

**ANALISIS PERUBAHAN NERACA AIR PADA BEBERAPA SKENARIO  
PENGUNAAN LAHAN DENGAN MODEL GENRIVER SERTA  
KARAKTERISASI PENDUDUK DAN *STAKEHOLDER* DI DAERAH  
TANGKAPAN AIR (DTA) ANTARA WADUK SAGULING DAN CIRATA**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian  
guna memperoleh gelar Magister Ilmu Lingkungan  
Program Pendidikan Magister Program Studi Ilmu Lingkungan  
Konsentrasi Perencanaan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup

**ARTIKEL**

**OKKY YUDA NAGARANA  
(NPM. 250120130017)**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS PADJADJARAN  
BANDUNG  
2016**

# **Analisis Perubahan Neraca Air pada Beberapa Skenario Penggunaan Lahan dengan Model GenRiver serta Karakterisasi Penduduk dan Stakeholder di Daerah Tangkapan Air (DTA) antara Waduk Saguling dan Cirata**

**Okky Yuda Nagarana**

Mahasiswa *double-degree* antara  
Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran dan  
*Master of Environmental and Energy University of Twente*

---

## ***ABSTRACT***

*Land cover and climate conditions have an important role in supporting the hydrological function in watershed area. Hydrological modeling approach can be used to analyze the response of hydrological functions to land cover. The Generic River Flow (GenRiver) Model is used to simulate the impact of land cover conversion on the water balance of the Saguling-Cirata Watershed (289,90 km<sup>2</sup>) that is located in three districts in West Java Province: West Bandung, Cianjur, and Purwakarta District. Later, the discharge of Saguling-Cirata Watershed will lead to Cirata Dam.*

*The objective as well as the steps of this study were: (1) to describe the rate and growth of population related to land use conversion, (2) to calibrate GenRiver Model based on measured/observed data by means of research site characteristics, (3) to evaluate stakeholders' roles and interests related to Saguling-Cirata Watershed management.*

*Saguling-Cirata Watershed has annual rainfall varied between 1.337-2.970 mm with average of potential evaporation 1.153 mm. Based on the characteristic of stream network, Saguling-Cirata Watershed can be divided into 23 sub-watershed. The performance evaluation results of GenRiver Model showed NSE equals 0,51. The conversion of forest consisted from 50,85% to 32,24% from 2005 to 2010. Based on the 8 years (from 2007 to 2012) of hydrological data, annual river flow as a fraction of rainfall has increased.*

*Keywords: GenRiver, land use conversion, and water balance.*

## ABSTRAK

Kondisi penggunaan lahan dan iklim mempunyai peranan penting dalam mendukung fungsi hidrologi di Daerah Aliran Sungai (DAS). Pendekatan pemodelan hidrologi dapat digunakan untuk menganalisis respon fungsi hidrologi terhadap perubahan tutupan lahan. Model *Generic River Flow* (GenRiver) digunakan untuk mensimulasikan dampak perubahan penggunaan lahan di DTA Saguling-Cirata (289,90 km<sup>2</sup>) yang terletak di tiga kabupaten Provinsi Jawa Barat: Kabupaten Bandung Barat, Cianjur, dan Purwakarta yang nantinya akan bermuara di Waduk Cirata.

Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) mendeskripsikan laju dan pertumbuhan penduduk terkait dengan perubahan penggunaan lahan di lokasi studi, (2) mengkalibrasi Model GenRiver atas dasar data-data aktual pengukuran dengan segala karakteristik lokasi studi, dan (3) mengevaluasi peran dan kepentingan *stakeholder* yang terkait dengan pengelolaan DTA Saguling-Cirata.

DTA Saguling-Cirata memiliki curah hujan wilayah tahunan bervariasi antara 1.337 hingga 2.970 mm dan rata-rata evapotranspirasi potensial bulanan sebesar 1.153 mm. Berdasarkan karakteristik jaringan sungai, DTA Saguling-Cirata dapat dibagi menjadi 23 sub-DAS. Hasil evaluasi kinerja Model GenRiver mempunyai kinerja nilai NSE 0,51. Konversi hutan menyebabkan jumlah luasan hutan di DTA Saguling-Cirata, berkurang dari 50,85% (tahun 2005) menjadi 32,24% (tahun 2010) dari total luas lahan. Hasil simulasi GenRiver dengan pengolahan data empiris dalam kurun waktu 8 tahun (tahun 2007-2014) menunjukkan adanya peningkatan debit sungai tahunan relatif terhadap besarnya curah hujan.

