

## MODEL KONSERVASI SUMBERDAYA AIR DANAU TOBA

### *Model for Water Conservation of Lake Toba*

Hotland Sihotang<sup>a</sup>, M. Yanuar J. Purwanto<sup>b</sup>, Widiatmaka<sup>c</sup>, Sambas Basuni<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 —hotl4ands@yahoo.com*

<sup>b</sup>*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680*

<sup>c</sup>*Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680*

<sup>d</sup>*Departemen Konservasi Sumberdaya Hayati dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680*

**Abstract.** *This study aims to design and build water resource conservation model with emphasis on technical, socio-economical, and ecological aspects involving extensive changes in land use, population growth, continuity of operation of the hydropower of Asahan and some other aspects of the catchment. Illustration of the water balance was made under the influence of land use and other economic activities. Modelling of water balance was constructed by the method of dynamic modeling systems using Powersim software. The water availability was analyzed using FJ. Mock method with variables derived from the analysis of the ecological condition of the catchment area of Lake Toba. The simulations of water balance and water level was performed for the condition without intervention variables and with intervention variables. The intervention variables was performed in pessimistic, moderat and optimistic scenario to provide an overview of conservation policy. The simulation of the water balance and lake water level indicate that either in the year of 2017-2057, the best scenario is between moderate and optimistic scenarios in the condition of the population growth between 0.8% - 1.0% per year, infiltration coefficient values between 0.40 to 0.45, the value of land cover factor between 0.25 to 0.3, while the flow of water released into the Asahan River of 91.69 m<sup>3</sup>/sec in average.*

Keywords: *FJ. Mock, water balance, land cover factor value, Lake Toba*

(Diterima: 21-12-2011; Disetujui: 01-02-2012)

### 1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang mutlak diperlukan bagi hidup dan kehidupan manusia sehingga sangat penting dikelola dengan baik. Pendayagunaan sumber daya air semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, sementara ketersediaan air secara kumulatif tetap dalam suatu daerah tangkapan air, bahkan diperkirakan semakin berkurang jika terjadi degradasi lingkungan. Tantangan dalam pengelolaan sumber daya air adalah, bagaimana melestarikan ketersediaan sumber daya air pada suatu daerah tangkapan air agar tetap dapat memenuhi kebutuhan air secara berkelanjutan. Hal tersebut perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah, termasuk pada salah satu sumber daya air di Indonesia yakni Danau Toba.

Danau Toba merupakan danau terbesar di Asia Tenggara, merupakan danau terdalam kesembilan di dunia serta merupakan danau tipe vulkanik kalderaterbesar di dunia. Danau ini berada 905 meter diatas permukaan laut dengan panjang 275 km, lebar 150 km dan luas 1130 km<sup>2</sup>. Kedalaman sebelah utara adalah 529 m sedangkan kedalaman sebelah selatan adalah 429 m. Fungsi utama Danau Toba saat ini adalah membangkitkan tenaga listrik lebih dari 1000 MW. Pembangkitan ini diantaranya menggunakan PLTA Sigura-gura dan PLTATangga dengan total kapasitas terpasang 604 MW (PLTA Asahan II, PLTA Asahan I (2 X 90 MW) dan PLTA Asahan di Simorea dan

PLTA Asahan di Traktak yang mampu membangkitkan total daya listrik hingga 400 MW. Dari hasil penelitian, masih dapat dikembangkan PLTA Asahan IV (80 MW) dan PLTA Asahan V (85 MW).

Permasalahan yang terjadi adalah potensi jumlah air tersebut diperkirakan terancam dengan adanya indikasi penurunan muka air dari tahun ke tahun. Diduga wilayah hulu Daerah Tangkapan Air Danau Toba telah mengalami degradasi kualitas lingkungan yang sangat berat berupa perubahan tataguna lahan dan konversi hutan. Kerusakan hutan di sekitar Danau Toba sudah sedemikian parah dimana luasan hutan hanya tersisa 15.8 % dari luasan catchment area Danau Toba. Diduga hal ini mengakibatkan tinggi permukaan air danau tidak stabil dan mengganggu pemanfaatan danau terutama stabilitas pasokan air ke PLTA Asahan. Berkurangnya ketersediaan air akan mengganggu kelangsungan operasional PLTA dan terganggunya ekosistem danau. Sebaliknya jika terlalu banyak ketersediaan air maka muka air danau akan naik bahkan terjadi banjir yang berakibat terhadap terganggunya ekosistem di pinggir danau.

Untuk itu perlu dilakukan upaya perlindungan, pelestarian dan pemanfaatan danau secara lestari dan serius dengan melakukan penelitian tentang sumber daya air yang berkelanjutan. Penelitian tersebut dilakukan dengan judul Model Konservasi Sumber Daya Air Danau Toba Secara Berkelanjutan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan model kebijakan

konservasi sumber daya air yang berkelanjutan untuk diterapkan oleh para pengambil kebijakan ketersediaan sumber daya air.

Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mengkaji kondisi ekologis perairan, mengkaji neraca keseimbangan air Danau Toba, merumuskan persepsi pakar tentang konservasi sumberdaya air danau dan merumuskan model konservasi sumber daya air danau yang berkelanjutan. Kajian ini dilakukan dengan mengkaji perubahan penggunaan lahan, perubahan tata ruang, kependudukan dan kondisi sumber daya fisik selama beberapa tahun pada daerah tangkapan air, menganalisa neraca air dengan menghitung ketersediaan air, pemanfaatan air dan cadangan air Danau Toba setiap tahunnya. Kajian pengaruh curah hujan, iklim, karakteristik topografi, tutupan lahan selama beberapa tahun sebelumnya dilakukan dengan memakai metode F.J.Mock.. Kajian dan data tersebut di atas dijadikan acuan dalam penyusunan model dengan menggunakan model dinamis untuk melihat saling keterkaitan antar faktor dan untuk mendapatkan skenario konservasi danau melalui Sistem Dinamis.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung masukan dan keluaran air Danau Toba dan membangun neraca air Danau Toba yang berkelanjutan.

