

MODEL MATEMATIKA PENGENDALIAN PENYEBARAN PENYAKIT *SCHISTOSOMIASIS* MENGGUNAKAN ITIK SEBAGAI MUSUH ALAMI BAGI KEONG PERANTARA *SCHISTOSOMIASIS*

I. Karini¹, R. Rationingsih²

^{1,2}Program Studi Matematika Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tadulako

Jalan Soekarno-Hatta Km.09 Tondo, Palu 94118, Indonesia

¹ipung.karini@gmail.com,²rationingsih@yahoo.com

ABSTRACT

In Indonesian *Schistosomiasis* is only found in Central Sulawesi Province, in the highlands of *Lindu*, the *Napu* plateau and the *Bada* plateau, *Poso* Regency. The disease is caused by the *Schistosoma japonicum* worm which requires an intermediary host, namely the *Oncomelania hupensis lindoensis* snail, which is an endemic animal in the area. This study examined mathematically the control of the spread of *Schistosomiasis* by using ducks as natural enemies for intermediate snails. The human population is divided into vulnerable human *subpopulations* and a *subpopulation* of infected humans. Interactions between snail populations and duck populations are expressed as interactions between Predator and Prey. The *Schistosoma japonicum* worm population is seen as a population growth cycle model. The stability of the model is analyzed using the Jacobi matrix, which is evaluated at a critical point. The model has two critical points T_1 and T_2 which represent a disease-free conditions, while T_3 represents endemic point. Mathematical model simulations controlling the spread of *Schistosomiasis*. The simulation is using ducks with early populations indicate that disease control by using ducks is less effective because it takes a very long time to be estimated at 55 years.

Keywords : Conch *Oncomelania Hupensis Lindoensis*, Duck, *Schistosomiasis*, *Schistosoma Japonicum* Worm.

ABSTRAK

Di Indonesia *Schistosomiasis* hanya ditemukan di Provinsi Sulawesi Tengah, di dataran tinggi Lindu, dataran tinggi Napu serta dataran tinggi Bada, Kabupaten Poso. Penyakit ini disebabkan oleh cacing *Schistosoma japonicum* yang membutuhkan host perantara, yakni keong *Oncomelania hupensis lindoensis* yang merupakan hewan endemik di daerah tersebut. Penelitian ini mengkaji secara matematis pengendalian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* dengan menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara. Populasi manusia dibagi menjadi subpopulasi manusia yang rentan dan subpopulasi manusia yang terinfeksi. Interaksi antara populasi keong dan populasi Itik dinyatakan sebagai interaksi antara *Predator* dan *Prey*. Adapun populasi cacing *Schistosoma japonicum* dipandang sebagai model siklus pertumbuhan satu populasi. Kestabilan model dianalisis menggunakan matriks Jacobi yang di evaluasi pada titik kritis. Model memiliki dua titik kritis T_1 dan T_2 yang merepresentasikan kondisi bebas penyakit, sedangkan T_3 merepresentasikan titik endemik. Simulasi model matematika pengendalian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* menggunakan Itik dengan populasi awal

menunjukkan bahwa pengendalian penyakit dengan menggunakan Itik kurang efektif karena dibutuhkan waktu yang sangat lama yang diperkirakan selama 55 tahun.

Kata Kunci : Keong *Oncomelania hupensis lindoensis*, Itik, *Schistosomiasis*, Cacing *Schistosoma japonicum*.

I. PENDAHULUAN

Schistosomiasis merupakan salah satu penyakit menular yang disebabkan oleh cacing darah (cacing *trematoda*) dari genus *Schistosoma* sebagai parasit. Menurut WHO (2018) pada tahun 2016, setidaknya ada 206,4 juta penderita *Schistosomiasis* membutuhkan perawatan, di mana lebih dari 89 juta penderita di laporkan telah diobati. Penyakit ini dapat ditemukan di beberapa daerah endemik Afrika, Amerika Selatan, Caribbean, Brazil, Venezuela, Suriname, China, Indonesia, Filipina, Kamboja, Laos, dan Prancis (WHO, 2017).

Di Indonesia, *Schistosomiasis* yang disebut juga dengan demam keong, hanya dapat ditemukan di Provinsi Sulawesi Tengah, yaitu di dataran tinggi Lindu, dataran tinggi Napu serta dataran tinggi Bada, Kabupaten Poso. Penyakit ini disebabkan oleh cacing *Schistosoma japonicum* yang membutuhkan host perantara, yakni keong *Oncomelania hupensis lindoensis* yang merupakan hewan endemik di daerah tersebut (Hadidjaja, 1985).

Pemutusan rantai penularan *Schistosomiasis* telah dicanangkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tahun 2015 melalui program penemuan dini penderita dengan pemeriksaan feses penduduk dan pengobatan. Penduduk yang fesesnya terdapat telur *Schistosoma* akan diberikan obat *Praziquantel* yang efektif melawan semua spesies *Schistosoma* di dalam tubuh manusia yang terinfeksi penyakit *Schistosomiasis* (Wei Hu, 2004).