Kata kunci: GenRiver, perubahan penggunaan lahan, dan kesetimbangan air.

## PENDAHULUAN

Penelitian ini akan mendiskripsikan karakter iklim dan hidrologi terkait dengan dinamika penggunaan lahan di Daerah Tangkapan Air (DTA) antara Waduk Saguling dan Cirata sebagai satu bagian DTA aliran Sungai Citarum. Wahyu dkk. (2010) menyatakan bahwa berbagai perubahan yang terjadi di suatu DAS, baik penggunaan lahan maupun iklim, akan mempengaruhi perilaku debit pada pola musiman maupun tahunan.

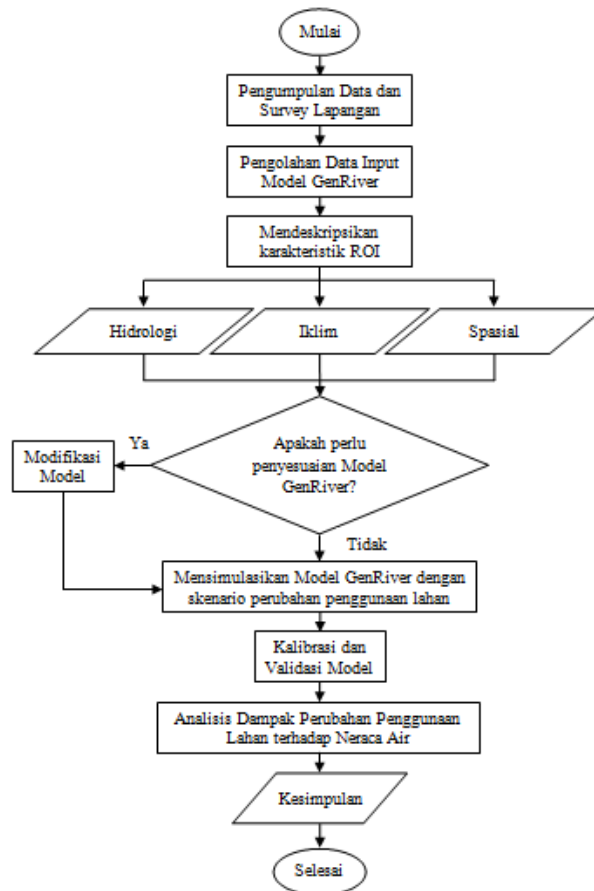
Model hidrologi yang akan diaplikasikan dalam penelitian ini adalah model Generic River Flow (GenRiver). Model GenRiver merupakan model hidrologi sederhana yang mengkonversi neraca air pada tingkat plot ke dalam tingkat bentang lahan (Van Noordwijk et al, 2011). Model GenRiver digunakan untuk membantu menilai kondisi hidrologi DAS di masa lampau dan juga kondisi hidrologi DAS di masa mendatang melalui beberapa simulasi skenario perubahan penggunaan lahan yang mungkin terjadi di masa depan. Pada penelitian ini, acuan penggunaan lahan yang mungkin terjadi di masa depan berdasar pada Rencana Pola Ruang 2029 Bappeda Jawa Barat.

Deforestasi yang menyebabkan degradasi lahan di bagian hulu dan tengah DAS memicu terjadinya erosi yang berdampak pada sedimentasi di bagian hilir DAS. Prinsip interkoneksi untuk daerah DAS sangatlah besar. Bila terjadi kerusakan di salah satu bagian DAS, maka akan mempengaruhi bagian DAS yang lain (Dephut 2008). Hingga saat ini, belum ada satu lembaga/instansi pengelolaan DAS yang dapat mengintegrasikan seluruh pemangku kepentingan dari berbagai sektor yang ada. Tidak adanya pedoman yang sama yang digunakan oleh masing-masing sektor membuat pengelolaan DAS semakin terpecah-pecah dimana lembaga-lembaga pengelolaan DAS hanya bekerja pada wilayahnya masing-masing serta hanya berdasarkan batas wilayah administratif semata (Dephut 2008).