## 2. Metodologi

Penelitian sebagian berupa kajian pustaka dengan data yang digunakan adalah data sekunder berupa peta digital Rupa Bumi Indonesia skala 1:50000, peta digital topografi skala 1:50000, data pengelolaan lahan, peta bentuk lahan, peta digital geologi 1:50000, peta digital tanah skala 1:50000, peta rencana tata ruang wilayah periode 1997-2007, kondisi iklim dan curah hujan dari tahun 1997-2007. Peta Citra Landsat tahun perekaman 2001 dan 2005.

### 2.1. Perhitungan Masukan Air

Dalam penelitian ini perhitungan masukan air meliputi seluruh jumlah air yang masuk ke danau yang terdiri dari curah hujan yang langsung masuk ke danau, curah hujan yang jatuh ke daratan daerah tangkapan air danau yang mengalir masuk ke danau melalui aliran limpasan permukaan (*direct run off*) dan aliran bawah permukaan (*base flow*), aliran sungai dari luar daerah tangkapan danau serta perkiraan aliran air dari sumber yang lain di luar yang telah disebutkan di atas.

Aliran limpasan permukaan (*direct run off*) dan aliran bawah permukaan (*base flow*) dihitung dengan metode Mock (1973) sehingga setiap bulan dapat dilihat pola sebaran aliran yang masuk ke danau.

### 2.2. Perhitungan Keluaran Air

Keluaran air dihitung meliputi kebutuhan debit air untuk menggerakkan turbin PLTA di sungai Asahan, kebutuhan air untuk keperluan rumah tangga, kebutuhan air perkotaan dan kebutuhan air industri, evapora-

si danau serta perkiraan aliran lainnya di luar yang telah disebutkan di atas.

Kebutuhan debit air untuk menggerakkan turbin PLTA di sungai Asahan didapat dari data pengukuran di stasiun pencatat debit di Bendung Siruar merupakan data sekunder yang berasal dari PT.Otorita Asahan, Jakarta.

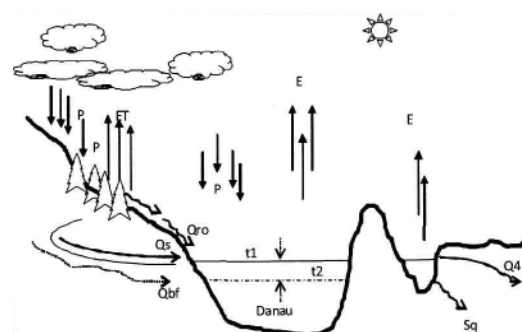
Kebutuhan air bersih rumah tangga, dinyatakan dalam satuan Liter/Orang/Hari (L/O/H), besar kebutuhan tergantung dari kategori kota berdasarkan jumlah penduduk. Berdasarkan data jumlah penduduk setiap kecamatan yang berada di DTA Danau Toba mempunyai jumlah penduduk kurang dari 20000 jiwa sehingga dikategorikan sebagai kota kecil dengan nilai Kebutuhan Air Bersih adalah berkisar antara maksimum 90 L/O/H (Cipta Karya 2006).

Kebutuhan Air Perkotaan yaitu untuk memenuhi kebutuhan air komersial dan sosial yang diasumsikan sebesar 35% dari kebutuhan air bersih rumah tangga. Kebutuhan Air Bersih Rumah Tangga dan Perkotaan adalah 121.5 L/O/H ditambah adanya kehilangan akibat dari (1) Kehilangan dalam proses sebesar 6% (2) Kehilangan air tidak terhitung yaitu sebesar 25%, sehingga total menjadi 172L/O/H.

Kebutuhan Air Industri diperhitungkan berdasarkan jumlah penduduk terhadap kebutuhan per pekerja dan rata rata pelayanan, yaitu :  $KAI = \% P \times AP \times RL$  dimana KAI = Kebutuhan Air Industri, L/O/H ; % P = Persentase asumsi penduduk ; AP = Kebutuhan air industri per tenaga kerja, pada tahap awal diperhitungkan sebesar 500 L/O/H, terjadi peningkatan sebesar 1% setiap tahun. RL = Rerata Layanan, diperhitungkan konstan sebesar 70% serta kehilangan dalam proses sebesar 6% dan kehilangan air tidak terhitung yaitu sebesar 25%. Sehingga total Kebutuhan Air Industri adalah 30 L/O/H. Aliran air yang lain adalah perkiraan aliran air yang keluar dari Danau Toba di luar yang telah disebutkan di atas.

Secara umum persamaan neraca air danau dirumuskan sebagai berikut :

$$I = O \pm \Delta S \quad \text{atau} \quad I - O = \pm \Delta S$$



Gambar 1. Ilustrasi Siklus Hidrologi di daerah sekitar danau.

Masukan Air (*Inflow Water*) adalah :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

dimana:

$I_1 = P \times A_w$  ;  $I_2 = \text{hujan netto} \times A_d = (P - ET) \times A_d$  ;  $I_3 = Q_s$  ;  $I_4 = Q_1$ . I = jumlah air yang masuk ke danau (inflow); O = jumlah air yang keluar dari danau (outflow);  $\Delta S$  = perubahan jumlah air

di danau; I1 = jumlah hujan yang langsung masuk ke danau; I2=jumlah hujan yang jatuh ke daratan; I3=debit sungai dari luar DTA; P=Curah hujan rata-rata; E= Evaporasi danau; Aw= luas danau; Qro = debit run off; Qbf= debit base flow; Ad= luas daratan; , Qs = debit sungai dari luar ; ET =evapotranspirasi; Qi = debit yang lainnya.