Program pemerintah lainnya yaitu pemberantasan fokus keong perantara baik melalui kegiatan lintas sektor maupun swadaya yang berkelanjutan. Program pemberantasan keong perantara *Schistosomiasis* dapat dilakukan dengan cara kimiawi yaitu dengan menggunakan *moluskisida*. Namun, penggunaan *moluskisida* sintetik memiliki kekurangan yaitu kecenderungan bersifat toksik terhadap lingkungan, biota mikroskopis (zooplankton dan fitoplankton), dan mempengaruhi vegetasi di habitat keong perantara *Schistosomiasis*. Untuk itu diperlukan cara pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Upaya pengendalian yang dapat dilakukan agar tidak merugikan lingkungan adalah dengan menggunakan musuh alami bagi keong *Oncomelania hupensis lindoensis* yaitu Itik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang (Litbang P2B2) Donggala, pelepasan Itik di salah satu daerah fokus keong yaitu Desa Mekarsari menunjukkan adanya perbedaan signifikan terhadap banyaknya populasi keong. Terlihat rata – rata populasi keong berfluktuasi selama waktu pengamatan 20 hari. Pada kelompok perlakuan 15 ekor Itik, terlihat penurunan rata – rata populasi keong sudah terjadi mulai hari kedua setelah pelepasan Itik sampai hari 20 setelah pelepasan Itik. Pada kelompok perlakuan 10 dan 5 ekor Itik rerata populasi keong juga terlihat

cenderung turun. Selama waktu pengamatan terjadi perbedaan populasi keong *Oncomelania hupensis lindoensis* yang signifikan secara statistik, sebelum dan sesudah pelepasan Itik.

Kajian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* dan pengendaliannya menggunakan pemodelan matematika telah dilakukan oleh Sriwahyuni (2016). Penelitian tersebut membahas kendali optimal model siklus hidup cacing *Schistosoma japonicum* melalui pengobatan dengan prinsip minimum ponyagin. Dalam penelitian ini, selain *Praziquantel* sebagai obat bagi penderita yang terinfeksi *Schistosomiasis*, populasi Itik digunakan pula untuk mengurangi populasi keong *Oncomelania hupensis lindoensis*. Model matematika yang diadaptasi untuk populasi manusia adalah model *Susceptible – Infected (SI)*. Interaksi antara populasi keong dan populasi Itik mengadaptasi model mangsa – pemangsa (*Predator Prey*), dimana Itik sebagai musuh alami. Pada populasi cacing *Schistosoma japonicum* diterapkan model siklus pertumbuhan populasi. Model matematika yang dibangun selanjutnya dianalisa kestabilannya di sekitar titik kritis. Dalam hal persamaan karakteristik yang diperoleh rumit, kestabilan ditentukan melalui kriteria *Routh Hurwitz*.

II. METODE PENELITIAN

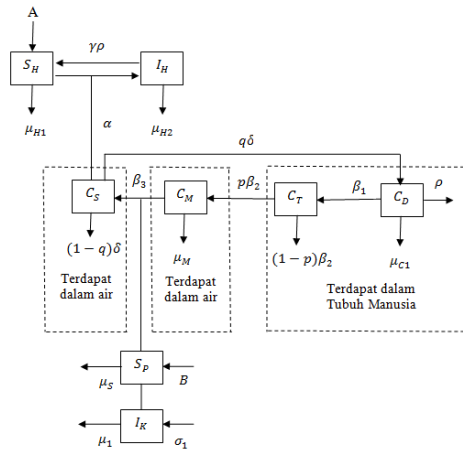
1. Memulai penelitian.
2. Mengkaji literatur, bertujuan untuk memperkuat penelitian. Literatur yang digunakan bersumber dari buku-buku, jurnal, dan artikel serta data-data penelitian dan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Membangun model penyebaran penyakit *Schistosomiasis*. Model dibangun berdasarkan informasi-informasi yang telah diperoleh dari literatur.
4. Mencari titik kesetimbangan model penyebaran penyakit *Schistosomiasis*. Titik kesetimbangan dapat ditentukan setelah dibangun model matematika penyebaran penyakit *Schistosomiasis*, dengan cara meninjau sistem pembangun model pada keadaan stagnan.
5. Menganalisa kestabilan model penyebaran penyakit *Schistosomiasis*. Setelah titik kesetimbangan diperoleh, langkah selanjutnya adalah menganalisa kestabilan dari model matematika penyebaran penyakit *Schistosomiasis* untuk mengetahui model tersebut stabil atau tidak.
6. Melakukan simulasi kestabilan dari persamaan model penyebaran penyakit *Schistosomiasis*.
7. Menyimpulkan hasil penelitian.
8. Selesai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. HASIL

Model matematika dari pengendalian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara *Schistosomiasis* dibangun berdasarkan fakta – fakta dan asumsi. Populasi yang terlibat dalam model matematika adalah populasi manusia, populasi cacing *Schistosoma japonicum*, populasi Itik, dan populasi keong.

Populasi manusia dibagi menjadi dua kelompok, yaitu subpopulasi manusia rentan (*Susceptible*) dan subpopulasi manusia terinfeksi (*Infected*). Model Matematika yang dikonstruksi pada populasi manusia ini merupakan model *Susceptible – Infected (SI)*. Selanjutnya interaksi yang terjadi antara populasi keong dan populasi Itik mengadaptasi model mangsa – pemangsa (*Predator Prey*), dimana Itik (I_K) akan berperan sebagai pemangsa dan keong (S_P) yang dimangsa. Sedangkan pada populasi cacing *Schistosoma japonicum* ditinjau fase perkembangan yang dikelompokkan menjadi cacing dewasa (C_D), telur cacing (C_T), mirasidium (C_M), dan serkaria (C_S). Diagram kompartemen model matematika pengendalian penyebaran *Schistosomiasis* menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara *Schistosomiasis* yang menggambarkan interaksi yang terjadi antara masing – masing kelompok populasi dapat dilihat pada Gambar 1. dengan deskripsi nilai parameter yang terlibat diberikan Tabel 3.



