

Model Matematika Kerusakan Sumber Daya Hutan di Indonesia

Nur Suci^{#1}, Arnellis^{#2}, Media Rosha^{#3}

[#] *Student of Mathematics Department State University of Padang, Indonesia*
^{*} *Lecturers of Mathematics Department State University of Padang, Indonesia*
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, 25131, Telp. (0751) 444648, Indonesia

¹nursuci.121291@yahoo.co.id

²arnellis_unp@yahoo.co.id

³mediarosha@gmail.com

Abstract – The Degradation of forestry resources is a serious problem is faced by Indonesian country. The growth of population people and augment industrialization in Indonesia gave a negative effect to forestry resources. Its happen if the utilization continuously without preservation. The purpose of this study is to see the dynamic degradation of forestry resources that can be done by modeling the influence population growth and augment industrialization to forestry resources in the form of a mathematical model. The form of mathematical models equations a non-linear differential equations system. Furthermore Mathematical model that we get be analysed and the result is interprestationed to answer the problem. According the analysis of mathematical model dynamics degradation of forestry resources in Indonesia is gotten by two types of fixed point; fixed point interference free (E_1) and fixed point interference (E_2 and E_3), and then we get obtained the stability of each fixed.

Keywords – Degradation of Forestry, Industrialization, Mathematical Models, Population People Stability.

Abstrak – Kerusakan sumber daya hutan merupakan masalah serius yang dihadapi Negara Indonesia. Pertumbuhan populasi penduduk dan perkembangan industri di Indonesia memberikan dampak negatif terhadap sumber daya hutan, apabila pemanfaatannya terjadi terus-menerus tanpa adanya pelestarian. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melihat dinamika kerusakan sumber daya hutan yang dapat dilakukan dengan memodelkan pengaruh pertumbuhan populasi penduduk dan perkembangan industri terhadap sumber daya hutan kedalam bentuk model matematika. Persamaan model matematika ini berupa system persamaan diferensial non linear. Selanjutnya model yang telah diperoleh dianalisis dan hasil yang diperoleh diinterpretasikan kembali untuk menjawab permasalahan. Dari hasil analisis model diperoleh dua jenis titik tetap, yaitu titik tetap bebas gangguan (E_1) dan titik tetap ada gangguan (E_2 dan E_3), dan kemudian diperoleh syarat-syarat kestabilan titik-titik tetap.

Kata kunci – Kerusakan hutan, Industrialisasi, Model Matematika, Populasi Penduduk, Kestabilan

PENDAHULUAN

Sumber daya hutan merupakan sumber daya alam yang mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. Dari segi ekonomi, sumber daya hutan sebagai sumber terbesar perolehan devisa negara, pendukung perkembangan industri, penyedia lapangan kerja. Dalam hal penyeimbang lingkungan, hutan mempunyai berperan dalam hal penyedia sumber air, penghasil oksigen, tempat hidup flora dan fauna, serta mencegah terjadinya pemanasan global [4].

Indonesia termasuk salah satu negara di dunia yang memiliki luas hutan alam yang terluas di dunia. Kekayaan

sumber daya hutan menyebabkan masyarakat Indonesia menggantungkan hidup dan mata pencahariannya dari hutan, seperti mengumpulkan berbagai jenis hasil hutan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya [3]. Hal ini memberikan tekanan terhadap sumber daya hutan. Ditambah dengan kenyataan Indonesia merupakan negara dengan kepadatan penduduk yang tinggi.

Pertambahan jumlah penduduk dalam beberapa tahun terakhir makin meningkat. Meningkatnya pertumbuhan penduduk mendorong peningkatan kebutuhan lahan, baik lahan untuk pembangunan perumahan, pembangunan sarana prasarana, membangun areal industri, pertanian, dsb. Keadaan ini menyebabkan

tekanan terhadap sumber daya hutan. Kegiatan-kegiatan ini akan mengganggu keberadaan dan kelestarian hutan jika tidak dilakukan dengan cara yang lestari, sehingga peluang terjadinya kerusakan hutan akan meningkat seiring bertambahnya kepadatan penduduk [1].