Keluaran Air (Outflow Water) adalah :

$$O = O_1 + O_2 + Ed + O_3$$

dimana :

O1=debit Air Sungai yang keluar di Siruar, O2= kebutuhan Air minum, Ed = Evaporasi danau , ΔS = perubahan tinggi permukaan danau= (t1 - t2) x Aw, t1= elevasi awal permukaan danau , t1= Elevasi akhir permukaan danau, Aw= luas danau; O3 = debit yang lainnya yang ke luar danau.

### 2.3. Rancang Bangun Model

- a) Analisis kebutuhan diarahkan kepada pihak yang berkepentingan
- b) Identifikasi dan formulasi masalah. Berpedoman kepada perhitungan Masukan Air dan Keluaran Air dengan mempertimbangkan aspek ekologi, ekonomi dan sosial.
- c) Identifikasi sistem dilakukan dengan membuat diagram input output, diagram sebab akibat dan diagram alir untuk melihat variabel.
- d) Pemodelan dilakukan dengan membangun model dinamik dengan menggunakan perangkat lunak powersim versi 2.11, dimana model terdiri dari sub-model sosial ekonomi, sub-model ekologi, submodel neraca air dan tinggi permukaan air danau.
- e) Validasi struktur model dilakukan terhadap 3 sub-model yaitu sub-model sosial ekonomi, sub-model ekologis dan sub-model neraca air. Validasi kinerja model dilakukan dengan cara membandingkan data output model dengan data real yang telah diperoleh.
- f) Implementasi, dengan menyiapkan beberapa skenario untuk arahan kebijakan.

### 2.4. Struktur Model Hasil Rancang Bangun

Model Ketersediaan dan Keluaran Air dilakukan dengan sistem dinamis memakai software Powersim versi 2.11 dan simulasi tinggi permukaan air danau untuk menghitung nilai ketersediaan air yang terdiri dari :

1. Model Masukan Air
2. Model Keluaran Air
3. Model Neraca Air

### 2.5. Model Masukan Air

Data yang dimasukkan ke dalam model adalah curah hujan, pengukuran evapotranspirasi potensial, karakteristik daerah tangkapan air, kondisi iklim dan aliran air dari luar daerah tangkapan air. Keluaran

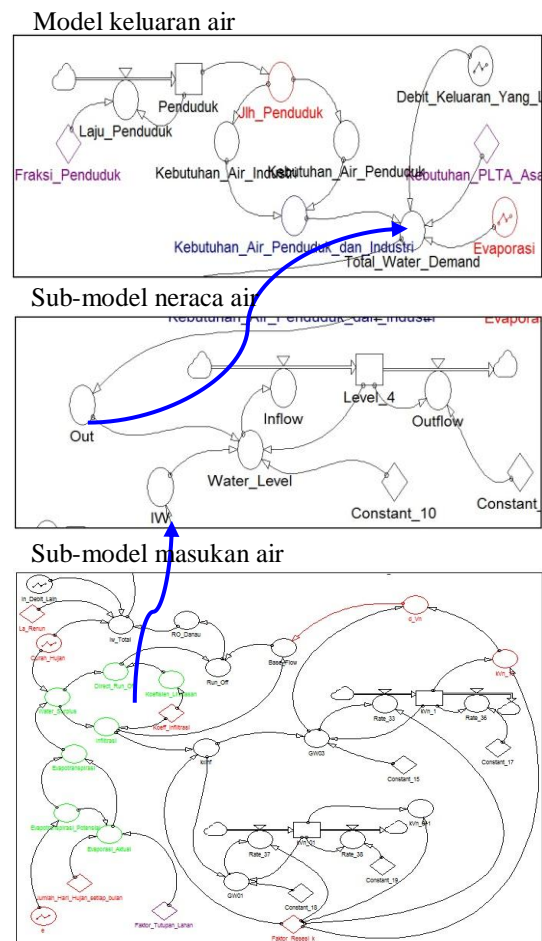
adalah total air limpasan permukaan (*direct run off*), aliran bawah tanah (*base flow*) menjadi total air limpasan yang masuk ke danau atau *Run Off* seperti dijelaskan pada Gambar 2.

### 2.6. Model Keluaran Air

Keluaran air dihitung dengan masukan jumlah pertumbuhan penduduk, kebutuhan air penduduk, kebutuhan air industri, kebutuhan debit air Sungai Asahan untuk kebutuhan PLTA dan perkiraan debit yang lain yang ke luar dari Danau Toba seperti dijelaskan pada Gambar 2.

### 2.7. Model Neraca Air

Simulasi neraca air dilakukan dengan menghitung selisih masukan air dengan keluaran air setiap bulan dan setiap tahunnya.



Gambar 2. Struktur model hasil rancang bangun

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Deskripsi Kondisi Ekologis

#### a. Letak dan Luas

Siklus DTA Danau Toba terletak antara 2<sup>o</sup>10' LU-3<sup>o</sup>0' LU dan 98<sup>o</sup>20' BT- 99<sup>o</sup>50' BT. Total luas Daerah Tangkapan Air Danau Toba adalah 379940.35 ha, yang terdiri dari luas perairan Danau Toba sebesar 104528.25 ha (27.51%) dan luas daratan sebesar 275412.10 ha ( 72.49%).

*b. Iklim*

Suhu rata-rata bulanan terendah adalah 19.7°C (Januari-Februari), suhu rata-rata bulanan tertinggi 21.40 °C (Agustus). Kelembaban rata-rata tahunan adalah 83%. Penyinaran Matahari rata-rata adalah 48 (%). Kecepatan angin rata-rata adalah 2.66 m/det.