Gambar 1 : Diagram Kompartemen Penyebaran Penyakit *Schistosomiasis*

Dari diagram tersebut dapat dirumuskan sistem persamaan diferensial untuk model matematika pengendalian penyakit *Schistosomiasis* menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara *Schistosomiasis* sebagai berikut :

$$\frac{dS_H}{dt} = A + \gamma\rho I_H - \alpha S_H C_S - \mu_{H1} S_H \quad (1)$$

$$\frac{dI_H}{dt} = \alpha S_H C_S - \gamma\rho I_H - \mu_{H2} I_H \quad (2)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = q\delta C_S - \rho C_D - \mu_{C1} C_D \quad (3)$$

$$\frac{dC_T}{dt} = V + \beta_1 C_D - p\beta_2 C_T - (1-p)\beta_2 C_T \quad (4)$$

$$\frac{dC_M}{dt} = p\beta_2 C_T - \beta_3 C_M S_P - \mu_M C_M \quad (5)$$

$$\frac{dC_S}{dt} = \beta_3 C_M S_P - q\delta C_S - (1-q)\delta C_S \quad (6)$$

$$\frac{dS_P}{dt} = B S_P - \psi_1 S_P I_K - S_P \mu_S \quad (7)$$

$$\frac{dI_K}{dt} = \psi_2 S_P I_K + \sigma_1 I_K - \mu_1 I_K - \theta_1 I_K^2 \quad (8)$$

Penyebaran penyakit *Schistosomiasis* dimulai ketika terjadi infeksi pada manusia rentan (S_H). Infeksi dimulai dari masuknya bentuk infeksi (serkaria) menembus kulit manusia. Di dalam tubuh manusia, serkaria (C_S) akan berubah bentuk menjadi *schistosomula* atau cacing muda yang akan mengikuti sistem peredaran darah, masuk ke dalam jantung kanan, paru-paru, ke dalam jantung kiri dan keluar ke sistem peredaran darah besar dan menjadi cacing dewasa (C_D) di dalam hati. Setelah dewasa, cacing ini kembali ke vena porta dan vena usus dan kemudian cacing betina bertelur setelah berkopulasi (menyatukan alat kelamin jantan dan betina). Telur cacing *Schistosoma japonicum* (C_T) dapat menembus keluar pembuluh darah, bermigrasi di jaringan dan akhirnya masuk ke dalam lumen usus untuk kemudian ditemukan di dalam feses. Telur menetas dalam air dan larva yang keluar disebut mirasidium (C_M). Mirasidium masuk ke dalam tubuh keong *Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) dan berkembang menjadi sporokista I dan sporokista II dan kemudian menghasilkan serkaria (C_S). Pada penelitian ini dosis pemberian obat *Praziquantel* (ρ) diberikan pada penderita yang terinfeksi *Schistosomiasis*. Selain pemberian obat pada manusia terinfeksi populasi Itik (I_K) juga dilibatkan dalam model sebagai upaya pemberantasan fokus keong perantara *Schistosomiasis*.

Tabel 1 : Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan
S_H	Manusia Sehat (Rentan)
C_D	Cacing <i>Schistosoma japonicum</i> Dewasa
C_T	Telur Cacing <i>Schistosoma japonicum</i>
I_H	Manusia terinfeksi
I_K	Itik
C_M	Mirasidium
C_S	Serkaria
S_P	Keong <i>Oncomelania hupensis lindoensis</i>

Tabel 2 : Nilai Awal

Variabel	Deskripsi	Nilai Awal	Sumber	Dimensi
$I_H(0)$	Manusia terinfeksi	1227	Roadmap Eradikasi Schistosomiasis 2018 – 2025 Desa Mekarsari	Orang
$S_H(0)$	Manusia Sehat (Rentan)	1234	Roadmap Eradikasi Schistosomiasis 2018 – 2025	Orang

			Desa Mekarsari	
$C_D(0)$	Cacing <i>Schistosoma japonicum</i> Dewasa	27	(Sriwahyuni, et.al, 2016)	Ekor
$C_T(0)$	Telur Cacing <i>Schistosoma japonicum</i>	0	(Windy, 2018)	Butir
$I_K(0)$	Itik	15	(P2B2, 2016) Penelitian Desa Mekarsari	Ekor
$C_M(0)$	Mirasidium	0		
$C_S(0)$	Serkaria	0		
$S_P(0)$	Keong <i>Oncomelania hupensis lindoensis</i>	308	(Rosmini, 2008)	Ekor

Tabel 3 : Nilai Parameter

Para meter	Deskripsi	Nilai	Sumber	Dimensi
ρ	Dosis Pemberian Obat	0,06	Kementrian Kesehatan RI, 2018	Gram
V	Tingkat rekrutmen pada telur cacing	10	(Windy, 2018)	Butir
μ_{H2}	Laju kematian akibat infeksi cacing pada manusia	0,00014	$\frac{1}{lifetime}$	Hari
δ	Laju transisi dari serkaria menjadi cacing dewasa	0,14	(Hadidjaja, 1982)	Hari
α	Laju infeksi oleh serkaria	0,03	$\frac{Jumlah\ populasi}{periode\ waktu}$	Menit
γ	Laju transisi dari manusia terinfeksi kembali rentan	0,01	$\frac{1}{periode\ waktu}$	Hari
μ_{H1}	Laju kematian alami manusia rentan	0,13	BPS	Orang/ Hari
q	Peluang serkaria menjadi cacing dewasa	0,02	Asumsi	
μ_{C1}	Laju kematian alami	0.000058	Natadisastra, 2005	Ekor/

