

**ANALISIS KEBIJAKAN PENURUNAN LUAS HUTAN DI DAERAH ALIRAN
SUNGAI SENTANI BERWAWASAN LINGKUNGAN**
*(Environmental based of Policy Analysis about the decrease of forest area in Sentani
Watershed)*

Auldry F. Walukow

Jurusan PMIPA Universitas Cenderawasih Jayapura Papua

Perum Dosen UNCEN Jayapura No.7 Waena

Email auldrywalukow@yahoo.co.id

Diterima: 3 Januari 2012

Disetujui: 1 Maret 2012

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan merekayasa model sistem dinamik untuk menganalisis pengaruh pertumbuhan penduduk terhadap penurunan luas hutan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Sentani. Metode yang digunakan adalah Model Sistem Dinamik dengan menggunakan *tool powersim 2.5d*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk merupakan faktor pengungkit (*leverage factor*) meningkatnya pemanfaatan lahan hutan di DAS Sentani. Hal ini dibuktikan oleh menurunnya luas hutan yang tersedia dari 68.865 ha pada tahun 2002 menjadi 59.559 ha pada tahun 2012 dan akhirnya diasumsikan habis (0 ha) pada tahun 2042.

Kata kunci: analisis kebijakan, penurunan luas hutan, model sistem dinamik

Abstract

The research was conducted To design dynamic system model for analyze influence of population growth decrease of forest area in Sentani watershed. The research method are dynamic system model with tool powersym 2.5d. The result of this experiment show that people growth as leverage factor to increase forest land utilization around Sentani watershed. This is evidenced by the decrease in forest nouseating available from 68 865 ha in 2002 to 59 559 ha in 2012 and finally is assumed finished (0 ha) in 2042.

Keywords: policy analysis, decrease forest area, dynamics system model

PENDAHULUAN

DAS Sentani di dalamnya terdapat Danau Sentani yang merupakan Danau yang terletak di antara Kabupaten Jayapura dan Kota Jayapura Provinsi Papua. Danau ini memiliki luas 9630 ha dengan ketinggian 75 meter di atas permukaan laut. Danau tersebut merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat potensial jika dikelola dengan baik, di antaranya sumber air bersih, perikanan, transportasi, irigasi, dan ekowisata. Potensi ini akan sangat menarik investor untuk menanamkan modal yang pada gilirannya akan dapat menaikkan ekonomi masyarakat.

Namun danau yang diharapkan memberi nilai tambah ekonomi, sosial dan ekologi ini telah terancam keberlanjutannya oleh karena degradasi lingkungan. Permasalahan yang

muncul di DAS Sentani dan danau adalah tingginya erosi dan tingginya pencemaran karena limbah rumah tangga, peternakan dan industri menyebabkan kualitas air Danau Sentani rendah untuk zat-zat tertentu, seperti tembaga dan Zink yang nilainya melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah melalui PP 82 Tahun 2001 (PU, 2007). Menurut BPDAS Memberamo (2005) faktor utama penyebab banjir di DAS Sentani adalah hilangnya sebagian besar vegetasi/hutan penutup lahan, akibat dari perladangan berpindah di bagian hulu DAS sehingga daya resapan air ke dalam tanah menjadi lebih kecil. Apabila tidak dilakukan upaya-upaya serius dalam penanggulangan degradasi lingkungan maka pada akhirnya akan berdampak pada kerusakan kondisi lingkungan secara keseluruhan.

Salah satu faktor penting yang mempercepat peningkatan sumber pencemar dan percepatan konversi lahan adalah pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk menyebabkan peningkatan luas lahan pemukiman dan lahan pertanian. Akhirnya menyebabkan penurunan luas hutan di DAS Sentani dan berdampak pada degradasi lingkungan. Laju konversi lahan disebabkan oleh faktor aktivitas mata pencaharian, tekanan HPH, sosial ekonomi, dan rendahnya tingkat pendidikan. Hal ini sejalan dengan simpulan Neto, dkk (2006) penambahan populasi dan perkembangan industri sejalan dengan meningkatnya pencemaran air dan degradasi lingkungan. Oleh sebab itu peran serta masyarakat dalam bentuk kesadaran akan masalah lingkungan, sangat dibutuhkan untuk mencegah degradasi lingkungan.

Degradasi lingkungan DAS Sentani harus ditanggulangi dengan pendekatan sistem yang kompleks. Oleh karena berkaitan dengan penduduk dan kebutuhannya, seperti penduduk dengan pemukiman, penduduk dengan pendidikan dan pekerjaan, penduduk dengan pertanian, dan penduduk dengan masalah lingkungan. Begitu pula sumber-sumber pencemar Danau Sentani disebabkan oleh berbagai hal dan berlanjut secara terus menerus dalam fungsi waktu. Salah satu solusi untuk menangani sistem yang kompleks ini adalah melalui pendekatan Model Dinamik.

