakit [2]. Selain itu, terdapat juga model SIRC yang diterapkan dalam virus influenza A. Model SIRC pada dasarnya mirip dengan model SIR. Akan tetapi, dalam model ini, kompartemen C menotasikan *cross-immune individuals* dalam populasi [3]. Model epidemiologi lain seperti SEIR juga digunakan dalam observasi virus Ebola di Republik Kongo pada tahun 1995. Berbeda dengan model SIR, dalam SEIR terdapat kompartemen baru, yakni E yang menotasikan kelompok individu yang sudah

terpapar oleh penyakit [4] Selanjutnya, terdapat model SIS yang memungkinkan adanya kondisi bolak-balik antara S dengan I. Artinya, individu rentan yang terinfeksi memiliki kemungkinan untuk kembali ke dalam kondisi rentan. Contoh penyakit yang dapat dikaji menggunakan model ini adalah jenis-jenis alergi dan demam [5]. Selain itu, terdapat model epidemiologi yang menyertakan kompartemen karantina dalam analisisnya seperti yang dikaji oleh Ahmed dkk. [6]. Kemudian, dalam kasus virus Chikungunya yang disebarkan oleh nyamuk *Aedes aegypti*, model epidemiologi dibagi menjadi dua, yakni model untuk manusia dan model untuk nyamuk. Adapun model epidemiologi untuk kelompok manusia manusia adalah SEIAISR, dengan IA menunjukkan individu terinfeksi tanpa gejala dan IS adalah individu terinfeksi yang menunjukkan gejala. Sedangkan untuk nyamuk sumber infeksi dibagi menjadi beberapa kelompok, yakni telur (G), larva (L), telur dalam kondisi diapause (D), nyamuk dewasa rentan (S), nyamuk terpapar (E), dan nyamuk terinfeksi (I) [4]. Selain model-model yang telah disebutkan, masih terdapat banyak model epidemiologi yang telah atau bahkan sedang dikembangkan.

Pada dasarnya, penerapan suatu model epidemiologi dapat menyesuaikan dengan penyakit apa yang hendak dikaji dan fokus utama apa yang akan diamati. Misalnya, dalam kasus COVID-19 yang terjadi beberapa tahun lalu. Sejak kasus pertama tercatat pada akhir 2019, virus dengan cepat menyebar ke berbagai penjuru dunia. Berbagai solusi ditawarkan agar dapat menurunkan laju penyebaran penyakit hingga didapatkan salah satu cara yang dinilai paling efektif, yakni karantina [7]. Karantina merupakan metode dalam pengendalian suatu penyakit yang melibatkan pembatasan aktivitas individu yang telah terpapar penyakit guna mengurangi penyebaran penyakit terhadap individu lain yang rentan. Metode ini pun sudah digunakan dalam waktu yang lama untuk berbagai penyakit lain, seperti cacar, kusta, TBC, kolera, wabah, tifus, dan ebola. Selain untuk penyakit yang menyerang manusia, karantina juga dapat diterapkan pada penyakit-penyakit yang menyerang hewan, misalnya rabies, psittacosis, dan sampar sapi [8]. Dalam kasus-kasus terdahulu, karantina pernah diterapkan saat pandemi flu menyerang berbagai belahan dunia di tahun 1918. Kasus serupa juga ditemukan saat terjadi wabah SARS tahun 2002 lalu. Kekhawatiran yang ditimbulkan pada masyarakat luas akibat wabah tersebut menjadikan metode karantina sebagai salah satu garda terdepan dalam menangani masalah kesehatan saat itu [9]. Kata “karantina” menjadi semakin populer semenjak adanya COVID-19. Hal ini terjadi karena karantina dianggap menjadi salah satu metode paling efektif yang dapat menekan laju penyebaran berbagai penyakit, tak terbatas pada COVID-19 saja. Dalam artikel oleh Auranen dkk.[10], adanya kebijakan karantina dan isolasi mandiri dikatakan dapat menurunkan 2-3 kali