	cacing dewasa			Hari
μ_M	Laju kematian alami mirasidium	1	Wicaksono A.,2010	Butir/ Hari
β_1	Laju kelahiran populasi cacing dewasa	2,3	$\frac{\text{Populasi yang lahir}}{\text{Periode waktu}}$	Ekor/ Hari
β_2	Laju transisi dari telur menjadi mirasidium	0,025	Hadidjaja, 1982	Butir/ Hari
p	Peluang telur menjadi mirasidium	0,4	Asumsi	
β_3	Laju transisi dari mirasidium menjadi serkaria	0,0167	Wicaksono A.,2010	Buah/ Hari
B	Laju kelahiran keong <i>Oncomelania hupensis lindoensis</i>	0,8 (kondisi tidak stabil bebas penyakit dan kondisi endemik stabil)	Asumsi syarat eksis dan syarat stabil	Ekor/ Hari
		0,002 (kondisi stabil bebas penyakit)		
μ_s	Laju kematian alami keong <i>Oncomelania hupensis lindoensis</i>	0,002 (kondisi tidak stabil bebas penyakit dan kondisi endemik stabil)	Asumsi syarat eksis dan syarat stabil	Ekor/ Hari
		0,8 (kondisi stabil bebas penyakit)		

θ_1	Tingkat perebutan makanan pada populasi Itik	0,2	Dibangkitkan	
ψ_1	Laju pemangsaan keong oleh itik	0,5	$\frac{\text{Jumlah populasi keong}}{\text{Hari} \times \text{Jumlah Itik}}$	
σ_1	Laju pertumbuhan Itik yang berasal dari sumber makanan utama	0,01 (kondisi tidak stabil bebas penyakit, kondisi bebas penyakit stabil (T_2) dan kondisi endemik stabil)	Asumsi syarat eksis dan syarat stabil	
		0,001 (kondisi stabil bebas penyakit (T_1))		
ψ_2	Laju pertumbuhan populasi itik karena memangsa keong	0,0001	Dibangkitkan	
μ_1	Laju kematian alami itik	0,001 (kondisi tidak stabil bebas penyakit, kondisi bebas penyakit stabil (T_2) dan kondisi endemik stabil)	Asumsi syarat eksis dan syarat stabil	Hari

		0,01 (kondisi stabil bebas penyakit (T_1))		
A	Tingkat kelahiran populasi manusia	0,32	BPS	

3.2. PEMBAHASAN

3.2.1. Menentukan Titik Kritis

Titik kritis dari sistem persamaan (1)-(8) dapat diperoleh dengan memandang sistem sebagai suatu keadaan stagnan atau tidak terdapat perubahan dalam populasi, yaitu apabila $\frac{dS_H}{dt} = 0, \frac{dI_H}{dt} = 0, \frac{dC_D}{dt} = 0, \frac{dC_T}{dt} = 0, \frac{dC_M}{dt} = 0, \frac{dC_S}{dt} = 0, \frac{dS_P}{dt} = 0$ dan $\frac{dI_K}{dt} = 0$. Sehingga menghasilkan 3 titik kritis yaitu

$$T_1 = \left(\frac{A}{\mu_{H1}}, 0, 0, \frac{V}{\beta_2}, \frac{pV}{\mu_M}, 0, 0, 0 \right), T_2 = \left(\frac{A}{\mu_{H1}}, 0, 0, \frac{V}{\beta_2}, \frac{pV}{\mu_M}, 0, 0, \frac{\sigma_1 - \mu_1}{\theta_1} \right), T_3 = \left\{ S_H = -\frac{\delta AY(\mu_{H2} + \gamma\rho)}{Z}, I_H = \frac{WA(\rho + \mu_{C1})\beta_3 p \alpha V}{Z}, C_D = -\frac{\beta_3 V W q p}{Y}, C_T = -\frac{V(\rho + \mu_{C1})W\beta_3 + \psi_2 \psi_1 \mu_M}{Y\beta_2}, C_M = -\frac{pV\psi_2\psi_1(\rho + \mu_{C1})}{Y}, C_S = -\frac{W\beta_3 V(\rho + \mu_{C1})p}{\delta Y}, S_P = \frac{W}{\psi_2 \psi_1}, I_K = \frac{B - \mu_s}{\psi_1} \right\}$$

dimana :

$$W = ((-\sigma_1 + \mu_1)\psi_1 + \theta_1(B - \mu_s))$$

Syarat untuk W agar I_H, C_D, C_T, C_S dan S_P bernilai positif yaitu

$$W = ((-\sigma_1 + \mu_1)\psi_1 + \theta_1(B - \mu_s)) > 0$$

$$R < \frac{B - \mu_s}{(-\sigma_1 + \mu_1)}, \text{ dengan } R = \frac{\psi_1}{\theta_1}$$

$$Y = ((-\rho + q\beta_1 p - \mu_{C1})W\beta_3 - \psi_2\psi_1\mu_M(\rho + \mu_{C1}))$$