Mengacu pada pemikiran di atas, maka penelitian tentang Analisis Kebijakan Penurunan Luas Hutan di Daerah Aliran Sungai Sentani Berwawasan Lingkungan dengan menggunakan metode model sistem dinamik ini perlu dilakukan agar dapat ditemukan model kebijakan pengelolaan DAS Sentani yang berkelanjutan (*sustainable*). Berdasarkan pemikiran ini, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan : Merekayasa model sistem dinamik untuk menganalisis pengaruh pertumbuhan penduduk terhadap penurunan luas hutan DAS Sentani. Informasi yang diperoleh akan menjadi penting dalam upaya pengelolaan konservasi lingkungan hutus dan DAS Sentani.

METODOLOGI PENELITIAN

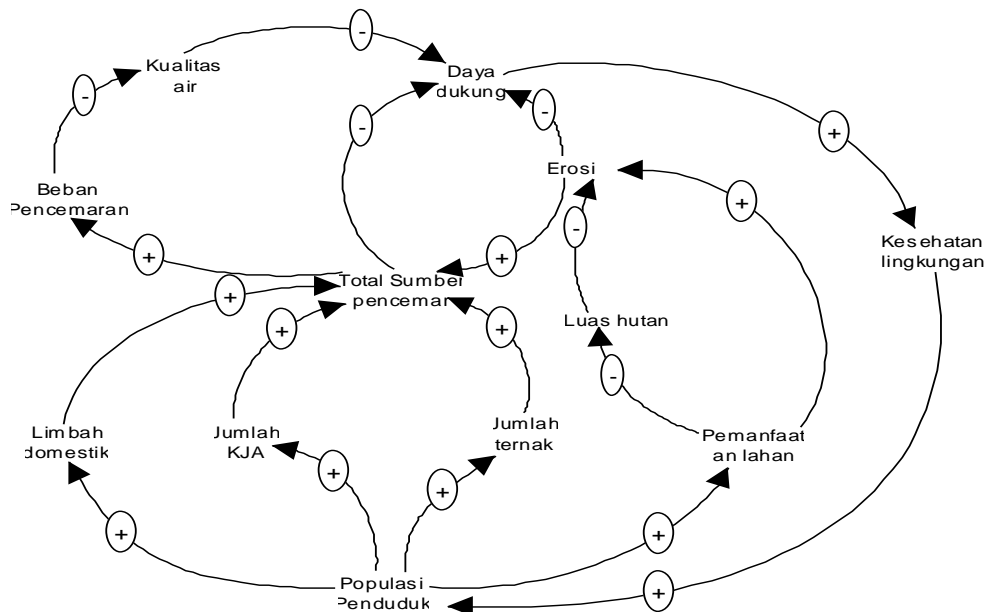
Model Dinamik Pengaruh Pertumbuhan Penduduk terhadap penurunan luas hutan. Diagram sebab akibat (*causal loop diagram*) model dinamik pengaruh pertumbuhan penduduk terhadap penurunan luas hutan di DAS Sentani.

Variabel yang berpengaruh adalah penduduk yang disebut sebagai faktor pengungkit. Meningkatnya pertumbuhan penduduk maka akan meningkatkan faktor sosial ekonomi seperti kemiskinan, kesejahteraan, pendidikan, dan perilaku masyarakat. Meningkatnya angka kemiskinan mendorong masyarakat meningkatkan penebangan hutan secara liar, selain itu rendahnya pendidikan dan perilaku masyarakat akan meningkatkan perambahan hutan secara liar. Meningkatkan perambahan hutan akan meningkatkan erosi yang pada akhirnya meningkatkan pendangkalan danau. Meningkatnya pertumbuhan penduduk akan meningkatkan penggunaan lahan baik lahan pertanian dan pemukiman serta meningkatkan penebangan hutan. Meningkatkan pemanfaatan lahan hutan akan menurunkan luas hutan. Peningkatan pertumbuhan penduduk berdampak pada peningkatan jumlah usaha di sekitar danau (karamba jaring apung, peternakan, hotel, restoran) akan meningkatkan pendapatan, sebaliknya meningkatnya usaha akan memperkecil daya dukung lingkungan DAS Sentani, seperti digambarkan secara lengkap pada diagram sebab akibat (*causal loop diagram*) (Gambar 1).

Uji Validasi dan Sensitivitas Model

Variabel yang diuji dalam pemodelan ini adalah jumlah penduduk secara time series, karena jumlah penduduk sebagai faktor pengungkit (*leverage factor*).

Tahap – tahap uji validasi yang dilakukan adalah:



Gambar 1. Diagram sebab akibat

Uji Validasi kinerja

Statistik AME (*Absolute Mean Error*) dan AVE (*Absolute Variation Error*). Nilai batas penyimpangan yang dapat diterima adalah 5 – 10%.

Uji Kalman Filter (KF), dengan tingkat *fitting* (kecocokan) yang dapat diterima 47,5-52,5% Barlas (1996 dalam Kholil, 2005).

Uji Durbin Watson (DW), yaitu tajam sekali $DW > 2$ dan kurang tajam $DW < 2$

Uji Sensitivitas

Intervensi fungsional, yakni dengan memberikan fungsi – fungsi khusus terhadap model Davidesen (1994 dalam Kholil, 2005).

Intervensi struktural, yakni dengan mempengaruhi hubungan antar unsur atau struktur model, dengan cara mengubah struktur modelnya.