kasus infeksi dibandingkan tanpa adanya dua kebijakan tersebut. Selain itu, dalam artikel oleh Chladná dkk.[11] terbukti bahwa adanya karantina dalam model dapat memperlambat bahkan menurunkan kasus infeksi, dibandingkan dengan model saat tidak ada karantina.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmed dkk.[6], ditawarkan model SIQR yang membagi populasi menjadi empat kompartemen, yakni rentan, terinfeksi, dikarantina, dan sembuh. Namun, dalam realitanya, seringkali individu terinfeksi tidak langsung menunjukkan gejala, sehingga masyarakat tidak serta merta menggolongkan individu-individu tak bergejala tersebut sebagai orang yang terinfeksi. Hal ini tentu kurang cocok jika diterapkan begitu saja dalam model SIQR mengingat terdapat *gap* antara individu rentan dan terinfeksi. Maka, diperlukan suatu kompartemen yang berada di antara dua subpopulasi tersebut. Sehingga, dalam penelitian ini penulis menambahkan kompartemen E (*exposed*) yang berisi individu yang telah terekspos atau terpapar penyakit, akan tetapi belum dapat menularkannya kepada individu lain. Dengan adanya penambahan kompartemen E pada model SIQR, maka model yang dibentuk lebih realistis dan sesuai dengan kondisi penyebaran penyakit di dunia nyata. Sebab, dalam banyak kasus infeksi, seringkali virus mengalami masa inkubasi terlebih dahulu di dalam tubuh inangnya. Maka dari itu, penambahan kompartemen E yang berisi individu terpapar penyakit ini dapat mengkonstruksi sebuah model yang lebih relevan dengan kebanyakan kasus infeksi yang terjadi [12]. Selain itu, seperti pada artikel yang ditulis oleh Alenezi dkk. [13], model dengan penambahan kompartemen E terbukti lebih baik dalam memodelkan kasus Covid-19 di Kuwait pada tahun 2020 dibandingkan dengan model tanpa penambahan kompartemen tersebut. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi model dengan kompartemen E yang sangat mendekati data sesungguhnya. Dalam artikel tersebut juga dijelaskan bahwa kompartemen E pada model memberikan hasil yang lebih akurat terkait prediksi jumlah individu yang terinfeksi penyakit dan individu sembuh, dibandingkan model tanpa penambahan kompartemen E.

Kemudian, karena tujuan dalam pengonstruksian model adalah untuk mengendalikan laju penyebaran penyakit, maka dalam hal ini penulis menambahkan fungsi yang dapat membantu dalam kontrol penyakit tersebut, yakni fungsi respon Holling tipe II. Dalam beberapa penelitian, fungsi respon Holling tipe II seringkali ditambahkan dalam konstruksi model dengan tujuan untuk memberikan hasil yang lebih optimal dalam pengendalian kasus infeksi. Misalnya dalam artikel yang ditulis oleh Umdekar dkk.[14], dengan membandingkan model SEIR dengan dan tanpa penambahan fungsi respon Holling tipe II, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Di mana model dengan fungsi respon Holling tipe II mengalami kenaikan

populasi sembuh yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan model tanpa fungsi tersebut. Selain itu, model dengan fungsi respon Holling tipe II menunjukkan adanya penurunan individu terpapar dan terinfeksi yang cukup signifikan. Dalam artikel lain, fungsi ini juga diterapkan pada model SIR dan menunjukkan hasil yang lebih baik dalam mengontrol kasus infeksi di masyarakat. Di mana fungsi respon Holling tipe II dapat memprediksi penurunan individu terinfeksi dengan jumlah yang jauh lebih rendah dibandingkan model tanpa fungsi tersebut [15].

Selanjutnya, mengingat pada penelitian [6] individu sembuh diasumsikan tidak akan kembali menjadi rentan, tentu hal ini kurang relevan dengan kondisi yang sebenarnya terjadi. Faktanya, cukup banyak penyakit yang tidak menutup kemungkinan bagi penderitanya untuk kembali menjadi rentan dan terinfeksi setelah ia sembuh, bahkan setelah mendapatkan perawatan atau vaksinasi, seperti influenza, malaria, dan COVID-19. Dalam kata lain, imunitas pada individu hanyalah bersifat sementara. Maka dari itu, perlu dikonstruksi sebuah model yang dapat memenuhi kondisi tersebut. Pada artikel [16] telah dikaji beberapa model dengan dan tanpa imunitas sementara. Hasil yang ditunjukkan adalah model dengan imunitas sementara memberikan pengendalian jumlah kasus infeksi yang lebih baik dibandingkan dengan model tanpa imunitas sementara, di mana pada model tersebut jumlah kasus infeksi dapat melandai dengan cukup signifikan. Atas dasar hal tersebut, penulis hendak menambahkan parameter imunitas sementara pada model, sehingga model yang dibentuk menjadi SEIQRS.