Syarat untuk Y agar S_H, C_D, C_T, C_M dan C_S bernilai positif yaitu

$$Y = ((-\rho + q\beta_1 p - \mu_{C1})W\beta_3 - \psi_2\psi_1\mu_M(\rho + \mu_{C1})) < 0$$

$$R < -\frac{\beta_3(-\rho + q\beta_1 p - \mu_{C1})(B - \mu_s)}{(-\sigma_1 + \mu_1)(-\rho + q\beta_1 p - \mu_{C1})\beta_3 - \psi_2\psi_1\mu_M(\rho + \mu_{C1})}$$

$$Z = -\delta(\mu_{H1}(\mu_{H2} + \gamma\rho)Y) + (Vp\mu_{H2}\alpha(\rho + \mu_{C1})W\beta_3)$$

Syarat untuk Z agar S_H dan I_H bernilai positif yaitu

$$Z = -\delta(\mu_{H1}(\mu_{H2} + \gamma\rho)Y) + (Vp\mu_{H2}\alpha(\rho + \mu_{C1})W\beta_3) > 0$$

$$R < -\frac{(-\delta(\mu_{H2} + \gamma\rho)(-\rho + q\beta_1 p - \mu_{C1})\mu_{H1} + Vp\mu_{H2}\alpha(\rho + \mu_{C1}))(B - \mu_s)\beta_3}{-((-\sigma_1 + \mu_1)\beta_3 - \psi_2\mu_M)\rho + (-\sigma_1 + \mu_1)(q\beta_1 p - \mu_{C1})\beta_3 - \mu_{C1}\psi_2\mu_M)(\mu_{H2} + \gamma\rho)\delta\mu_{H1} + Vp\mu_{H2}\alpha\beta_3(-\sigma_1 + \mu_1)(\rho + \mu_{C1})}$$

Titik kritis T_1 dan T_2 merupakan titik kritis bebas penyakit sedangkan T_3 merupakan titik kritis endemik penyakit *Schistosomiasis*. Hasil identifikasi eksistensi titik kritis T_1, T_2 dan T_3 dinyatakan pada Tabel 4.

Tabel 4 : Syarat eksistensi Titik Kritis

Titik kritis	Syarat eksistensi	Keterangan
T_1	Eksis tanpa syarat	Eksis
T_2	$\sigma_1 > \mu_1$	Eksis
T_3	$B > \mu_s$ $R < \frac{B - \mu_s}{-(\sigma_1 + \mu_1)}$, dengan $R = \frac{\psi_1}{\theta_1}$ $R < -\frac{\beta_3(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})(B - \mu_s)}{(\sigma_1 + \mu_1)(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})\beta_3 - \psi_2\mu_M(\rho + \mu_{c1})}$ $R < -\frac{(-\delta(\mu_{H2} + \gamma\rho)(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})\mu_{H1} + Vp\mu_{H2}\alpha(\rho + \mu_{c1}))(B - \mu_s)\beta_3}{-((\sigma_1 + \mu_1)\beta_3 - \psi_2\mu_M)\rho + (-\sigma_1 + \mu_1)(q\beta_1p - \mu_{c1})\beta_3 - \mu_{c1}\psi_2\mu_M}$	Eksis

Identifikasi titik kritis T_3 memunculkan pentingnya rasio antara laju pemangsaan keong oleh Itik (ψ_1) dan tingkat perebutan makanan pada populasi itik (θ_1) yang harus senantiasa dijaga pada ambang

$$R = \sup \left\{ \frac{B - \mu_s}{-(\sigma_1 + \mu_1)}, -\frac{\beta_3(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})(B - \mu_s)}{(\sigma_1 + \mu_1)(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})\beta_3 - \psi_2\mu_M(\rho + \mu_{c1})}, -\frac{(-\delta(\mu_{H2} + \gamma\rho)(-\rho + q\beta_1p - \mu_{c1})\mu_{H1} + Vp\mu_{H2}\alpha(\rho + \mu_{c1}))(B - \mu_s)\beta_3}{-((\sigma_1 + \mu_1)\beta_3 - \psi_2\mu_M)\rho + (-\sigma_1 + \mu_1)(q\beta_1p - \mu_{c1})\beta_3 - \mu_{c1}\psi_2\mu_M} \right\}$$

3.2.2. Analisis Kestabilan Titik Kritis

Dengan melakukan analisa kestabilan titik kritis terhadap model matematika pengendalian penyebaran Schistosomiasis menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara Schistosomiasis pada titik kritis T_1, T_2 dan T_3 dimana T_3 dilakukan analisa kestabilannya menggunakan kriteria *Routh-Hurwitz*. Syarat kestabilan titik kritis dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 : Syarat eksistensi Titik Kritis

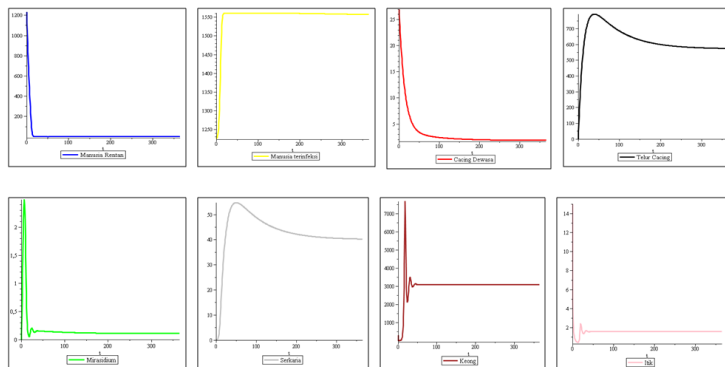
Titik kritis	Syarat Kestabilan	Keterangan
T_1	$B < \mu_s$ $\sigma_1 < \mu_1$	Stabil
	$B > \mu_s$ $\sigma_1 > \mu_1$	Tidak Stabil
T_2	Syarat eksis T_2 dan $R > \frac{B - \mu_s}{-(\sigma_1 + \mu_1)}$	Stabil
	Syarat eksis T_3 yaitu : $R < \frac{B - \mu_s}{-(\sigma_1 + \mu_1)}$	Tidak Stabil
T_3	Syarat eksis T_3 dan	Stabil