Analisis Kebijakan ada dua tahap analisis kebijakan yaitu:

Pengembangan kebijakan alternatif

Analisis kebijakan alternatif (Muhamadi, dkk. 2001).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Erosi

Pola penutupan vegetasi dan penggunaan lahan di wilayah DAS Sentani meliputi

hutan, rawa, lahan kritis, semak belukar, kebun campuran, pemukiman dan danau. Metode perhitungan erosi USLE menggunakan persamaan:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

dimana A = Erosi tanah tahunan (ton/ha/thn), R= faktor Erosivitas, K= faktor Erodibilitas tanah, Ls = Faktor panjang dan kemiringan lereng, P= faktor Tindakan konservasi, dan C= Faktor pengelolaan tanaman.

Berdasarkan persamaan USLE diperoleh erosi lahan pemukiman sebesar 99.795 ton/tahun (8,51 ton/ha/thn kelas erosi I) dan erosi lahan pertanian sebesar 1.399.444 ton/tahun (18,11 ton/ha/thn kelas erosi II) pada tahun 2007. Erosi di DAS Sentani cenderung meningkat setiap tahun hal ini disebabkan oleh penebangan hutan ilegal, perkebunan, perladangan (berpindah), sistem usaha tani yang masih sederhana, pengolahan lahan yang tidak memperhatikan teknik konservasi yang tepat, dan berbagai kegiatan pembangunan lainnya (BPDAS Memberamo, 2005). Eksploitasi hutan dan pembukaan lahan untuk perkebunan (pertanian) merupakan penyumbang terbesar erosi di DAS Sentani.

Model Dinamik

Model dinamik yang dirancang meliputi: (a) sub model dinamik luas hutan, (b) sub model dinamik sumber pencemar, dan (c) sub model dinamik penduduk sekitar Danau Sentani. Simulasi dilakukan selama periode waktu 30 tahun dimulai 2002 - 2032, skenario modelnya adalah: Kebijakan penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk dan dampaknya pada peningkatan luas hutan.

Pemodelan diartikan sebagai suatu gugus pembuatan model yang akan menggambarkan sistem yang dikaji (Eriyatno,1999). Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) program Powersim versi 2.5 d.

Model Dinamik Luas Hutan

Peningkatan luas pemukiman dan pertanian pada akhirnya menurunkan luas hutan di DAS Sentani. Model dinamik luas hutan dibangun berdasarkan persamaan matematik sebagai berikut:

$$LH = LDAS - (LD + LPm + LPt)$$

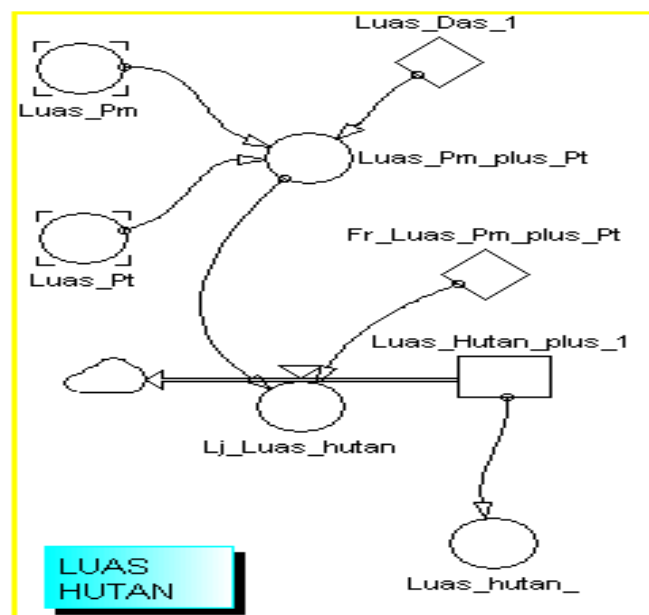
Persamaan ini dapat digambarkan dalam diagram *flow-Level* model dinamik sederhana pada (Gambar 2).

Keterangan:

- LH = Luas hutan,
- LDAS = Luas DAS Sentani,
- LD = Luas Danau,
- LPm = Luas Permukiman,
- LPt = Luas Pertanian

Validitas kinerja (output model)

Validasi kinerja model merupakan pengujian sejauh mana kinerja model yang dibangun (*output model*) sesuai dengan kinerja sistem nyata, sehingga memenuhi syarat sebagai model ilmiah yang taat fakta atau diterima secara akademik. Validasi kinerja terhadap sub model luas hutan untuk variabel jumlah penduduk dengan menggunakan rumus AME, AVE, KF dan DW diperoleh nilai masing – masing 0,0101 (1,01%), 0,082 (8,2%), 0,457 (45,7%), dan 0,000329, dengan demikian nilai – nilai AME dan AVE tersebut berada pada batas (5-10%) dan 47,5-52,5% untuk KF serta DW<2 menunjukkan pola fluktuasi kurang tajam, dengan demikian nilai – nilai AME dan AVE tersebut berada pada batas (5-10%) dan 47,5-52,5% untuk KF serta DW<2 menunjukkan pola fluktuasi kurang tajam.