Luasnya kawasan hutan yang tersebar di seluruh pulau-pulau besar di Indonesia, menjadi salah satu faktor pendukung perkembangan industri kehutanan di Indonesia. Industri menjadi salah satu sektor perekonomian yang dapat menjadi modal pendapatan negara. Industri yang mengalami pertumbuhan paling pesat di sektor kehutanan, yaitu industri kayu dan kertas [5].

Meningkatnya perkembangan industri perkebunan, juga meningkatkan permintaan kebutuhan kayu. Dalam hal jatah tebang industri tahunan, pasokan kayu tidak akan mampu dicapai jika hanya mengandalkan dari hutan alam. Untuk menutupi kekurangan bahan baku kayu, industri pengolahan kayu telah melakukan penebangan melebihi jatah yang ditetapkan [4]. Hal ini mengakibatkan luas hutan semakin menurun, lahan kritis semakin bertambah. Kondisi seperti ini jika dibiarkan tanpa adanya pelestarian yang cepat, menyebabkan sebagian besar kawasan Indonesia telah menjadi kawasan yang rentan terhadap bencana, baik bencana kekeringan, banjir maupun tanah longsor.

Perkembangan ilmu pengetahuan di bidang matematika juga turut memberikan peranan penting dalam mencegah masalah ekologi, yaitu dengan menggunakan model matematika. Masalah kerusakan sumber daya hutan di Indonesia juga dapat diatasi dengan memodelkannya ke dalam model matematika. Model matematika yang digunakan pada model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia adalah model kompartemen. Pada model kompartemen, terdapat tiga kelompok yaitu kepadatan sumber daya hutan, kepadatan populasi penduduk dan kepadatan industri. Berdasarkan model dilihat bagaimana gangguan yang disebabkan oleh kepadatan populasi penduduk dan kepadatan industri yang dapat menyebabkan kerusakan pada sumber daya hutan, sehingga dapat diambil langkah untuk menanggulangi kerusakan hutan agar tidak terus-menerus terjadi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah 1) untuk membentuk model matematika penyebaran penyakit campak dengan vaksinasi, 2) menganalisis model matematika yang telah diperoleh, dan 3) interpretasi dari hasil analisis model matematika tersebut.

METODE

Penelitian ini adalah penelitian dasar. Metode yang digunakan adalah analisis teori-teori yang relevan dengan permasalahan yang dibahas dan berlandaskan kepada kajian kepustakaan. Langkah kerja yang akan dilakukan adalah meninjau masalah yang dihadapi, mengumpulkan dan mengaitkan teori-teori yang diperoleh dengan permasalahan model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia, menentukan asumsi-asumsi

pembentukan model, mengaitkan hubungan antara variabel pada model dengan asumsi yang telah dibuat, membentuk model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia, menganalisa model dengan teori kestabilan, menginterpretasikan hasil dari analisis yang diperoleh dan membuat kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembentukan Model

Dalam membentuk model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia digunakan tiga variabel yaitu:

H : kepadatan sumber daya hutan.

P : kepadatan populasi penduduk.

I : kepadatan industrialisasi.

Parameter yang digunakan dalam membentuk model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia yaitu:

s : laju pertumbuhan alami sumber daya hutan

r : laju pertumbuhan populasi penduduk

α : laju kerusakan sumber daya hutan yang disebabkan karena meningkatnya kepadatan populasi penduduk,

α_1 : rata-rata populasi yang menggunakan sumber daya hutan untuk kebutuhan hidupnya,

β : laju kerusakan sumber daya hutan yang disebabkan oleh perkembangan Industri,

q_0 : laju kematian populasi penduduk secara alami, γ laju pertumbuhan industri karena tersedianya sumber daya hutan yang memadai,

θ_0 : rata-rata pengendalian industrialisasi oleh pemerintah,

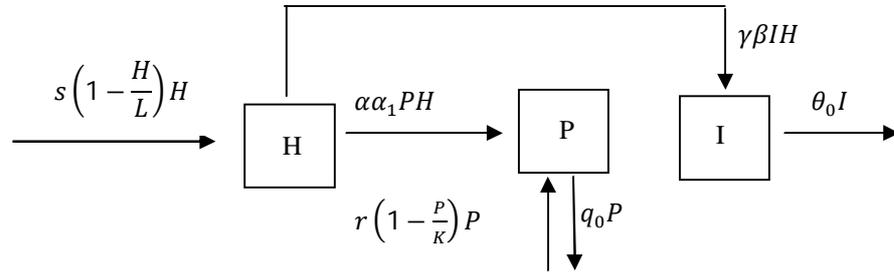
δ : laju pertumbuhan industri karena meningkatnya kepadatan penduduk.

Asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pertumbuhan sumber daya hutan dan populasi penduduk dibatasi oleh daya dukung lingkungan.
2. Tidak ada kerusakan alami pada sumber daya hutan, kerusakan hanya disebabkan oleh penebangan hutan.
3. Laju kerusakan hutan berbanding terbalik dengan kepadatan penduduk dan kepadatan industri. Semakin tinggi kepadatan penduduk dan kepadatan industri, maka semakin tinggi juga tingkat kerusakan hutan yang diakibatkannya.
4. Populasi penduduk tertutup, artinya tidak ada perpindahan pada populasi penduduk.
5. Laju kelahiran dan kematian populasi penduduk konstan.
6. Kepadatan populasi penduduk meningkat karena adanya sumber daya hutan yang mendukung kehidupannya.
7. Perkembangan industri meningkat karena adanya sumber daya hutan yang mendukungnya baik berupa lahan untuk mendirikan industri maupun hasil hutan yaitu kayu sebagai bahan baku industri.

Berdasarkan variabel, parameter, dan asumsi yang telah dijelaskan, maka dapat digambarkan diagram model

matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia sebagai berikut:



Gambar.1 Bagan Model Matematika Kerusakan Sumber Daya Hutan Di Indonesia

Berdasarkan diagram diatas dapat dijelaskan:

Laju perubahan kepadatan sumber daya hutan terhadap waktu dipengaruhi oleh laju pertumbuhan sumber daya hutan secara alami yang dibatasi oleh daya dukung lingkungannya yang ditunjukkan oleh model pertumbuhan logistik, namun akan berkurang karena meningkatnya kepadatan populasi penduduk yang memanfaatkan sumber daya hutan untuk kebutuhan hidupnya, kemudian juga berkurang karena meningkatnya pertumbuhan industrialisasi yang memanfaatkan sumber daya hutan sebagai bahan bakunya.

$$\frac{dH}{dt} = s \left(1 - \frac{H}{L}\right) H - \alpha PH - \beta IH$$

Laju perubahan kepadatan populasi terhadap waktu dipengaruhi oleh pertumbuhan individu secara alami yang dibatasi oleh daya dukung lingkungannya yang ditunjukkan oleh model pertumbuhan logistik, kemudian kepadatan populasi juga dipengaruhi oleh adanya sumber daya hutan yang tersedia yang dapat mendukung dalam hal untuk pemenuhan kebutuhan hidupnya, namun akan berkurang karena adanya individu yang mengalami kematian alami.

$$\frac{dP}{dt} = r \left(1 - \frac{P}{K}\right) P + \alpha \alpha_1 PH - q_0 P$$

Laju perubahan kepadatan industrialisasi terhadap waktu dipengaruhi oleh laju pertumbuhan industrialisasi itu sendiri karena tersedianya sumber daya hutan yang memadai untuk mendukung kegiatan industrialisasi dalam hal penyediaan bahan bakunya, namun berkurang karena adanya pengendalian dari pemerintah berupa pembatasan izin penebangan hutan.

$$E_3 = \left(\frac{\theta_0}{\gamma \beta}, \frac{K(\gamma \beta r - q_0 \gamma \beta + \alpha \alpha_1 \theta_0)}{\gamma \beta r}, \frac{s L r \gamma \beta - s \theta_0 r - \alpha \gamma \beta r K L - \alpha^2 \alpha_1 \theta_0 K L + \alpha q_0 \gamma \beta K L}{\gamma \beta^2 r L} \right) \quad (3)$$

Persamaan (2) menunjukkan saat sumber daya hutan dan populasi penduduk ada pada sistem, namun industrialisasi tidak ada. Titik E_2 akan ada jika salah satu dari kondisi berikut terpenuhi, yaitu:

$$\frac{dI}{dt} = \gamma \beta IH - \theta_0 I$$

Sehingga model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dt} &= s \left(1 - \frac{H}{L}\right) H - \alpha PH - \beta IH \\ \frac{dP}{dt} &= r \left(1 - \frac{P}{K}\right) P + \alpha \alpha_1 PH - q_0 P \\ \frac{dI}{dt} &= \gamma \beta IH - \theta_0 I \end{aligned} \quad (1)$$