*c. Tanah*

Suhu rata-rata bulanan terendah adalah 19.7°C (Januari-Februari), suhu rata-rata bulanan tertinggi 21.40 °C (Agustus). Kelembaban rata-rata tahunan adalah 83%. Penyinaran Matahari rata-rata adalah 48 (%). Kecepatan angin rata-rata adalah 2.66 m/det.

*d. Geologi*

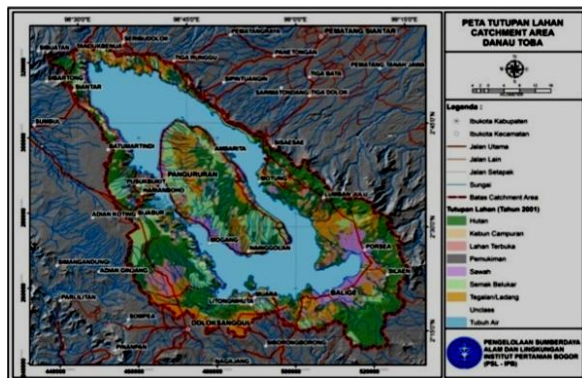
DTA Danau Toba didominasi oleh formasi geologi Tufa Toba seluas 123988 ha (46.07 %) dan formasi geologi Samosir luas 72923.50 ha (27.33%).

*e. Topografi*

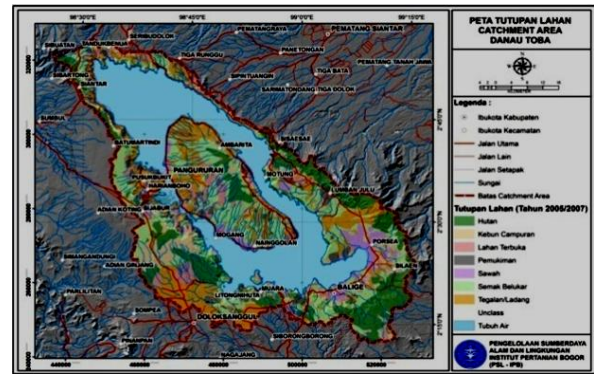
Permukaan Danau Toba berada pada ketinggian 905 m dpl, 77.72 % berada diatas ketinggian 1000 dpl, Kemiringan lahan 15-40 % adalah 21.71 %, kemiringan lebih 40 % adalah 12.45 % dari luas DTA.

*f. Perubahan Penggunaan Lahan*

Hasil interpretasi citra landsat menunjukkan telah terjadi perubahan penggunaan lahan sebagaimana disajikan pada Gambar 3 dan 4.



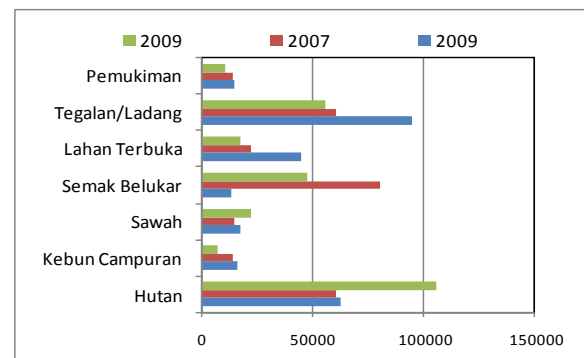
Gambar 3. Citra Landsat DTA Danau Toba tahun 2001



Gambar 4. Citra Landsat DTA Danau Toba tahun 2007

Tabel 1. Perubahan penggunaan lahan DTA Danau Toba

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)		Luas (Ha)		Luas (Ha)	
		2001	2007	2007	2009	2009	2009
1	Hutan	105.404,54	39,86%	59.987,27	22,76%	62.520,57	23,83%
2	Kebun Campuran	6.861,51	2,59%	13.634,99	5,17%	15.892,82	6,06%
3	Sawah	22.220,72	8,40%	14.615,13	5,55%	17.098,65	6,52%
4	Semak Belukar	47.003,37	17,78%	79.848,48	30,30%	13.160,16	5,02%
5	Lahan Terbuka	17.309,61	6,55%	21.664,17	8,22%	44.846,24	17,09%
6	Tegalan/Ladang	55.158,74	20,86%	60.204,47	22,84%	94.313,47	35,95%
7	Pemukiman	10.455,00	3,95%	13.614,65	5,17%	14.508,64	5,53%
8	Unclass	449,29		0,25			
9	Tubuh Air	115.077,56		116.370,94		117.599,80	
Total Luas Perairan		115.526,85		116.371,19		117.599,80	
Total Luas Daratan		264.413,49	100,00%	263.569,16	100,00%	262.340,55	100,00%
Total Luas DTA		379.940,34		379.940,35		379.940,35	



Gambar 5. Grafik perubahan lahan DTA Danau Toba

Analisis perubahan penggunaan lahan menunjukkan bahwa luas lahan bervegetasi (hutan, kebun campuran, sawah dan semak belukar) cenderung menurun secara fluktuatif. Luas hutan berkurang dari 181490.14 ha (2001) menjadi 168085.87 ha (2007) dan 108672.20 ha (2009). Sebaliknya, terjadi peningkatan luas lahan yang tidak bervegetasi (lahan terbuka, tegalan dan pemukiman) dari 82923.35 ha (2001) menjadi 95483.29 ha (2007) dan 153668.35 ha (2009). Penggunaan lahan yang bervegetasi pada tahun 2001 adalah 68.64% dan yang tidak bervegetasi adalah 31.36% dan tahun 2007 berubah menjadi penggunaan lahan yang bervegetasi 63.77% (berkurang) dan yang tidak bervegetasi adalah 36.23% dari luas daratan DTA Danau Toba (bertambah).