Gambar 2.Diagram *flow - level* model dinamik Luas hutan

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui perilaku sistem model, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pengambil kebijakan untuk melakukan langkah – langkah strategis berkaitan dengan pengelolaan hutan dan DAS Sentani. Berdasarkan hasil simulasi (Gambar 5,6,7), meningkatnya jumlah penduduk diikuti oleh peningkatan luas penggunaan lahan, erosi dan jumlah limbah. Hasil simulasi terhadap sub model dinamik sumber pencemar memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah penduduk diikuti oleh peningkatan total beban sumber sampah dan erosi secara eksponensial (Tabel 1). Penelitian ini memperkuat simpulan Mustafa *et al.* (2008) dan Dahuri (2003) bahwa faktor sumber pencemar perairan adalah limbah domestik (perkotaan) (*domestic-urban wastes*), limbah cair perkotaan (*urban waste water*), limbah cair permukiman (*sewage*), pertambangan, limbah industri (*industrial wastes*), limbah pertanian (*agriculture wastes*), limbah perikanan budidaya dan air limbah pelayaran (*shipping waste water*).

Dalam periode 30 tahun mendatang (2002 - 2032) bila tidak ada intervensi kebijakan misalnya dengan pembatasan pertumbuhan penduduk, maka hasil simulasi menunjukkan terjadi pertumbuhan yang pesat selama periode tersebut. Apabila tidak ada upaya penurunan jumlah penduduk, maka pertumbuhan penduduk yang terus meningkat tersebut akan menyebabkan kondisi "overshoot" yang merugikan bagi kehidupan manusia. Peningkatan jumlah penduduk akhirnya menemui masalah dalam pe-

nanganan limbah dan erosi, hal ini memberikan petunjuk bahwa permasalahan limbah dan erosi memiliki bentuk struktur *Archetype Tragedy of the Commons*. Artinya ada banyak pelaku yang berlomba tapi akhirnya menemui masalah. Fraksi pertumbuhan jumlah penduduk (*Fr_jml_pddk_tot*) selama ini adalah 3,27%. Penurunan fraksi pertumbuhan jumlah penduduk dari 3,27% menjadi 2% meskipun memberikan pengaruh penurunan yang nyata terhadap *Level (Stock)* dan laju (*rate*), namun tidak mengubah perilaku pola pertumbuhan penduduk (Gambar 3). Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan penurunan fraksi pertumbuhan jumlah penduduk ternyata dapat menurunkan jumlah penduduk dari 114.752 jiwa menjadi 79.276 jiwa pada tahun 2032.

Metode penelitian menggunakan metode pemodelan sistem lingkungan (Eriyatno, 1999). Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) program *Powersim* versi 2.5 d. Analisis kecenderungan sistem ditujukan untuk mengeksplorasi perilaku sistem dalam jangka panjang ke depan, melalui simulasi model. Perilaku simulasi ditetapkan selama 30 tahun, yakni dimulai tahun 2002 sampai dengan 2032. Dalam kurun waktu simulasi tersebut, diungkapkan perkembangan yang mungkin terjadi pada peubah-peubah yang dikaji. Peubah-peubah model yang akan disimulasikan adalah jumlah limbah KJA, limbah tinja sapi, limbah tinja babi, erosi pertanian, erosi permukiman, limbah tinja pemukiman danau dan sampah. Hasil simulasi

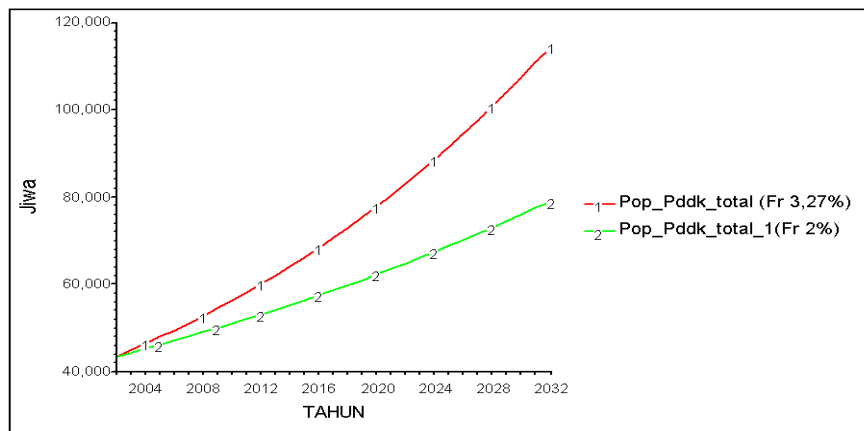
Tabel 1. Peningkatan jumlah penduduk diikuti oleh peningkatan total beban sumber sampah dan erosi secara eksponensial

Time	Pop_Pddk_EX	ErosiPm	Erosi Pt	Jml_Sampah EX
01 Jan 2002	43.766,00	8,51	18,11	39.936,48
01 Jan 2012	56.785,12	174,76	2.300,53	51.816,43
01 Jan 2022	70.552,07	2.397,24	160.266,66	64.378,77
01 Jan 2032	76.997,78	8.868,55	1.432.458,76	70.260,48
01 Jan 2042	79.759,76	18.869,09	5.243.043,25	72.780,79