B. Hasil Analisis Model

Dari analisis model (1), diperoleh dua jenis titik tetap yaitu titik tetap bebas gangguan dan titik tetap ada gangguan. Titik tetap bebas gangguan diartikan bahwa saat belum adanya kerusakan sumber daya hutan yang disebabkan oleh kepadatan populasi penduduk dan kepadatan industrialisasi. Titik tetap ada gangguan diartikan bahwa terdapat gangguan terhadap sumber daya hutan yang disebabkan adanya pemanfaatan oleh populasi penduduk dan industrialisasi.

Titik tetap bebas gangguan yang diperoleh yaitu: $E_1 = (L, 0, 0)$, yaitu keadaan dimana sumber daya hutan selalu ada sebanyak daya dukung lingkungannya itu sebesar L , sedangkan populasi penduduk dan industrialisasi tidak ada pada sistem. Selanjutnya titik tetap ada gangguan yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

$$E_2 = \left(\frac{L(sr - \alpha K r + \alpha K q_0)}{sr + \alpha^2 \alpha_1 L K}, \frac{Ks(r + \alpha \alpha_1 L - q_0)}{sr + \alpha^2 \alpha_1 L K}, 0 \right) \quad (2)$$

dan

- $r(s - \alpha K) + \alpha K q_0 > 0$, maka $s > \alpha K$
- $r + \alpha \alpha_1 L > q_0$

Sedangkan pada persamaan (3) sumber daya hutan, populasi penduduk dan industrialisasi selalu ada pada

sistem. Titik E_3 akan ada jika salah satu dari kondisi berikut terpenuhi, yaitu:

- i. $r > q_0$
- ii. $\gamma\beta L < \theta_0$

$$J = \begin{bmatrix} s - \frac{2sH}{L} - \alpha P - \beta I & -\alpha H & -\beta H \\ \alpha\alpha_1 P & r - \frac{2rP}{L} - \alpha H - q_0 & 0 \\ \gamma\beta I & \delta I & \gamma\beta H + \delta P - \theta_0 \end{bmatrix}$$

1. Kestabilan Titik Tetap Bebas gangguan $E_1 = (L, 0, 0)$

Titik tetap E_1 dikatakan stabil asimtotik jika semua nilai eigen dari matriks *Jacobian* pada titik tetap bebas gangguan bernilai negatif.

Matriks *Jacobian* pada titik tetap E_1 adalah:

$$J(E_1) = \begin{bmatrix} -s & 0 & -\beta L \\ 0 & r + \alpha\alpha_1 L - q_0 & 0 \\ 0 & \pi_1 & \gamma\beta L - \theta_0 \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik dari matriks *Jacobian* di atas sebagai berikut:

$$(-s - \lambda)(r + \alpha\alpha_1 L - q_0 - \lambda)(\gamma\beta L - \theta_0 - \lambda) = 0$$

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -s \\ \lambda_2 &= r + \alpha\alpha_1 L - q_0 \\ \lambda_3 &= \gamma\beta L - \theta_0 \end{aligned}$$

Nilai $\lambda_1 < 0$, agar titik tetap E_1 bersifat stabil haruslah $\lambda_2 < 0$ dan $\lambda_3 < 0$ sehingga $r + \alpha\alpha_1 L < q_0$ dan $\gamma\beta L < \theta_0$. Jika $r + \alpha\alpha_1 L > q_0$ dan $\gamma\beta L > \theta_0$ maka E_1 bersifat tidak stabil.