## METODOLOGI

Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu:

1. Mengidentifikasi karakteristik demografi di DTA Saguling-Cirata.
2. Mengidentifikasi karakteristik iklim dan hidrologi DTA Saguling-Cirata.
3. Mengkalibrasi Model GenRiver dengan data-data sebagai berikut:
  - a. Curah hujan harian
  - b. Debit harian
  - c. Fraksi tiap sub-DAS di dalam DTA Saguling-Cirata
    - i. Fraksi penggunaan lahan tiap sub-DAS di dalam DTA Saguling-Cirata
    - ii. Fraksi jenis tanah tiap sub-DAS di dalam DTA Saguling-Cirata
  - d. Jarak centroid tiap sub-DAS ke *inlet* Waduk Cirata.
4. Mengidentifikasi kepentingan *stakeholder* terkait pengelolaan DTA Saguling-Cirata, baik di tingkat pusat/provinsi dan kabupaten.



**Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan dan Analisis Data.**

Dalam penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan cara pengambilan data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan. Data yang diperoleh meliputi observasi kondisi morfologi sungai dan tata guna lahan sekitar bantaran sungai. Selain itu juga akan dilakukan wawancara mendalam (*indepth interview*) dengan sejumlah informan (*key person*) yang dinilai memiliki pengetahuan yang mendalam tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu mengenai penentuan lokasi penelitian.

**Tabel 1. Data Iklim, Hidrologi, dan Spasial DTA Saguling-Cirata.**

	<b>Data</b>	<b>Sumber</b>	<b>Periode</b>	<b>Tahun</b>
Iklim	Curah hujan*	BPWC PT. PJB	Harian	2007-2014
	Evaporasi potensial*	BPWC PT. PJB	Harian	2007-2014
Hidrologi	Debit masuk dari <i>outlet</i> Waduk Saguling	PJT II Jatiluhur	Harian	2007-2014
	Debit masuk ke <i>inlet</i> Stasiun Cimeta*	BPWC PT. PJB	Harian	2007-2014
Spasial	<i>Digital Elevation Model</i> (DEM) DAS Citarum	ICRAF Bogor		
	Peta Prov. Jawa Barat berskala 1:25.000 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jenis tanah klasifikasi Dudal-Soepraptohardjo (DS)*</li> <li>• Penggunaan lahan*</li> <li>• Batas kecamatan</li> <li>• Kelas lereng</li> <li>• Kelas hujan</li> <li>• Jumlah dan kepadatan penduduk</li> </ul>	Bappeda Provinsi Jawa Barat		2010  2005 & 2010 2010 2010 2010 2006

Sementara itu data sekunder (Tabel 1) merupakan data yang diperoleh dari Badan Pengelola Waduk Cirata PT. Pembangkit Jawa-Bali (BPWC PT. PJB), PJT II Jatiluhur, ICRAF, dan Bappeda Provinsi Jawa Barat. Data-data sekunder ini antara lain: data curah hujan (BPWC PT. PJB), data evaporasi potensial (BPWC PT. PJB), data debit keluar dari *outlet* Waduk Saguling dan debit masuk ke *inlet* Waduk Cirata (PJT II Jatiluhur), data topografi berupa peta DEM (ICRAF), peta

tanah (Bappeda Provinsi Jawa Barat), dan peta penggunaan lahan (Bappeda Provinsi Jawa Barat).

Data yang diperoleh digunakan untuk menjadi masukan simulasi model GenRiver untuk diolah sehingga menghasilkan *output* berupa perubahan aliran sungai akibat dinamika perubahan penutupan lahan.

### **Analisis Demografi**

Analisis demografi pada penelitian ini meliputi analisis jumlah dan kepadatan penduduk di tiap kecamatan lokasi penelitian (dengan luas *existing*) yang kemudian dikonversi menjadi jumlah dan kepadatan penduduk yang spesifik terdapat di dalam ROI. Data yang digunakan bersumber dari deliniasi citra peta Bappeda Jawa Barat, yaitu Peta Kependudukan Provinsi Jawa Barat.