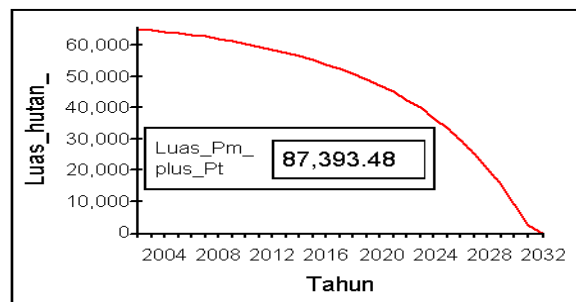
Keterangan: Populasi penduduk (Pop_Pddk_Ex dalam jiwa); Erosi pertanian (Erosi Pt dalam ton/ha/thn); Erosi permukiman (Erosi Pm dalam ton/ha/thn) dan Jumlah sampah (ton/thn)

model menunjukkan bahwa jumlah penduduk di sekitar perairan danau terus meningkat dari 43.766 jiwa pada awal simulasi dan menjadi 114.752 jiwa pada akhir tahun simulasi. Pola peningkatan jumlah penduduk diikuti pula oleh jumlah limbah yang dihasilkan. Pada awal simulasi jumlah limbah sampah 39.936,48 ton/tahun meningkat menjadi 104.711,41 ton/tahun. Jumlah limbah KJA pada awal simulasi 72,85 ton/tahun meningkat menjadi 1.682,54 ton/tahun pada akhir simulasi. Jumlah limbah ternak sapi pada awal simulasi 9.449,08 ton/tahun meningkat menjadi 1.151.850,32 ton/tahun. Jumlah limbah tinja penduduk pada awal simulasi 432,29 ton/tahun meningkat menjadi 3.484,95 ton/tahun. Erosi permukiman meningkat dari 9.506,26 ton/tahun menjadi 25419,89 ton/tahun. Erosi pertanian meningkat dari 63462,01 ton/tahun menjadi 12.724.070.271 ton/tahun. Limbah babi meningkat dari 4150,28 ton/tahun menjadi 297.930,25 ton/tahun.

Total luas permukiman dan luas pertanian meningkat dari 4.622,21 ha menjadi 87.393,48 ha pada tahun 2032. Luas hutan pada awal simulasi adalah 65.865 ha. Selisih antara total luas permukiman dan pertanian (87.393,48 ha) dengan luas hutan akhir simulasi adalah 21528,48 ha, pada kondisi ini menunjukkan bahwa penduduk telah menggunakan lahan di luar DAS Sentani untuk permukiman dan pertanian atau sebagian telah menempati Danau Sentani sebagai tempat pemukiman sekaligus menjadi nelayan atau pembudidaya KJA (Gambar 4). Kondisi ini semakin memperburuk kualitas air Danau Sentani, karena meningkatnya limbah KJA, dan limbah feses manusia. Dalam pemanfaatan danau Sentani, serta pemanfaatan lahan untuk pemukiman dan pertanian akhirnya menemui masalah limbah dan menipisnya keterbatasan ketersediaan lahan, hal ini memberikan petunjuk bahwa pemanfaatan lahan memiliki bentuk struktur *Archetype Limit to Success* dan *Tragedy of the Commons* (Kim,1998).



Gambar 3. Pertumbuhan jumlah penduduk berdasarkan perbedaan fraksi penduduk



Gambar 4. Perkembangan luas hutan di DAS Sentani

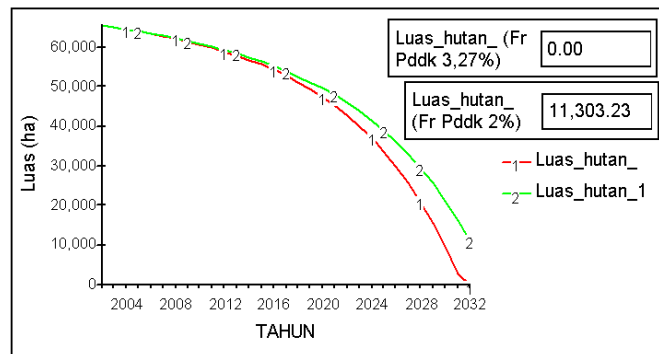
Analisis Kebijakan

Analisis kebijakan adalah pengetahuan tentang cara-cara yang strategis dalam mempengaruhi sistem untuk mencapai tujuan yang diinginkan (Muhamadi, 2001). Analisis kebijakan ini dilakukan dengan melakukan intervensi fungsional dan intervensi struktural. Pertama-tama dilakukan intervensi fungsional terhadap parameter penduduk yaitu dengan kebijakan menurunkan fraksi pertambahan jumlah penduduk dari 3,27 % menjadi 2 %. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penurunan fraksi pertumbuhan jumlah penduduk dapat menurunkan jumlah sampah dari 104.711,41 ton menjadi 72.339,40 ton pada tahun 2032. Penelitian ini memperkuat simpulan Kholil (2005), bahwa upaya penurunan produksi sampah akan dapat berhasil secara efektif bila kebijakan yang ditempuh adalah dengan mengurangi pertumbuhan penduduk. Secara teknis penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk dapat ditempuh melalui beberapa kebijakan misalnya pembatasan usia nikah, dan sosialisasi program KB secara besar-besaran. Pertambahan penduduk merupakan faktor pengungkit (*leverage factor*) hal ini memperkuat simpulan Neto (2006) pertambahan populasi dan perkembangan industri sejalan dengan meningkatnya pencemaran air dan degradasi lingkungan. Pandangan pesimis digagas oleh Thomas Malthus dengan teorinya yang terkenal, yaitu bahwa jumlah penduduk dunia akan meningkat menurut deret ukur (1,2,4,8,16,.....dan seterusnya), sedangkan persediaan makanan hanya meningkat menurut deret hitung (1,2,3,4,..... dan seterusnya) (Elizabeth, 2008 dan