2. Kestabilan titik tetap ada gangguan

a. Kestabilan dititik E_2

$$E_2 = \left(\frac{L(sr - \alpha Kr + \alpha Kq_0)}{sr + \alpha^2 \alpha_1 LK}, \frac{Ks(r + \alpha\alpha_1 L - q_0)}{sr + \alpha^2 \alpha_1 LK}, 0 \right)$$

Misalkan:

$$H^* = \frac{L(sr - \alpha Kr + \alpha Kq_0)}{sr + \alpha^2 \alpha_1 LK}$$

dan

$$P^* = \frac{Ks(r + \alpha\alpha_1 L - q_0)}{rs + \alpha^2 \alpha_1 LK}$$

Maka matriks *Jacobian* pada titik tetap E_2 adalah:

$$E_3 = \left(\frac{\theta_0}{\gamma\beta}, \frac{K(\gamma\beta r - q_0\gamma\beta + \alpha\alpha_1\theta_0)}{\gamma\beta r}, \frac{sLr\gamma\beta - s\theta_0 r - \alpha\gamma\beta rKL - \alpha^2\alpha_1\theta_0KL + \alpha Kq_0\gamma\beta L}{\gamma\beta^2 rL} \right)$$

Misalkan:

$$\begin{aligned} H^{**} &= \frac{\theta_0}{\gamma\beta} \\ P^{**} &= \frac{K(\gamma\beta r - q_0\gamma\beta + \alpha\alpha_1\theta_0)}{\gamma\beta r} \end{aligned}$$

Analisis kestabilan titik tetap ditentukan dengan cara menentukan nilai eigen matriks *Jacobian* dari sistem (1), matriks *Jacobian* dari sistem (1) diperoleh sebagai berikut:

$$J(E_2) = \begin{bmatrix} s - 2s\frac{H^*}{L} - \alpha P^* & -\alpha H^* & -\beta H^* \\ \alpha\alpha_1 P^* & r - 2r\frac{P^*}{K} - q_0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma\beta H^* - \theta_0 \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik dari matriks *Jacobian* diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$$

dimana

$$a_1 = -\left[(\gamma\beta H^* - \theta_0) + \left(s - 2s\frac{H^*}{L} - \alpha P^* \right) + \left(r - 2r\frac{P^*}{K} + \alpha\alpha_1 H^* - q_0 \right) \right]$$

$$a_2 = \left[\left(r - 2r\frac{P^*}{K} + \alpha\alpha_1 H^* - q_0 \right) (\gamma\beta H^* - \theta_0) + \left(s - 2s\frac{H^*}{L} - \alpha P^* \right) (\gamma\beta H^* - \theta_0) + \left(s - 2s\frac{H^*}{L} - \alpha P^* \right) \left(r - 2r\frac{P^*}{K} + \alpha\alpha_1 H^* - q_0 \right) + (\alpha H^*) (\alpha\alpha_1 P^*) \right]$$

$$a_3 = -\left[\left(s - 2s\frac{H^*}{L} - \alpha P^* \right) \left(r - 2r\frac{P^*}{K} + \alpha\alpha_1 H^* - q_0 \right) (\gamma\beta H^* - \theta_0) + (\alpha H^*) (\alpha\alpha_1 P^*) (\gamma\beta H^* - \theta_0) \right]$$

Karena nilai eigen pada persamaan matriks *Jacobian* diatas sulit dicari maka digunakan kriteria *Routh-Hurwitz* untuk menganalisis titik tetapnya. Menurut kriteria *Routh Hurwitz*, titik tetap E_2 akan stabil jika dan hanya jika semua nilai eigen adalah real negatif. Hal ini terjadi jika memenuhi syarat sebagai berikut :

$$a_1 > 0, a_3 > 0 \text{ dan } a_1 a_2 - a_3 > 0$$

Karena kondisi $a_1 > 0, a_3 > 0$ dan $a_1 a_2 - a_3 > 0$ terpenuhi, titik tetap E_2 ada dan stabil jika $s > \alpha K$, yaitu saat laju pertumbuhan alami sumber daya hutan lebih besar dari hasil kali laju kerusakan sumber daya hutan oleh populasi penduduk dengan daya dukung lingkungannya.

b. Kestabilan dititik E_3 .