Model SEIQRS merupakan pengembangan dari model SIQR [6]. Dalam model SEIQRS, terdapat kompartemen E yang menyatakan kelompok individu terekspos penyakit dan Q yang menyatakan kelompok individu dikarantina. Artinya, dalam model ini, individu dalam kompartemen E dan I sama-sama sudah terinfeksi. Perbedaan dengan model lain yang tidak memuat kompartemen E ialah bahwa pada model ini terdapat masa inkubasi bagi individu sejak ia terpapar penyakit sampai menunjukkan gejala infeksi. Karantina sendiri dapat diterapkan kepada orang-orang yang sekiranya sudah terpapar penyakit baik karena mengunjungi tempat yang rawan terjadinya infeksi maupun karena kontak dengan orang yang sudah terinfeksi (I). Individu yang terpapar tersebut, meskipun belum menunjukkan gejala penyakit, dapat segera melakukan karantina guna mencegah kontak dengan individu yang rentan terinfeksi (S) [17]. Model SEIQRS juga cocok diterapkan untuk penyakit-penyakit yang memiliki tingkat penularan tinggi. Sebab, hal tersebut menyebabkan peneliti kesulitan dalam mendeteksi individu-individu yang sudah terekspos penyakit akan tetapi tidak terdeteksi karena belum menunjukkan gejala yang signifikan. Model SEIQR dan SEIQRS juga telah banyak digunakan dalam mengkaji berbagai penyakit,

misalnya penyakit ebola [18] dan penyakit-penyakit yang terjadi pada anak seperti demam berdarah dan influenza [19].

Menjadi salah satu kasus yang paling relevan dengan metode karantina, COVID-19 dapat dijadikan contoh dalam penggunaan model SEIQRS. Beberapa peneliti telah mengkaji virus ini menggunakan model tersebut dan memperoleh kesimpulan tentang bagaimana peran karantina dalam penyakit yang pernah menjadi tren mengerikan di seluruh dunia itu. Misalnya, riset COVID-19 di Jepang antara pertengahan Februari hingga pertengahan April 2020 lalu memberikan kesimpulan bahwa metode karantina lebih efektif dibandingkan metode lockdown. Hal ini tentu tak terlepas dari tracing masyarakat yang terjangkit virus tersebut melalui PCR (*Polymerase Chain Reaction*) [20]. Dengan adanya karantina, jumlah individu terinfeksi dapat diminimalisir sedini mungkin sehingga laju infeksi yang disebabkan oleh COVID-19 dapat ditekan. Selain Jepang, negara lain seperti Amerika Serikat, Perancis, Britania Raya, Portugal [17], dan Italia [21] pun menerapkan model SIQR untuk mengkaji COVID-19 di negaranya.

Pada umumnya, model epidemiologi dikaji secara dinamik yang meliputi pencarian titik kesetimbangan dengan teorema titik tetap serta penentuan bilangan reproduksi dasar menggunakan *Next Generation Matrix* (NGM) yang berujung pada penentuan kestabilan lokal maupun global. Akan tetapi, terdapat cara lain yang dapat digunakan dalam melihat kekonvergenan suatu sistem, yakni dengan mengkajinya secara numerik. Pengkajian ini melibatkan beberapa metode numerik. Misalnya pada penelitian yang dilakukan oleh Champagnat dkk. yang menganalisis model SIS secara numerik dengan *Nonstandard Finite Difference Scheme* (NSFD) [15]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa NSFD memberikan hasil yang stabil terhadap model. Dalam penelitian oleh Ashgi dkk., [22] model SIR juga dikaji menggunakan metode Euler dan Runge-Kutta orde keempat. Hasil yang stabil diperoleh dari metode tersebut. Metode lain juga dapat diterapkan dalam analisis model penyakit, misalnya pada artikel yang ditulis oleh Akinfe dkk., [23] model SEIR-SEI yang diterapkan pada kasus malaria dianalisis menggunakan metode *Variational Iteration* dan menunjukkan bahwa metode tersebut efisien digunakan terhadap model. Namun, tidak semua metode numerik cocok diterapkan pada setiap model epidemiologi. Misalnya, dalam penelitian Ahmed dkk. [6], model SIQR tidak cocok diselesaikan menggunakan metode Euler, Runge-Kutta, dan *Variational Iteration*, akan tetapi stabil untuk NSFD. Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji model SEIQRS dengan dua metode numerik, yakni *Nonstandard Finite Difference* (NSFD) dan *Variational Iteration Method* (VIM).