Dinamika perubahan penggunaan lahan di DTA Danau Toba umumnya adalah perubahan penggunaan lahan dari satu jenis tutupan lahan ke penggunaan

setiap tutupan lahan lainnya. Tabel dinamika perubahan penggunaan lahan tersebut disajikan pada

Tabel 2. Dinamika perubahan penggunaan lahan

No.	Penggunaan Lahan	Luas pada tahun 2001 (ha)	Hutan	Kebun Campuran	Lahan Terbuka	Pemukiman	Sawah	Semak Belukar	Tegalan /Ladang	Tubuh Air	Unclass
1	Hutan	105.404,54	43.862,69	8.401,22	5.531,94	2.743,08	3.580,48	30.210,70	10.036,43	1.038,01	0,00
2	Kebun Campuran	6.861,51	638,47	1.030,01	1.743,65	297,17	53,55	1.886,62	1.146,48	65,57	0,00
3	Lahan Terbuka	17.309,61	2.244,83	900,71	3.497,39	929,42	193,95	4.463,70	5.002,51	77,11	0,00
4	Pemukiman	10.455,00	602,67	388,33	1.339,95	2.865,93	487,59	2.118,09	2.504,80	147,64	0,00
5	Sawah	22.220,72	677,05	1.091,90	1.441,97	2.312,96	7.198,92	4.927,98	3.586,82	983,13	0,00
6	Semak Belukar	47.003,37	7.513,63	1.085,86	3.138,12	1.502,27	957,40	20.396,79	11.256,78	1.152,53	0,00
7	Tegalan/Ladang	55.158,49	3.909,61	704,09	4.824,85	2.542,75	1.795,66	15.301,07	25.331,04	749,42	0,00
8	Tubuh Air	115.077,56	346,69	9,78	118,16	421,08	338,09	462,28	1.233,30	112.148,17	0,00
9	Unclass	449,29	191,64	23,09	28,14	0,00	9,48	81,27	106,31	9,36	0,00
<b>Luas tahun 2007 (ha)</b>		<b>379.940,09</b>	<b>59.987,27</b>	<b>13.634,99</b>	<b>21.664,17</b>	<b>13.614,65</b>	<b>14.615,13</b>	<b>79.848,48</b>	<b>60.204,47</b>	<b>116.370,94</b>	<b>0,00</b>

### 3.2. Kemampuan Lahan

Dari hasil perhitungan luasan antara penggunaan lahan eksisting di daerah tangkapan air Danau Toba berdasarkan hasil rekaman Citra Landsat tahun 2007 ditemukan 22.22% dari luas daratan yang digunakan tidak sesuai dengan kemampuan lahan DTA Danau Toba. Penggunaan lahan yang tidak sesuai ini harus diupayakan untuk dikembalikan kepada penggunaan yang sesuai dengan kemampuan lahannya untuk mendapatkan kondisi yang ideal.

Penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan khususnya pada kawasan lindung mencapai 21.29 % pada tahun 2001 dan bertambah menjadi 30.01 % pada tahun 2007. Penggunaan lahan pada seluruh DTA Danau Toba yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan adalah 39.76% pada tahun 2001 dan berubah menjadi 39.97% pada tahun 2007.

### 3.3. Tata Ruang Danau Toba

Berdasarkan data RTRW Propinsi Sumatera Utara didapat bahwa luas kawasan lindung pada DTA Danau Toba adalah 121397.41 ha atau 46.04% dari luas daratan dan kawasan budidaya adalah sebesar 142254.23 ha atau 53.96% dari luas daratan. Data hasil rekaman Citralandsat pada tahun 2007, ditemukan jumlah luas penggunaan lahan yang sesuai dengan fungsi kawasan lindung yaitu hutan adalah 33720.69 ha atau 12.79 % dari luas daratan dan jumlah luas penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan lindung adalah seluas 87676.72 ha atau 33.25% dari luas daratan. Sementara itu, pada kawasan budidaya ditemukan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan budidaya yaitu hutan seluas 26266.58 ha atau 9.97 % dari luas daratan. Dengan demikian, luas penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan pada DTA Danau Toba menurut RTRW Propinsi Sumatera Utara ditemukan seluas 113943.30 ha atau 43.22% dari luas daratan.

Tabel 2.

### 3.4. Kawasan Hutan

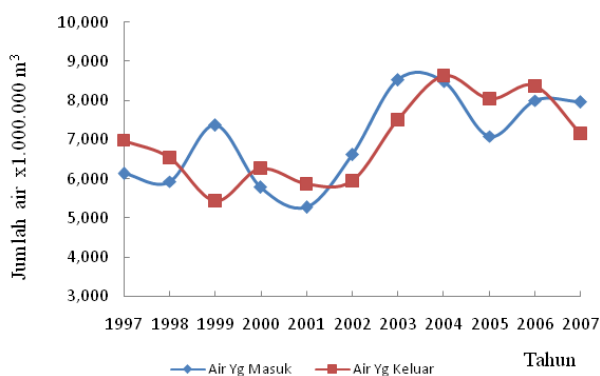
Data hasil rekaman Citra Landsat pada tahun 2007, ditemukan jumlah luas penggunaan lahan yang sesuai dengan fungsi kawasan lindung yaitu hutan adalah 33720.69 ha atau 12.79 % dari luas daratan dan jumlah luas penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan lindung adalah seluas 93368.39 ha atau 35.39% dari luas daratan. Sementara itu, pada kawasan budidaya ditemukan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan budidaya yaitu hutan seluas 26266.58 ha atau 9,97 % dari luas daratan. Dengan demikian, luas penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan fungsi kawasan menurut SK 201 Menhut/2006 ditemukan seluas 119634,97 ha atau 45.35 % dari luas daratan. Hasil analisis penggunaan lahan pada daerah tangkapan air Danau Toba yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan, rencana tata ruang dan rencana kawasan hutan menunjukkan bahwa daerah tangkapan air Danau Toba harus segera dilakukan upaya konservasi. Ketidaksiharian penggunaan lahan tersebut menjadi berpengaruh besar terhadap kelestarian kuantitas air danau.