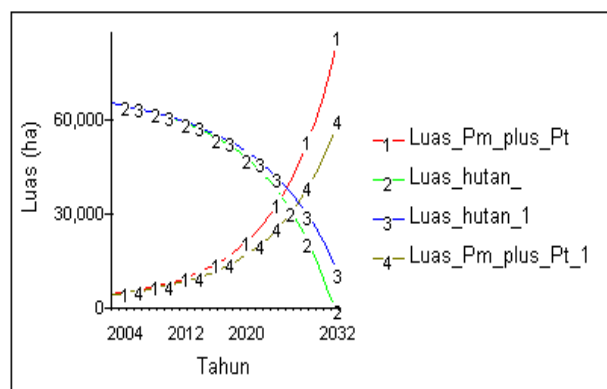
Soerjani, dkk. 2008). Hal ini menunjukkan bahwa pertambahan jumlah penduduk meningkat secara cepat dibanding kebutuhan pangan. Oleh sebab itu perlu dilakukan intervensi fungsional.

Kebijakan penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk berdampak pada perlambatan habisnya ketersediaan lahan hutan, sehingga pada tahun 2032 lahan hutan masih tersisa 11.303,23 ha. Apabila tanpa intervensi fungsional maka luas hutan akan habis (0 ha) pada akhir simulasi tersebut (Gambar 5). Jika luas hutan dan permukiman dijumlahkan, maka kebijakan penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk berdampak pada penurunan total luas pemukiman dan pertanian. Pada akhir simulasi total luas pemukiman dan pertanian berkurang dari 87.393,48 ha menjadi 60.375,38 ha (Gambar 5 dan 6).

Dampak dari kebijakan penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk adalah terjadi penurunan luas lahan terpakai, baik lahan permukiman maupun lahan pertanian dan akhirnya berpengaruh pada penurunan erosi permukiman serta erosi pertanian. Pada akhir simulasi luas pemukiman berkurang dari 73.171,75 ha menjadi 50.550,37 ha dan luas lahan pertanian yang terpakai berkurang dari 14.221,73 ha menjadi 9.825,01 ha. Pada akhir simulasi (tahun 2032) erosi permukiman berkurang dari 8.868,55 ton/ha/tahun (kelas erosi V) menjadi 5.454,76 ton/ha/tahun (kelas erosi V) dan erosi pertanian berkurang dari 1.432.458,76 ton/ha/tahun (kelas erosi V) menjadi 881.058,89 ton/ha/tahun (kelas erosi V).



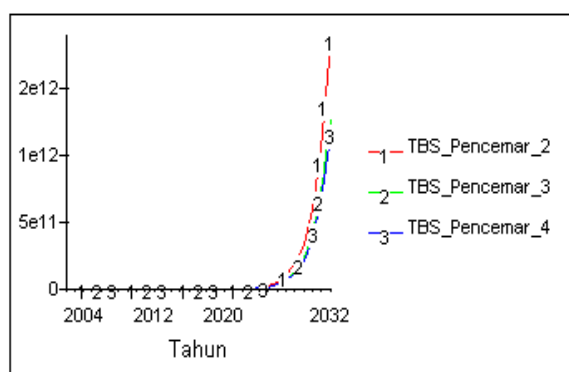
Gambar 5. Penurunan luas hutan berdasarkan intervensi fraksi pertambahan penduduk



Gambar 6. Penurunan total luas hutan dan pemukiman berdasarkan intervensi fraksi pertambahan penduduk

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kebijakan penurunan fraksi pertambahan jumlah penduduk ternyata berdampak pada penurunan jumlah limbah yaitu limbah KJA, limbah ternak babi, limbah ternak sapi, limbah feses manusia, jumlah sampah, serta berpengaruh pada penurunan erosi permukiman serta erosi pertanian. Demikian pula, jumlah limbah KJA berkurang dari 592,77 ton/tahun menjadi 487,08 ton/tahun, limbah babi berkurang dari 297.930,25 ton/tahun menjadi 205.823,75 ton/tahun, limbah ternak sapi berkurang dari 1.151.850 ton/tahun menjadi 795.750,52 ton/tahun, limbah tinja penduduk berkurang dari

4.903,21 ton/tahun menjadi 3.429,67 ton/tahun, jumlah sampah berkurang dari 104.711,41 ton/tahun menjadi 72.3 39,40 ton/tahun, serta 8.868,55 ton/ha/tahun (kelas erosi V) menjadi 5.454,76 ton/ha/tahun (kelas erosi V) dan erosi pertanian berkurang dari 1.432.458,76 ton/ha/tahun (kelas erosi V) menjadi 881.058,89 ton/ha/tahun (kelas erosi V). Total sumber pencemar adalah penjumlahan dari jumlah masing – masing limbah dan erosi. Pada akhir simulasi total sumber pencemar berkurang dari $1,8677 \times 10^{12}$ ton/tahun menjadi $1,29029 \times 10^{12}$ ton/tahun (Gambar 7).