$\alpha_1 = R$ $< -$	$\frac{(B - \mu_2)\beta_3(-\mu_{H2} + \gamma\rho + \mu_{H1})(-\rho + q\beta_1\rho - \mu_{C1})\delta + V\rho\alpha(\rho + \mu_{C1})}{-(\mu_{H2} + \gamma\rho + \mu_{H1})((\sigma_1 - \mu_1)\beta_3 - \psi_2\mu_M)\rho + (-\sigma_1 + \mu_1)(q\beta_1\rho - \mu_{C1})\beta_3 - \mu_{C1}\psi_2\mu_M}$ $\delta + V\rho\alpha\beta_3(-\sigma_1 + \mu_1)(\rho + \mu_{C1})$	
-------------------------	--	--

3.2.3. Simulasi Titik Kritis

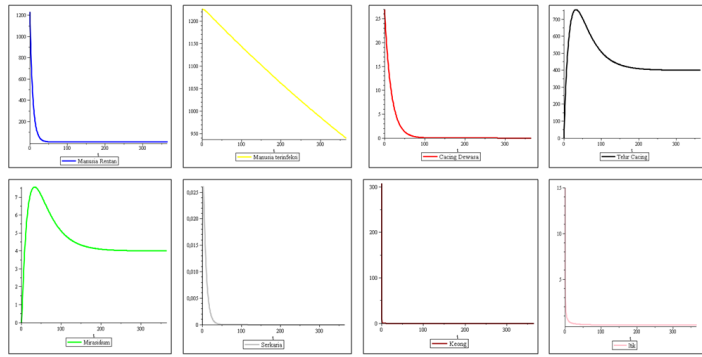
Pada penelitian ini dilakukan pula simulasi numerik dari solusi model matematika pengendalian penyebaran penyakit Schistosomiasis menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara. Simulasi dilakukan dengan memberikan nilai – nilai parameter yang memenuhi syarat eksistensi dan syarat kestabilan dari titik kritis (Tabel 4. dan Tabel 5.), serta nilai awal variabel dan nilai parameter pada Tabel (2) dan (3.).

Simulasi kondisi bebas penyakit direpresentasikan oleh titik kritis T_1 dengan nilai awal $I_H(0) = 1227, S_H(0) = 1234, C_D(0) = 27, C_T(0) = 0, I_K(0) = 15, C_M(0) = 0, C_S(0) = 0, S_P(0) = 308$ untuk interval waktu 365 hari. Titik kritis T_1 dikatakan stabil jika seiring dengan perubahan waktu kurva solusi mendekati titik kritisnya yaitu $(2,0,0,400,4,0,0,0)$.



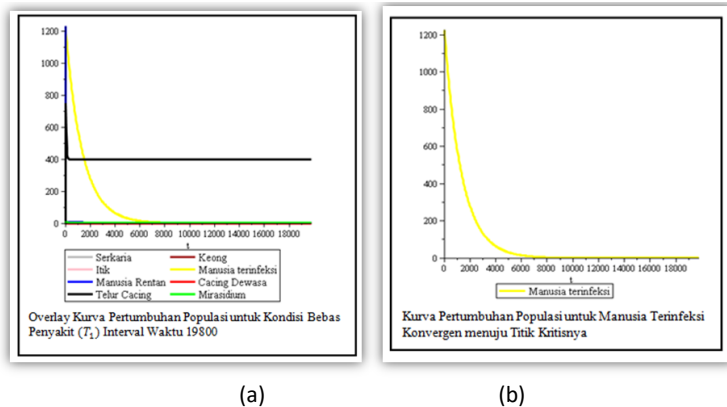
Gambar 2 : Simulasi Pertumbuhan Populasi T_1 Tidak Stabil

Kurva solusi manusia rentan (S_H), manusia terinfeksi (I_H), Cacing dewasa (C_D), Telur cacing (C_T), Mirasidium (C_M), Serkaria (C_S), Itik (I_K), *Keong Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) tidak konvergen ke nilai titik kritisnya pada hari ke 365. Hal ini memberikan arti bahwa T_1 tidak stabil. Simulasi kondisi bebas penyakit direpresentasikan oleh titik kritis T_1 dengan nilai awal $I_H(0) = 1227, S_H(0) = 1234, C_D(0) = 27, C_T(0) = 0, I_K(0) = 15, C_M(0) = 0, C_S(0) = 0, S_P(0) = 308$ untuk interval waktu 365 hari. Titik kritis T_1 dikatakan stabil jika seiring dengan perubahan waktu kurva solusi mendekati titik kritisnya yaitu $(2,0,0,400,4,0,0,0)$.