### 3.5. Masukan dan Keluaran Air

Hasil analisis Ketersediaan Air dan Keluaran Air pada tahun 2007 disajikan pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa ketersediaan air selalu lebih kecil dari keluaran air kecuali pada pertengahan bulan Juni sampai pertengahan bulan Agustus. Diperkirakan ada debit yang berasal dari luar DTA yang masuk ke Danau Toba dan ada debit yang keluar dari Danau Toba yang diperkirakan merupakan aliran air melalui lapisan tanah di dasar danau. Perhitungan neraca air pada tahun 1997 sampai dengan tahun 2007 pada daerah tangkapan air Danau Toba disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Neraca air Danau Toba tahun 1997-2007 (x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

Tahun	Air Yg Masuk	Air Yg Keluar	Selisih
1997	6.128,64	6.980,95	(852,31)
1998	5.930,37	6.538,11	(607,74)
1999	7.368,70	5.431,20	1.937,49
2000	5.781,37	6.264,26	(482,89)
2001	5.275,69	5.872,97	(597,28)
2002	6.615,01	5.955,85	659,16
2003	8.531,92	7.503,51	1.028,41
2004	8.483,67	8.638,08	(154,41)
2005	7.092,35	8.034,71	(942,37)
2006	7.996,33	8.368,92	(372,59)
2007	7.959,43	7.158,64	800,79
Jumlah	77.163,47	76.747,21	416,26

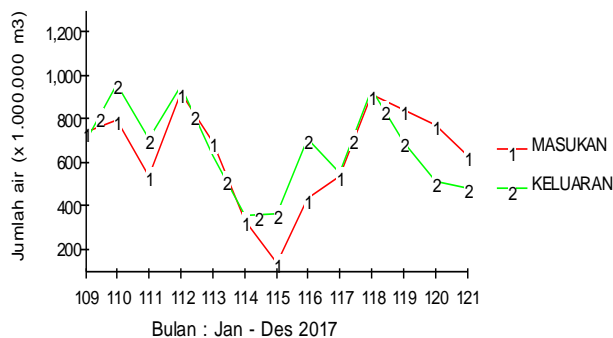


Gambar 6. Ketersediaan air dan keluaran air Danau Toba tahun 2007

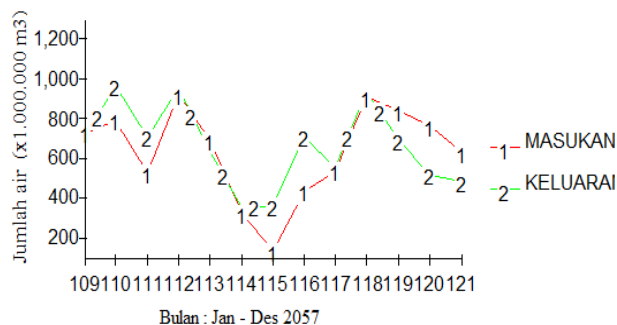
Pada tahun 1997-1998; tahun 2000- 2001 dan tahun 2004-2006 jumlah keluaran air dari Danau Toba lebih besar dari jumlah air yang masuk ke Danau Toba. Namun pada tahun dari tahun 1998 sampai akhir tahun 1999 dan tahun 2001 sampai dengan tahun 2004 jumlah air yang masuk ke Danau Toba lebih besar dari air yang ke luar dari Danau Toba. dari perhitungan ditemukan bahwa volume air Danau Toba semakin lama semakin berkurang.

### 3.6. Prediksi Kondisi Masa Depan

Ada dua kondisi yang dilakukan yakni prediksi tanpa input perubahan serta prediksi masa depan dengan input perubahan (intervensi terhadap input dengan beberapa skenario).



Gambar 7. Grafik neraca air kondisi ekisting tahun 2017



Gambar 8. Grafik neraca air kondisi ekisting tahun 2057

Tabel 4. Neraca air DTA Danau Toba tanpa intervensi (x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)

Bulan	Tahun 2017		Tahun 2057	
	Masukan	Keluaran	Masukan	Keluaran
Jan	741,08	707,56	741,08	710,14
Peb	799,35	970,05	799,35	972,63
Mar	535,96	716,73	535,96	719,31
Apr	927,23	961,43	927,23	964,02
Mei	695,55	639,10	695,55	641,69
Jun	336,79	363,18	336,79	365,78
Jul	144,06	367,19	144,06	369,79
Aug	439,83	718,72	439,83	721,32
Sep	541,70	559,69	541,70	562,29
Okt	920,86	946,40	920,86	949,01
Nop	849,93	701,96	849,93	704,56
Des	777,73	519,76	777,73	522,37
Total	7.710,07	8.171,77	7.710,07	8.202,91
Defisit		(461,70)		(492,84)

Hasil simulasi prediksi masa depan pada kondisi tanpa perubahan input menunjukkan bahwa ketersediaan air pada tahun 2017 defisit 461.70 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> dan pada tahun 2057 defisit bertambah menjadi sebesar 492.84 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> seperti dijelaskan pada Tabel 4.

Neraca air kondisi negatif terjadi mulai bulan Januari sampai dengan bulan Oktober dan neraca air kondisi positif terjadi pada bulan Oktober sampai dengan Desember.