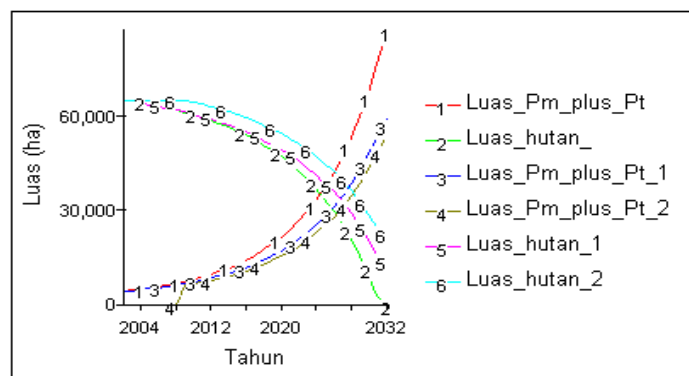


Gambar 7. Penurunan total sumber pencemar berdasarkan intervensi fraksi pertambahan penduduk

Secara bersama-sama perlu juga dilakukan kebijakan intervensi dalam bentuk intervensi struktural terhadap jumlah KJA, luas permukiman, luas pertanian, jumlah sapi, dan jumlah babi. Untuk mengurangi pertambahan jumlah sampah maka perlu diadakan sosialisasi guna meningkatkan partisipasi masyarakat. Sedangkan untuk menekan pertambahan pemukiman maka perlu penegakan regulasi berkaitan dengan pemukiman di sempadan dan di dalam danau. Intervensi struktural dilakukan dengan menggunakan fungsi STEP. Fungsi STEP yaitu fungsi yang digunakan untuk menurunkan jumlah KJA, luas permukiman, luas pertanian, jumlah sapi, dan jumlah babi masing – masing sebesar 10 %. Hasil simulasi model setelah dilakukan intervensi struktural menunjukkan total sumber pencemar berkurang dari $1,29029 \times 10^{12}$ ton menjadi $1,16126 \times 10^{12}$ ton pada akhir simulasi. Upaya pemecahan masalah tanpa diduga memiliki dampak buruk terhadap sektor lain, seperti intervensi menurunkan jumlah KJA, luas pertanian, jumlah sapi dan jumlah babi dapat berdampak buruk terhadap kehidupan atau ekonomi penduduk, hal ini memberikan petunjuk bahwa upaya pemecahan masalah melalui intervensi STEP tersebut mengikuti bentuk struktur *Archetype Shifting the Burden* (Kim *et al.*, 1998). Perbandingan hasil simulasi model antara tanpa intervensi, intervensi fungsional

(menurunkan fraksi pertambahan penduduk 2%), dan intervensi struktural (menurunkan sumber pencemar 10%) masing-masing adalah : $1,8677 \times 10^{12}$ ton, $1,29029 \times 10^{12}$ ton dan $1,16126 \times 10^{12}$ ton (Gambar 8). Ternyata intervensi struktural tidak berpengaruh nyata dalam menurunkan total sumber pencemar, hal ini berarti juga tidak berpengaruh nyata terhadap beban pencemaran dan kapasitas asimilasi.

Hasil simulasi model setelah dilakukan intervensi struktural melalui fungsi STEP dengan cara menurunkan luas permukiman dan luas pertanian sebesar 10 % yang dimulai pada tahun 2009, ternyata tidak berpengaruh nyata terhadap waktu habisnya luas hutan (0 ha). Jika tanpa intervensi ternyata luas hutan habis terpakai pada tahun 2032, dengan intervensi fungsional menurunkan fraksi pertumbuhan penduduk 10 % maka luas hutan habis terpakai pada tahun 2034, dan dengan intervensi struktural menurunkan luas permukiman dan pertanian 10 % ternyata luas hutan habis pada tahun 2036. Jika dibandingkan hasil simulasi antara tanpa intervensi, intervensi fungsional dan intervensi struktural maka sisa luas hutan pada tahun 2032 berturut-turut sisanya adalah 0 ha, 11.303,23 ha dan 20.277,11 ha. Seiring dengan penurunan total luas permukiman dan pertanian maka mengakibatkan menurunnya luas hutan (Gambar 8).