Nonstandard Finite Difference pertama kali diperkenalkan pada tahun 1989 oleh Ronald E. Mickens dalam artikel yang berjudul *Exact Solutions to a Finite-Difference Model of a Nonlinear Reaction-Advection Equation: Implications for Numerical Analysis*. Metode ini diangkat untuk mengatasi kekurangan pada metode pendahulunya, seperti Euler dan Runge-Kutta, karena pada metode-metode standar tersebut seringkali ditemukan ketakkonvergenan pada solusi numerik model. Biasanya hal tersebut terjadi saat pemilihan *step-size* (h) terlalu besar. Pada tahun-tahun setelahnya, bahkan hingga saat ini NSFD sudah banyak dikaji dan diterapkan ke berbagai kasus, khususnya dalam epidemiologi. Metode ini memberikan hasil yang selalu konvergen dan positif dalam kasus-kasus tersebut. Misalnya, pada [24] yang membandingkan metode standar seperti Euler dan Runge-Kutta Orde Keempat (RK-4) dengan metode NSFD pada model SEIR, diperoleh bahwa kedua metode standar tersebut gagal dalam memberikan hasil yang konvergen untuk nilai *step-size* besar. Sedangkan NSFD cenderung selalu konvergen baik untuk *step-size* kecil maupun besar [25]. Dalam artikel lain oleh Fatima dkk.[26], NSFD sekali lagi unggul dibandingkan kedua metode pembandingnya, yakni Euler dan RK-4. Kelebihan dari metode NSFD yang membedakannya dengan metode standar lain adalah metode ini dapat menjaga kepositifan dan kekonvergenan model meski untuk *step-size* besar sekalipun. Hal ini dipengaruhi oleh adanya fungsi denominator (ϕ) yang nilainya disesuaikan dengan bentuk diskrit keseluruhan sistem [27]. Jika pada metode standar seperti Euler dan RK-4 *step-size* yang dipilih cukup dinyatakan dalam nilai konstanta tunggal (h), maka pada metode takstandar ini dipilih suatu fungsi dalam h yang dinyatakan sebagai $\phi(h)$. Nilai tersebut bentuknya selalu menyesuaikan dengan sistem yang dimiliki. Dalam kata lain, pemilihan nilai fungsi tersebut disesuaikan dengan bentuk sistem diskrit yang ada dan tidak semata-mata suatu nilai tunggal yang sifatnya seragam seperti halnya pada metode standar.

Kemudian, untuk metode numerik kedua yakni *Variational Iteration Method* (VIM). VIM pertama kali diperkenalkan oleh Ji-Huan He pada tahun 1998 dalam artikel yang berjudul *Approximate Analytical Solution for Seepage Flow with Fractional Derivatives in Porous Media* [28]. Artikel tersebut menunjukkan berbagai jenis permasalahan persamaan diferensial, mulai dari persamaan diferensial biasa linier, nonlinier, hingga fraksional dapat dengan sederhana diselesaikan oleh VIM. Tidak seperti pada penyelesaian solusi eksak dengan cara biasa yang membutuhkan cukup banyak waktu, terutama untuk tipe persamaan dengan kompleksitas tinggi seperti nonlinier dan fraksional, VIM hanya perlu memfokuskan pada fungsi koreksi atau bentuk diskrit persamaan dan pengali Lagrange, sehingga dapat memangkas waktu yang dibutuhkan dalam penyelesaian persamaan diferensial. Hal