Standar yang digunakan pada analisis ini adalah standar pada kepadatan penduduk. Berdasarkan standar WHO, suatu wilayah dianggap mempunyai kepadatan ideal bila berpenduduk 96 jiwa/hektar (Fauzi, 2013). Kepadatan penduduk kurang dari atau sama dengan 96 jiwa per hektar diberi nilai indeks 100 dalam penghitungan Indeks Kepadatan Penduduk (IKP).

### **Analisis Data Iklim dan Hidrologi**

Analisis kualitas data iklim dan hidrologi dilakukan untuk melihat konsistensi antara kedua data tersebut. Metode untuk menguji konsistensi kedua data tersebut yaitu dengan menghitung besarnya evapotranspirasi (selisih antara total curah hujan dan debit per tahun) dan membuat kurva massa ganda (*double mass curve*).

Penelitian ini tidak menggunakan model pembangkit curah hujan (*rainfall simulator model*). Oleh karena itu, batasan penelitian ini adalah memprediksi kesetimbangan air hingga tahun 2014 sesuai dengan ketersediaan data sekunder di lapangan.

### **Analisis Data Spasial**

Data sebaran penggunaan lahan dan jenis tanah yang didapat dari citra, diolah menjadi matriks perubahan penggunaan lahan dan matriks sebaran tanah,

dan dipetakan dengan bantuan Software ArcGIS 10.1. Data yang dihasilkan adalah berupa matriks luas area jenis-jenis penggunaan lahan dan tanah untuk masing-masing sub-DAS.

### **Kalibrasi dan Validasi Model**

Kalibrasi merupakan suatu proses penentuan nilai parameter dari karakteristik DAS dalam model yang tidak dapat diukur (Kobolt, 2008). Tujuan dari kalibrasi adalah untuk menentukan nilai sekelompok parameter, sehingga hasil simulasi debit oleh model mendekati nilai debit yang sebenarnya (Kobold, 2008). Model hasil kalibrasi dan validasi ini selanjutnya digunakan untuk melakukan simulasi menggunakan berbagai skenario penggunaan lahan.

Validasi model GenRiver dalam studi ini dilakukan untuk menguji apakah model GenRiver dapat dipergunakan untuk mengetahui kondisi hidrologi di DTA Saguling-Cirata. Validasi sendiri menurut Hoover dan Perry (1989) merupakan proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata. Terdapat banyak macam metode validasi. Namun demikian, dalam konteks studi yang dilakukan, validasi model GenRiver dilakukan dengan metode perbandingan *output* simulasi dengan sistem nyata. Membandingkan output ukuran kinerja model simulasi dengan ukuran kinerja yang sesuai dari sistem nyata merupakan metode yang paling sesuai untuk melakukan validasi metode simulasi.

Salah satu indikator statistik yang umum digunakan untuk mengukur seberapa dekat debit hasil simulasi dengan debit pengukuran adalah dengan menggunakan nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* atau NSE (Moriassi 2001). Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) menyatakan seberapa tepat perbandingan antara debit hasil simulasi dengan debit pengamatan (Moriassi, 2007). Persamaan berikut merupakan persamaan perhitungan NSE.

$$NSE=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^n(Y_i^{obs}-Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n(Y_i^{obs}-Y^{mean})^2}\right]$$

Dengan  $Y_i^{obs}$  adalah debit pengamatan pada hari ke-i,  $Y_i^{sim}$  adalah debit hasil simulasi model hari ke-i,  $Y^{mean}$  adalah rata-rata debit pengamatan dan n



adalah banyaknya hari pengamatan (Moriassi, 2001). Sebaran nilai NSE adalah  $(-\infty$  sampai 1) di mana nilai 1 berarti cocok secara sempurna. Tabel 2 menunjukkan kriteria penilaian kinerja model berdasarkan nilai NSE.

Tabel 2. Kriteria Penilaian NSE.