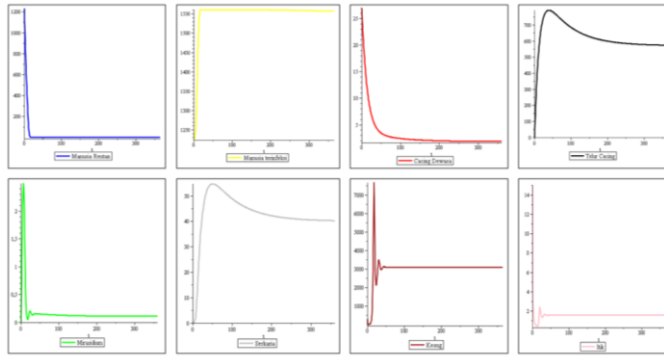
Gambar 3 : Simulasi Pertumbuhan Populasi T_1 Stabil

Kurva solusi manusia rentan (S_H), Cacing dewasa (C_D), Telur cacing (C_T), Mirasidium (C_M), Sarkaria (C_S), Itik (I_K), *Keong Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) konvergen ke nilai titik kritisnya pada hari ke 365. Hal ini memberikan arti bahwa T_1 stabil. Kurva solusi manusia terinfeksi (I_H) konvergen menuju ke titik kritisnya pada hari ke 19800.



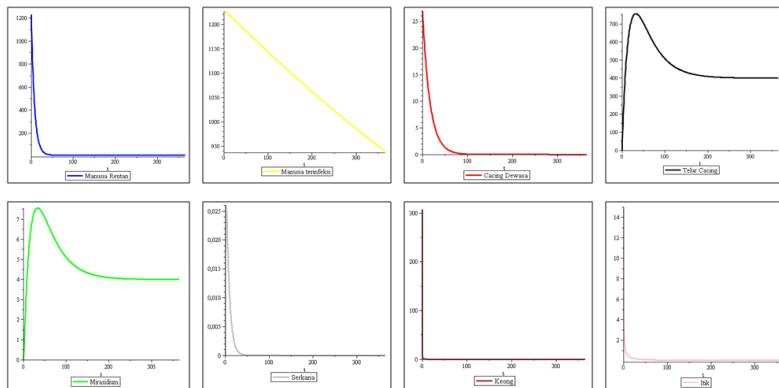
Gambar 4 : a. Overlay kurva Pertumbuhan Populasi untuk Kondisi Bebas Penyakit (T_1) Interval Waktu 19800, b. Kurva Pertumbuhan Populasi untuk Manusia Terinfeksi Konvergen menuju Titik Kritisnya

Simulasi kondisi bebas penyakit direpresentasikan oleh titik kritis T_2 dengan nilai awal $I_H(0) = 1227, S_H(0) = 1234, C_D(0) = 27, C_T(0) = 0, I_K(0) = 15, C_M(0) = 0, C_S(0) = 0, S_P(0) = 308$ untuk interval waktu 365 hari. Titik kritis T_2 dikatakan stabil jika seiring dengan perubahan waktu kurva solusi mendekati titik kritisnya yaitu $(2,0,0,400,4,0,0,0)$.



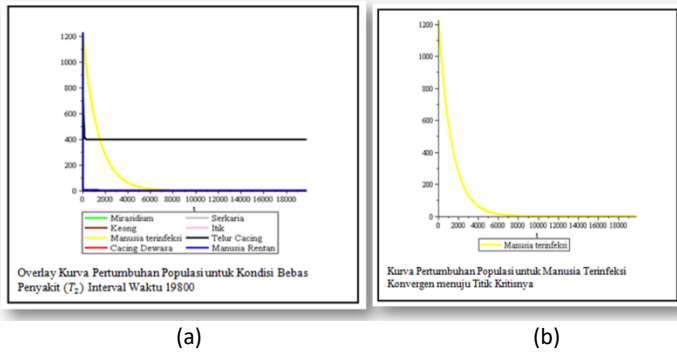
Gambar 5 : Simulasi Pertumbuhan Populasi T_2 Tidak Stabil

Kurva solusi manusia rentan (S_H), manusia terinfeksi (I_H), Cacing dewasa (C_D), Telur cacing (C_T), Mirasidium (C_M), Serkaria (C_S), Itik (I_K), *Keong Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) tidak konvergen ke nilai titik kritisnya pada hari ke 365. Hal ini memberikan arti bahwa T_2 tidak stabil. Simulasi kondisi bebas penyakit yang direpresentasikan oleh titik kritis T_2 menggunakan nilai awal $I_H(0) = 1227, S_H(0) = 1234, C_D(0) = 27, C_T(0) = 0, I_K(0) = 15, C_M(0) = 0, C_S(0) = 0, S_P(0) = 30$ interval waktu 365 hari.



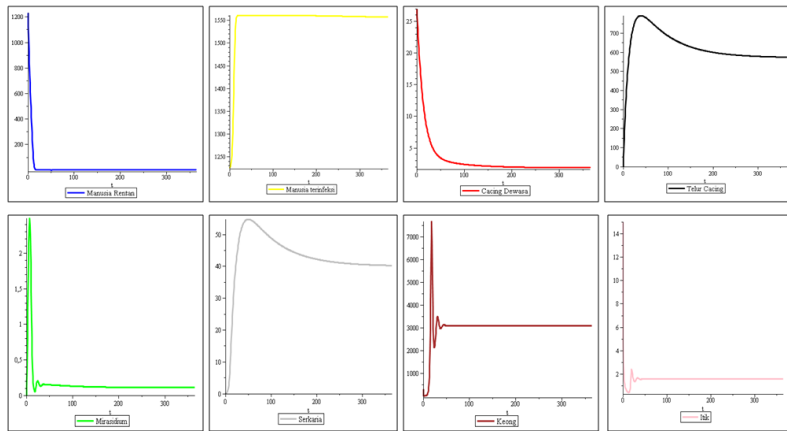
Gambar 6 : Simulasi Pertumbuhan Populasi T_2 Stabil

Kurva solusi manusia rentan (S_H), Cacing dewasa (C_D), Telur cacing (C_T), Mirasidium (C_M), Serkaria (C_S), Itik (I_K), *Keong Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) konvergen ke nilai titik kritisnya pada hari ke 365. Hal ini memberikan arti bahwa T_2 stabil. Kurva solusi manusia terinfeksi (I_H) konvergen menuju ke titik kritisnya pada hari ke 19800.