ini yang menjadi latar belakang dibentuknya VIM, di mana He hendak merancang suatu metode yang dapat dengan mudah menyelesaikan persamaan-persamaan kompleks, seperti persamaan nonlinier dan fraksional. Dengan begitu, VIM dapat menyajikan solusi pendekatan yang sangat mendekati solusi eksak namun dengan waktu penyelesaian yang lebih singkat. Dalam penerapannya, VIM juga dapat menyelesaikan model epidemiologi dengan hasil yang konvergen dan positif, seperti yang dilakukan oleh Akinfe dkk. [23] yang mengkaji masalah penyebaran malaria dengan metode ini.

Atas dasar tersebut, penulis hendak mengkaji lebih lanjut mengenai penyelesaian model epidemiologi dengan metode numerik. Pada penelitian ini, akan diperkenalkan model epidemiologi SEIQRS yang terdiri dari lima kompartemen, yaitu *susceptible* (S), *exposed* (E), *infected* (I), *quarantined* (Q), dan *recovered* (R). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis dinamik dan numerik model SEIQRS. Adapun metode numerik yang digunakan adalah *Variational Iteration* dan *Nonstandard Finite Difference* (NSFD).

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa poin yang menjadi fokus utamanya. Poin-poin tersebut disusun ke dalam sebuah rumusan masalah guna merincikan indentifikasi masalah yang akan dikaji. Rumusan masalah tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Model dasar SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*) kurang merepresentasikan penyebaran beberapa penyakit yang memiliki karakteristik adanya masa inkubasi dan terjadinya infeksi kembali pada individu yang telah dinyatakan sembuh.
2. Beberapa model epidemiologi masih menggunakan asumsi linier dalam proses transmisinya.
3. Persamaan diferensial nonlinier umumnya sulit diselesaikan dengan menggunakan metode eksak, sehingga diperlukan metode numerik yang dapat merepresentasikan karakteristik dari solusinya.
4. Beberapa metode numerik telah digunakan dalam menyelesaikan model epidemiologi, akan tetapi tidak semua metode berhasil mencapai solusi yang konvergen, terutama untuk pemilihan *step-size* (h) besar.

1.3 Batasan Masalah

Dalam suatu penelitian, seringkali topik yang dikaji sangatlah umum atau terlalu luas cakupannya yang mengakibatkan kurang spesifiknya hasil yang diperoleh. Maka dari itu, diperlukan beberapa batasan yang dapat menjaga topik tetap berada pada ruang lingkup yang sesuai dengan yang dikehendaki. Batasan masalah juga dapat membuat topik analisis menjadi lebih spesifik sehingga fokus utama penelitian dapat terlihat lebih jelas. Berikut adalah beberapa batasan dalam penelitian ini.

1. Populasi bersifat tertutup.
2. Populasi manusia dikelompokkan dalam lima kompartemen, yakni S untuk individu rentan, E untuk individu terekspos penyakit, I untuk individu terinfeksi, Q untuk individu dikarantina, dan R untuk individu sembuh.
3. Setiap kompartemen diasumsikan bergantung terhadap waktu (t).
4. Imunitas pada individu sembuh bersifat sementara, sehingga dapat kembali menjadi individu rentan.
5. Semua parameter bernilai positif.
6. Individu pada kompartemen E , I dan Q diasumsikan sudah terinfeksi penyakit.
7. Karantina hanya dapat dilakukan pada individu di kompartemen I .

1.4 Tujuan Penelitian

Pada subbab ini, akan diuraikan tujuan utama dalam penelitian. Tujuan penelitian sangat diperlukan guna menjaga bahasan tetap pada alur penelitian yang dikehendaki. Tujuan penelitian ini diuraikan dalam poin-poin berikut.