Prediksi masa depan pada kondisi dengan perubahan input (intervensi terhadap input dengan beberapa skenario) dengan menghitung neraca air dan mengendalikan tinggi permukaan air danau pada kondisi pada tahun 2017 dan tahun 2057 dengan skenario pesimis, moderat dan optimis seperti dijelaskan sebagai berikut :

1. Pertumbuhan penduduk dilakukan dengan skenario kebijakan optimis, moderat dan pesimis secara berurutan adalah 0.8%; 1.0% dan 1.2%.
2. Pengurangan jumlah air limpasan dan menambah daya serap air oleh tanah, dengan mempergunakan koefisien infiltrasi pada skenario kebijakan optimis, moderat dan pesimis secara berurutan adalah 0.45; 0.43 dan 0.41.
3. Pengendalian penggunaan lahan dari lahan non bervegetasi ke lahan bervegetasi untuk menambah nilai singkapan lahan (m) dengan skenario optimis, moderat dan pesimis secara berurutan sebesar 0.25; 0.30 dan 0.32.

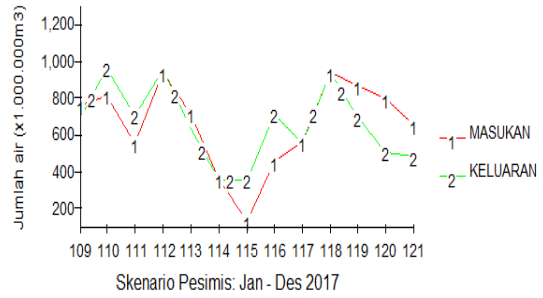
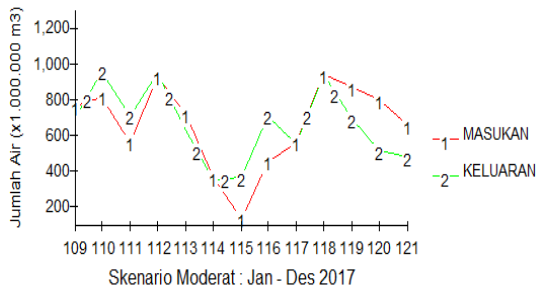
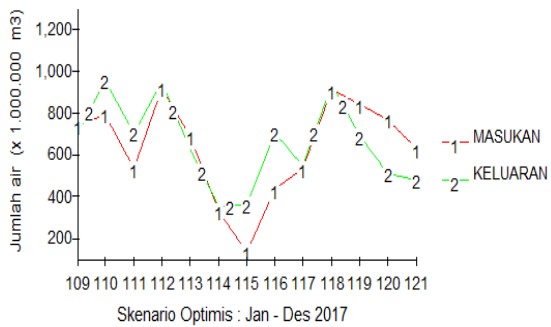
4. Pengaturan debit air ke sungai Asahan dengan besaran untuk seluruh skenario sebesar 91.69 m<sup>3</sup>/det.
5. Mengganti tanaman penutup lahan dengan jenis tutupan lahan yang memberikan koefisien evapotranspirasi untuk skenario optimis, moderat dan pesimis masing-masing adalah 0.75; 0.82 dan 0.88.

Hasil simulasi neraca air untuk skenario optimis, moderat dan pesimis tahun 2017 disajikan pada Tabel 5 dan tahun 2057 disajikan pada Tabel 5.

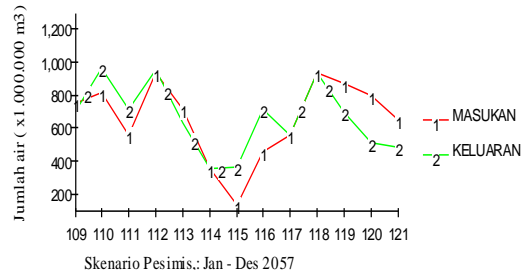
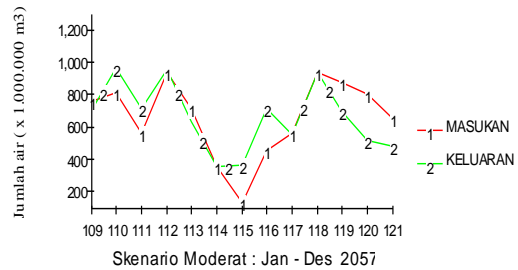
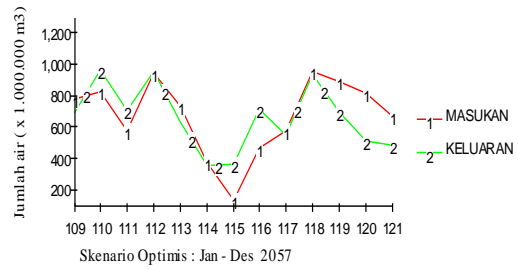
Tabel 5. Skenario neraca air Danau Toba tahun 2017

Bulan	Neraca Air 2017 (x1.000.000 m <sup>3</sup> )					
	Optimis		Moderat		Pesimis	
	Masukan	Keluar	Masukan	Keluar	Masukan	Keluar
Jan	784,09	707,43	768,38	707,50	764,28	707,58
Feb	835,43	969,91	822,80	969,99	820,14	970,07
Mar	585,32	716,59	567,11	716,67	562,09	716,75
Apr	951,90	961,29	942,93	961,37	943,29	961,45
Mei	743,34	638,96	725,72	639,04	720,85	639,13
Jun	382,46	363,04	366,84	363,12	362,91	363,21
Jul	144,06	367,05	144,06	367,13	144,06	367,21
Aug	476,80	718,58	463,92	718,66	461,88	718,75
Sep	586,83	559,54	570,12	559,63	566,69	559,71
Okt	959,35	946,26	944,55	946,34	943,97	946,43
Nop	901,41	701,81	881,38	701,90	875,81	701,98
Des	828,14	519,61	808,71	519,70	803,08	519,79
Jumlah	8.179,13	8.170,07	8.006,52	8.171,05	7.969,05	8.172,06
Neraca Air		9,06		-164,53		-203,01

Penyebaran air dalam tahun 2017 disajikan pada Gambar 9.