dan

$$I^{**} = \frac{sLr\gamma\beta - s\theta_0 r - \alpha\gamma\beta rKL - \alpha^2\alpha_1\theta_0KL + \alpha Kq_0\gamma\beta L}{\gamma\beta^2 rL}$$

maka matriks Jacobi dari E_3 adalah:

$$J(E_3) = \begin{bmatrix} s - 2s \frac{H^{**}}{L} - \alpha P^* - \beta I^{**} & -\alpha H^{**} & -\beta H^{**} \\ \alpha \alpha_1 P^{**} & r - 2r \frac{P^{**}}{K} + \alpha \alpha_1 H^{**} - q_0 & 0 \\ \gamma \beta I^{**} & 0 & \gamma \beta H^{**} - \theta_0 \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik dari matriks *Jacobian* diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\lambda^3 + b_1 \lambda^2 + b_2 \lambda + b_3 = 0$$

dimana

$$b_1 = - \left[\left(s - 2s \frac{H^{**}}{L} - \alpha P^* - \beta I^{**} \right) + \left(r - 2r \frac{P^{**}}{K} + \alpha \alpha_1 H^{**} - q_0 \right) + (\gamma \beta H^{**} - \theta_0) \right]$$

$$b_2 = - \left[- \left[\left(s - 2s \frac{H^{**}}{L} - \alpha P^* - \beta I^{**} \right) (\gamma \beta H^{**} - \theta_0) + \left(r - 2r \frac{P^{**}}{K} - \alpha \alpha_1 H^{**} + q_0 \right) (\gamma \beta H^{**} - \theta_0) + \left(s - 2s \frac{H^{**}}{L} - \alpha P^* - \beta I^{**} \right) \left(r - 2r \frac{P^{**}}{K} + \alpha \alpha_1 H^{**} - q_0 \right) + (\beta H^{**}) (\gamma \beta I^{**}) + (\alpha H^{**}) (\alpha \alpha_1 P^{**}) \right] \right]$$

$$b_3 = - \left[\left(s - 2s \frac{H^{**}}{L} - \alpha P^* - \beta I^{**} \right) \left(r - 2r \frac{P^{**}}{K} + \alpha \alpha_1 H^{**} - q_0 \right) (\gamma \beta H^{**} - \theta_0) + \left(r - 2r \frac{P^{**}}{K} - q_0 \right) (\beta H^{**}) (\gamma \beta I^{**}) + (\alpha H^{**}) (\alpha \alpha_1 P^{**}) (\gamma \beta H^{**} - \theta_0) \right]$$

Untuk mencari nilai eigen pada titik tetap E_3 juga digunakan kriteria Routh Hurwitz. Menurut kriteria Routh Hurwitz, titik tetap E_3 akan stabil jika memenuhi syarat sebagai berikut :

$$b_1 > 0, b_3 > 0 \text{ dan } b_1 b_2 - b_3 > 0$$

Karena kondisi $b_1 > 0, b_3 > 0$ dan $b_1 b_2 - b_3 > 0$ terpenuhi, maka titik tetap E_3 bersifat stabil jika $r > q_0$ yaitu saat laju pertumbuhan populasi penduduk lebih besar dari laju kematian alami populasi penduduk dan $\gamma \beta L < \theta_0$, yaitu pada saat rata-rata pengendalian industrialisasi oleh pemerintah lebih besar dari hasil kali dari tingkat pertumbuhan industri dengan tingkat kerusakan sumber daya hutan oleh industrialisasi dan daya dukung daya dukung lingkungan sumber daya hutan.

C. Interpretasi Model

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis titik tetap diatas dapat diinterpretasikan bahwa pada titik tetap $E_1 = (L, 0, 0)$ selalu ada dan stabil jika $r + \alpha \alpha_1 L < q_0$ dan $\gamma \beta L < \theta_0$ yaitu jika jumlah laju pertumbuhan penduduk dan penambahan kepadatannya karena adanya sumber daya hutan lebih kecil dari laju kematiannya maka suatu saat populasi penduduk akan habis. Begitu juga dengan industrialisasi, jika hasil kali laju pertumbuhan industrialisasi dengan kapasitas sumber daya hutan lebih kecil dari izin penebangan dari pemerintah maka suatu saat kegiatan industrialisasi akan terhenti. Pada titik tetap $E_2 = (H^*, P^*, 0)$ ada dan stabil saat $s > \alpha K$ yaitu pada saat laju pertumbuhan sumber daya hutan lebih besar dari hasil kali laju kerusakan hutan oleh populasi penduduk dengan daya dukung lingkungan yang

mendukung populasi penduduk. Sedangkan, $E_3 = (H^{**}, P^{**}, I^{**})$ ada dan stabil saat $r > q_0$ yaitu tingkat pertumbuhan populasi penduduk lebih besar dari tingkat kematiannya. Kemudian titik E_3 juga stabil saat $\gamma \beta L < \theta_0$ yaitu pada saat tingkat pengendalian industrialisasi oleh pemerintah lebih besar dari hasil kali dari tingkat pertumbuhan industri dengan tingkat kerusakan sumber daya hutan oleh industrialisasi dan kapasitas maksimum dari sumber daya hutan.