1. Mengonstruksi model matematika SIR dengan penambahan kompartemen E (*exposed*/terpapar), Q (*quarantined*/dikarantina), dan imunitas sementara, sehingga model yang dibentuk menjadi SEIQRS, disertai penerapan fungsi respon Holling tipe II pada interaksi individu rentan dan terinfeksi.
2. Melakukan analisis numerik model SEIQRS dengan metode *Variational Iteration Method* (VIM) guna memperoleh solusi aproksimasi untuk sistem dengan persamaan nonlinier yang lebih efisien dalam waktu perhitungan.
3. Melakukan analisis numerik model SEIQRS dengan metode *Nonstandard Finite Difference* (NSFD) guna mengatasi ketidakkonvergenan pada metode numerik standar.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa metode dalam penyelesaiannya. Metode-metode tersebut mencakup studi literatur, analisis, dan simulasi. Adapun uraian lebih jelasnya adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Pada skripsi ini, studi literatur dilakukan dalam rangka menambah wawasan penulis terkait bahasan penelitian. Beberapa materi yang membutuhkan referensi literatur antara lain metode numerik *Variational Iteration Method* (VIM) dan *Nonstandard Finite Difference Scheme* (NSFD). Kedua metode tersebut menjadi topik utama penelitian ini sehingga dibutuhkan pengetahuan yang mendalam mengenai hal tersebut. Selain itu, materi seperti analisis titik kesetimbangan, analisis kestabilan, dan bilangan reproduksi dasar (R_0) juga memerlukan literatur-literatur pendukung.

2. Analisis

Terdapat dua jenis analisis yang dilakukan pada penelitian ini, yakni analisis dinamik dan analisis numerik. Analisis dinamik meliputi pencarian titik kesetimbangan bebas penyakit dan endemik serta penghitungan bilangan reproduksi dasar (R_0). Adapun analisis dinamik meliputi penyelesaian model SEIQRS dengan dua metode numerik, yaitu *Variational Iteration Method* (VIM) dan *Nonstandard Finite Difference Scheme* (NSFD) serta analisis kekonvergenan kedua metode tersebut.

3. Simulasi

Simulasi numerik dilakukan untuk memverifikasi hasil yang diperoleh pada tahap analisis. Hasil simulasi berupa grafik yang dihasilkan dari masing-masing metode numerik. Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan mana metode yang lebih efisien digunakan terhadap model SEIQRS.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada skripsi ini, terdapat lima bab yang meliputi:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini diawali dengan latar belakang yang mendasari penelitian skripsi. Kemudian, terdapat tujuan penelitian dan rumusan masalah yang merumuskan secara garis besar bahasan skripsi. Lalu, terdapat batasan masalah yang menjelaskan fokus bahasan dan ruang lingkup penelitian yang dilakukan. Terakhir, terdapat sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan pembahasan skripsi. Adapun beberapa poin yang difokuskan dalam landasan teori adalah pemodelan matematika, jenis model epidemiologi, titik kesetimbangan, bilangan reproduksi dasar, dan metode numerik untuk model yang digunakan.

BAB III ANALISIS MODEL SEIQRS DENGAN METODE VARIATIONAL ITERATION DAN NONSTANDARD FINITE DIFFERENCE (NSFD)

Pada bab ini, analisis dinamik dan numerik model SEIQRS diuraikan dalam bentuk perhitungan dinamik dan numerik. Terdapat dua metode numerik yang disajikan, yakni *Variational Iteration Method* (VIM) dan *Nonstandard Finite Difference* (NSFD).

BAB IV ANALISIS DINAMIK DAN NUMERIK MODEL SEIQRS DENGAN METODE VARIATIONAL ITERATION DAN NONSTANDARD FINITE DIFFERENCE (NSFD)

Bab ini mencakup simulasi metode numerik *Nonstandard Finite Difference Scheme* (NSFD) dan *Variational Iteration* yang diterapkan pada model SEIQRS dengan menggunakan *software* penunjang. Simulasi dilakukan berdasarkan data yang digunakan dan diperoleh dari suatu artikel. Hasil simulasi berupa grafik yang kemudian dapat diinterpretasikan secara matematis.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari analisis dinamik dan numerik model SEIQRS termasuk memuat jawaban dari tujuan yang dipaparkan pada Bab I, salah satunya yakni didapatkan metode yang paling cocok diterapkan pada model. Selain itu, dipaparkan juga saran untuk penelitian selanjutnya.