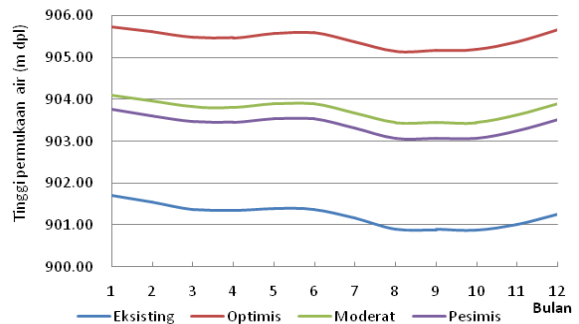


Gambar 9. Grafik neraca air kondisi tahun 2017



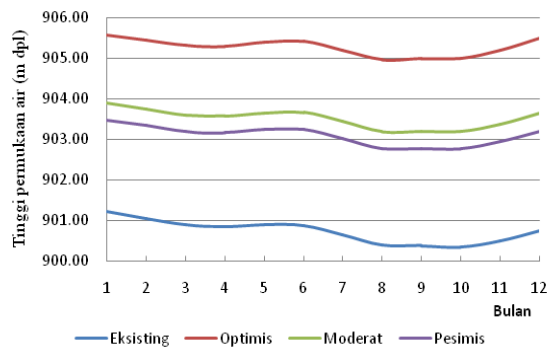
Gambar 10. Grafik neraca air kondisi tahun 2057

Dugaan tinggi permukaan air Danau Toba untuk skenario optimis, moderat dan pesimis pada tahun 2017 disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skenario tinggi permukaan air Danau Toba 2017

Dugaan tinggi permukaan air Danau Toba untuk skenario optimis, moderat dan pesimis pada tahun 2057 disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skenario tinggi permukaan air Danau Toba 2057

Dari hasil simulasi tersebut di atas yang terbaik adalah pada skenario optimis. Pada tahun 2017 neraca air menunjukkan bahwa jumlah air yang masuk lebih besar dari yang keluar. Pasokan air ke PLTA Asahan dapat diberikan rata-rata 100% sesuai dengan yang diinginkan. Tinggi muka air berada dalam batas yang diinginkan yakni 905.30-905.50 m dpl serta perbedaan antara elevasi tertinggi dengan elevasi terendah hanya 0.60 m ini menunjukkan bahwa skenario berhasil dan cukup baik.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

1. Model dapat digunakan untuk menemukan strategi konservasi yang optimal.
2. Hasil simulasi pada kondisi prediksi masa yang akan datang menunjukkan bahwa diperlukan konservasi sumber daya air untuk memperbaiki neraca air danau.
3. Model ini dapat mengatur dengan debit optimal operasional ke PLTA Asahan

### 4.2. Saran

Dari hasil simulasi dapat disarankan, agar konservasi berorientasi kepada perbaikan kemampuan lahan menyerap air dengan teknologi peningkatan kemampuan penyerapan tanah, menjaga nilai faktor tutupan lahan dengan membatasi lahan pada nilai maksimum 0.2-0.3 dengan meningkatkan luas hutan, membatasi pemukiman dan mengupayakan perbaikan terhadap lahan kritis serta membuat peraturan operasional bendung pengendali dengan membatasi debit yang keluar.

## Daftar Pustaka

- [1] Barus, B., Wiradisastra, 2000. Sistem Informasi Geografi (Sarana Manajemen dan Sumberdaya). Lab. Penginderaan Jauh dan Kartografi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [2] Ditjen RLPS, 2009. Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai, Lampiran Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, No.P.04/V-SET/2009, Tanggal 5 Maret 2009.
- [3] Limantara L. M., Janu Ismoyo M., Andy S., 2008. Water Balance in the Teritip DAM, Balikpapan, East Kalimantan. AGRITEK 16(12).
- [4] Juwono P. T., 2009. Sebuah Kajian Kebijakan Bidang Sumber Daya Air dari Sudut Pandang Hidrologi. Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang.
- [5] Mock, F. J., 1973. Water availability appraisal. Basic study prepared for FAO/UNDP Land Capability Appraisal Project, Bogor.
- [6] Nurwijayanto, E., 2008. Analisis Kawasan Hutan dan Kawasan Lindung Dalam Rangka Arahana Penataan Ruang di Kabupaten Deli Serdang [Tesis]. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [7] Parhusip, H., 2005 Penelitian Air Tanah Untuk Pengembangan Daerah Irigasi di Nainggolan Pulau Samosir, Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [8] Soeriagara, I., 1977. Pengelolaan Sumber Daya Alam. Bagian I. Jurusan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [9] Sitorus, S., 2004. Evaluasi Sumber Daya Lahan Cetakan Ke III. Penerbit Tarsito, Bandung.
- [10] Sriharto, B. R., 2000. Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian. Nafiri, Jakarta.
- [11] Sosrodarsono, S., Takeda K., 1978. Hidrologi Untuk Pengairan. Cetakan ke II. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [12] Suroso, H. A, Susanto., 2006. Pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir daerah aliran sungai banjaran. Jurnal T. Sipil 3(2).
- [13] Siti, Z. Y., 2008. Rencana Penataan Kawasan Wisata yang Berkelanjutan di Danau Toba Sumatera Utara (Kasus: Sub DAS Naborsahon). Program Studi Arsitektur Lanskap, Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.