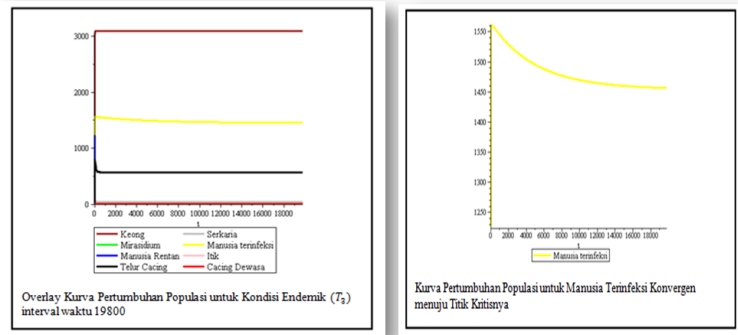
Gambar 7: a. Overlay kurva Pertumbuhan Populasi untuk Kondisi Bebas Penyakit (T_2) Interval 19800, b. Kurva Pertumbuhan Populasi untuk Manusia Terinfeksi Konvergen menuju Titik Kritisnya

Simulasi kondisi endemik yang direpresentasikan oleh titik kritis T_3 menggunakan nilai awal $I_H(0) = 1227$, $S_H(0) = 1234$, $C_D(0) = 27$, $C_T(0) = 0$, $I_K(0) = 15$, $C_M(0) = 0$, $C_S(0) = 0$, $S_P(0) = 308$ untuk interval waktu 365 hari. Titik kritis T_3 dikatakan stabil jika seiring dengan perubahan waktu kurva solusi mendekati titik tersebut.



Gambar 8 : Simulasi Pertumbuhan Populasi T_3 Stabil

Kurva solusi manusia rentan (S_H), Cacing dewasa (C_D), Telur cacing (C_T), Mirasidium (C_M), Serkaria (C_S), Itik (I_K), *Keong Oncomelania hupensis lindoensis* (S_P) konvergen ke nilai titik kritisnya pada hari ke 365. Hal ini memberikan arti bahwa T_3 stabil. Kurva solusi manusia terinfeksi (I_H) konvergen menuju ke titik kritisnya pada hari ke 19800.



(a)

(b)

Gambar 9 : a. Overlay kurva Pertumbuhan Populasi untuk Kondisi Bebas Penyakit (T_3) Interval 19800, b. Kurva Pertumbuhan Populasi untuk Manusia Terinfeksi Konvergen menuju Titik Kritisnya

Pengendalian Penyebaran Penyakit *Schistosomiasis* Menggunakan Itik Sebagai Musuh Alami Bagi Keong Perantara *Schistosomiasis* tidak efektif karena lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pengendalian Keong *Oncomelania hupensis lindoensis* dengan menggunakan Itik, sehingga harus dilakukan cara lain agar pengendalian penyakit *Schistosomiasis* berjalan dengan efektif.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengkonstruksi model matematika pengendalian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara *Schistosomiasis*. Dari model tersebut diperoleh 3 titik kritis dimana titik kritis pertama dan kedua merupakan titik kritis bebas penyakit sedangkan titik kritis ketiga merupakan titik kritis endemik penyakit *Schistosomiasis*. Hasil uji kestabilan pada titik kritis dapat diketahui bahwa Titik kritis T_1 eksis tanpa syarat tetapi T_1 stabil dengan syarat, Titik kritis T_2 eksis dengan syarat. Syarat eksistensi T_2 merupakan syarat stabilnya dengan tambahan syarat kestabilan, Titik kritis T_3 eksis dengan syarat. Syarat eksistensi T_3 merupakan syarat stabilnya dengan tambahan syarat stabil. Simulasi titik kritis menunjukkan bahwa Pengendalian penyebaran penyakit *Schistosomiasis* menggunakan Itik sebagai musuh alami bagi keong perantara *Schistosomiasis* tidak efektif karena lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pengendalian Keong *Oncomelania hupensis lindoensis*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Balai Penelitian dan Pengembangan Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Donggala, *Pedoman Pengendalian Schistosomiasis*, 2018, Provinsi Sulawesi Tengah Kota Palu.
- [2]. Hadidjaja, P., *Schistosomiasis di Sulawesi Tengah Indonesia*, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, 1985, Jakarta.
- [3]. Hu W., P.J. Brindley, D.P. McManus, Z. Feng, and Ze-Guang Han, *Schistosome Transcriptomes : New Insights Into the Parasite and Schistosomiasis. TRENDS in Molecular Medicine*, 10 (5),2004, 217-225.
- [4]. Sriwahyuni, dkk., *Kendali Optimal Model Siklus Hidup Cacing Schistosoma japonicum dengan Prinsip Minimum Pontryagin*, 2016, Palu: Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tadulako.
- [5]. [WHO] World Health Organization, *Schistosomiasis*, 2017, Diperoleh dari website World Health Organization : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/en/>, Di akses 4 Februari 2018.
- [6]. [WHO] World Health Organization, *Schistosomiasis*, 2018, Diperoleh dari website World Health Organization : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/en/>, Di akses 8 September 2018.