Gambar 8. Hubungan Penurunan total luas permukiman dan pertanian terhadap luas hutan berdasarkan intervensi dan tanpa intervensi

Teknis kebijakan dalam upaya memperlambat peningkatan luas permukiman ditempuh melalui pelarangan izin mendirikan bangunan (IMB) di kawasan yang tidak sesuai RTRW, IMB BTN susun, rumah panggung, pemberian penghargaan bagi developer yang mengikuti persyaratan ekologis (pasal 7 UU No. 4 Tahun 1992), penegakan hukum melalui Kepres No. 32 Tahun 1990 pasal 16 – 18 tentang pelarangan pembangunan permukiman di daerah sempadan. Upaya memperlambat peningkatan laju luas pertanian dapat ditempuh melalui teknis kebijakan intensifikasi pertanian, agroforestry (wanatani), teknik konservasi pertanian, dan pelarangan pembakaran hutan / lahan pertanian. Upaya penurunan erosi karena penggunaan lahan dapat ditempuh dengan pembatasan penambangan galian C, teknik konservasi (penanaman searah kontur, teras, reboisasi) dan pelarangan perambahan hutan. Secara teknis penurunan jumlah ternak sapi dan babi sulit diterapkan karena menyangkut sumber pendapatan ekonomi penduduk. Teknis kebijakan yang dapat dilakukan adalah pelatihan pemanfaatan limbah ternak misalnya kompos dan sumber energi biogas dengan pendekatan *Reduce, Reuse, Recycle, Recovery* dan *Participation (4R + P)*. Hal ini merupakan bagian dari pemberdayaan masyarakat dalam hal penanganan sampah Kabupaten Jayapura.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Pendekatan model dinamik untuk pengelolaan dan perencanaan wilayah permukiman dan pertanian di DAS Sentani dapat membantu untuk mengetahui perkembangan batas waktu habisnya luas hutan. Sehingga kebijakan strategis berkaitan dengan degradasi DAS Sentani dapat diantisipasi secara lebih dini.

Pertumbuhan penduduk merupakan faktor pengungkit (*leverage factor*) terhadap peningkatan penggunaan lahan hutan, erosi lahan permukiman dan erosi lahan pertanian.

Upaya penyelamatan luas hutan adalah melalui intervensi fungsional dengan cara penurunan fraksi pertumbuhan penduduk. Namun secara bersama-sama perlu juga dilakukan intervensi struktural terhadap luas lahan permukiman, dan luas lahan pertanian.

Model dinamik luas hutan merupakan bentuk *Archetype* yang kompleks, yang terdiri dari *Limit to Success*, *Shifting the Burden* dan *Tragedy of the Commons*.

Pananganan permukiman seperti perlunya IMB sesuai RTRW dan Penegakan hukum melalui Kepres No. 32 Tahun 1990 pasal 16–18 tentang pelarangan pembangunan permukiman di daerah sempadan. Kebijakan ini diinginkan dalam rangka pelestarian DAS Sentani.

Saran – Saran

Penegakan regulasi merupakan hal yang penting dalam pengelolaan DAS Sentani dan Danau

Pemerintah Kabupaten perlu meningkatkan program pengendalian perambahan hutan dan penanganan sampah.

Model dinamik bermanfaat (1) untuk meramalkan kemungkinan yang akan terjadi (*future event*) dalam sistem kompleks berdasarkan kondisi yang terjadi di waktu lampau (*past event*); (2) untuk melakukan analisis kebijakan yang diinginkan dan layak, dimana kebijakannya bersifat proaktif, antisipatif, dan adaptif dan (3) model dinamik juga bermanfaat memecahkan sistem yang kompleks, terpadu dan holistik untuk mencapai tujuan.

DAFTAR PUSTAKA

- BP DAS Memberamo. 2005. Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi dan Konservasi Tanah DAS Sentani. BP DAS. Jayapura.
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Eriyatno. 1999. Ilmu Sistem Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen. IPB Press. Bogor.
- Elizabeth, R. 2008. PERPU Anti penebangan Liar: Mampukah sebagai Solusi Kerusakan Hutan Dalam Mendukung Konservasi Hutan dan Mitigasi Bahaya Global Warming. Prosiding Seminar dan Kongres Nasional MKTI VI. MKTI VI. Jakarta 1: 607 – 618.
- Kholil. 2005. Rekayasa Model Sistem Dinamik Pengelolaan Sampah Terpadu Berbasis Nirlimbah (*Zero Waste*) Studi Kasus Di Jakarta Selatan.
- Kim, D. H. dan V. Anderson. 1998. System Archetype Basics, From Story to Structure. USA: Pegasus Communication, Inc.
- Muhamadi, A. E., dan Soesilo B. 2001. Analisis Sistem Dinamis. UMJ Press. Jakarta.
- Mustafa G., M.A. Kashmiri, A. Shahzad, M. W. Mumtaz, and M. Arshad. 2008. Estimation of Pollution Load at Critical Points in Stream Water Using Various Analytical Methods. J. Applied Environmental Sciences 3:97–105.
- Neto A., C., L. F. L. Legey, M. C. G. Araya and S. Jablonski. 2006. A System Dynamics Model for the Environmental Management of the Sepetiba Bay Watershed, Brazil. J. Environmental Management 38:879 – 888.
- PU. 2007. Master Plan dan Detail Desain Operasi dan Pemeliharaan Danau Sentani. PU. Jayapura.
- Sitanala, A. 2000. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.
- Soerjani, M., R. Ahmad dan R. Munir. 2008. Lingkungan : Sumberdaya Alam dan Kependudukan Dalam Pembangunan. Universitas Indonesia. Jakarta.