Berdasarkan kondisi ini dapat diketahui bahwa ketika meningkatnya kepadatan populasi penduduk, meningkat pula pemanfaatan terhadap sumber daya hutan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Apabila laju kepadatan penduduk yang menggunakan sumber daya hutan lebih besar dari tingkat pertumbuhan sumber daya hutan, hal ini akan mengakibatkan ketimpangan kebutuhan. Agar tingkat pertumbuhan sumber daya hutan lebih besar dari laju penebangan yang dilakukan oleh populasi penduduk, maka setiap orang yang melakukan penebangan hutan harus melakukan penanaman kembali agar sumber daya hutan selalu ada dan tidak punah.

Selanjutnya perkembangan industrialisasi terutama yang memanfaatkan kayu sebagai bahan bakunya juga menurunkan kepadatan sumber daya hutan. Jika laju pertumbuhan industri lebih besar dari pengendalian dari pemerintah berupa izin penebangan, akan mengakibatkan kondisi tidak stabil. Hal ini dikarenakan jika tingkat perkembangan industri lebih besar sementara pengendalian dari pemerintah masih kurang akan menyebabkan sumber daya hutan akan semakin menurun dan akan menyebabkan keadaan lingkungan menjadi tidak seimbang dan mengakibatkan kerusakan pada sumber daya hutan.

Agar kerusakan sumber daya hutan dapat berkurang, maka tingkat pengendalian penebangan hutan harus lebih besar dari tingkat perkembangan industrialisasi dengan tanpa menghilangkan industri yang berkembang. Hal ini dikarenakan keberadaan industri dapat membantu meningkatkan perekonomian Nasional. Industri bisa tetap melakukan penebangan hutan untuk bahan bakunya sesuai izin yang ditetapkan pemerintah, dengan memperhatikan kelestarian sumber daya hutan yaitu dengan melakukan usaha penanaman kembali agar sumber daya hutan tetap lestari dan tidak punah.

SIMPULAN

Model matematika kerusakan sumber daya hutan di Indonesia berbentuk persamaan diferensial nonlinear yaitu system persamaan (1). Dari model diperoleh dua jenis titik tetapnya itu E_1 yang merupakan titik tetap bebas gangguan, kemudian E_2 dan E_3 yang merupakan titik

tetap ada gangguan. Dari analisis model diperoleh bahwa agar kerusakan hutan dapat berkurang, sesuai dengan syarat kestabilan titik tetap model, yaitu saat laju pertumbuhan sumber daya hutan lebih besar dari laju penebangan yang dilakukan oleh populasi penduduk, maka setiap orang yang melakukan penebangan hutan harus melakukan penanaman kembali agar sumber daya hutan selalu ada dan tidak punah. Selanjutnya laju pengendalian penebangan hutan harus lebih besar dari laju pertumbuhan. Hal ini agar penebangan hutan yang berlebihan yang menyebabkan kerusakan hutan tidak terjadi. Kegiatan industrialisasi juga harus memperhatikan kelestarian sumber daya hutan yaitu dengan melakukan

usaha penanaman kembali agar sumber daya hutan tetap lestari dan tidak punah.

REFERENSI

- [1] Aisyah, Siti dkk. 2012. *Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Sumatera Barat*. Padang : Bapedalda Provinsi Sumatera Barat.
- [2] Indrarto, B.G. 2011. *Potret Pelaksanaan Tata Kelola Hutan*. Jakarta: Kementrian Kehutanan Indonesia.
- [3] Manurung, EG Togu *et al.* 2007. *Road Map Revitalisasi Industri Kehutanan Indonesia*. Departemen Kehutanan RI. Jakarta.
- [4] Pattinasarany, Willem. 2010. *Perkiraan Penggunaan Sumber Bahan Baku Industri Pulp & Paper*. Indonesian Working Group On Forest Finance.
- [5] Suci, Nur. 2014. *Model Matematika Kerusakan Sumber Daya Hutan di Indonesia*. UNP. Padang.