Nilai NSE	Kriteria Penilaian
$0,75 < NSE \leq 1,00$	Sangat baik
$0,65 < NSE \leq 0,75$	Baik
$0,50 < NSE \leq 0,65$	Cukup
$NSE \leq 0,50$	Buruk

(Sumber: van Noordwijk, et al. 2011)

Indikator lain yang digunakan untuk menilai kemampuan model adalah berdasarkan persentase *relative error* (r) antara debit hasil simulasi dan debit pengukuran. Semakin kecil bias yang diperoleh, maka debit simulasi semakin mendekati debit hasil pengukurannya.

$$r (\%) = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i^{sim} - Y_i^{obs}}{Y_i^{obs}} \times 100\%$$

### Penyusunan Skenario Penggunaan Lahan

Penyusunan skenario perubahan penggunaan lahan ini dilakukan setelah tahap sebelumnya, yaitu validasi dan kalibrasi model selesai. Untuk dapat memahami pengaruh penutupan/penggunaan lahan terhadap neraca air dan aliran sungai, dilakukan simulasi pada berbagai skenario penggunaan lahan dengan menggunakan model GenRiver. Skenario disusun berdasarkan realisasi penggunaan lahan di tahun 2005 dan 2010. Studi simulasi difokuskan pada DTA Saguling-Cirata berdasarkan deliniasi citra dengan *software* ArcGIS 10.1.

### Identifikasi Stakeholder

Studi pustaka digunakan untuk menelusuri berbagai tulisan, temuan penelitian, atau studi terdahulu yang berkenaan dengan daerah aliran sungai dari perspektif organisasi yang membahas peran dan kepentingan organisasi yang melibatkan banyak pihak.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lokasi Studi

Lokasi studi atau *Region of Interest* (ROI) terletak di DTA Saguling-Cirata, Provinsi Jawa Barat dengan luas sekitar 289,90 km<sup>2</sup>. Wilayah DTA ini mencakup 12 Kecamatan dari 3 Kabupaten (Tabel 4). Kecamatan terluas yang di dalam ROI Saguling-Cirata ini adalah Kecamatan Cipatat, Kabupaten Bandung Barat dengan luas 108,89 km<sup>2</sup> atau 38% dari total luas ROI. Sedangkan, kecamatan dengan luasan terkecil adalah Kecamatan Bojong, Kabupaten Purwakarta dengan luas 0,05 km<sup>2</sup> atau 0,06% dari total luas ROI.

**Tabel 3. Wilayah Administratif Lokasi Studi.**

No.	Kecamatan	Kabupaten	Luas (km <sup>2</sup> )	Luas ROI (km <sup>2</sup> )	%
1	Cisarua	Bandung Barat	55,73	39,25	70,44%
2	Ngamprah	Bandung Barat	34,64	13,30	38,40%
3	Padalarang	Bandung Barat	51,21	18,47	36,07%
4	Cikalong Wetan	Bandung Barat	110,75	27,91	25,20%
5	Batujajar	Bandung Barat	81,53	8,92	10,95%
6	Cipatat	Bandung Barat	125,48	108,89	86,78%
7	Cipongkor	Bandung Barat	85,51	8,43	9,85%
8	Cipeundeuy	Bandung Barat	101,44	1,26	1,24%
9	Rongga	Bandung Barat	101,25	0,31	0,30%
10	Ciranjang	Cianjur	43,23	1,81	4,19%
11	Bojongpicung	Cianjur	126,11	61,20	48,53%
12	Bojong	Purwakarta	74,43	0,05	0,06%
<b>Total</b>				<b>289,90</b>	

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

### Karakteristik Demografi

Kecamatan Ngamprah, Kabupaten Bandung Barat merupakan kecamatan dengan jumlah penduduk terbanyak dan tingkat kepadatan penduduk tertinggi, yaitu 133.114 jiwa dan 3.844 jiwa/km<sup>2</sup> pada 2006 (Gambar 10). Walaupun Kecamatan Ngamprah merupakan kecamatan dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi, tetapi tingkat kepadatan tahun 2006 ini (38 jiwa/hektar) termasuk kategori ideal. Berdasarkan standar WHO, suatu wilayah dianggap mempunyai kepadatan ideal bila berpenduduk 96 jiwa/hektar (Fauzi, 2013). Kepadatan

penduduk kurang dari atau sama dengan 96 jiwa per hektar diberi nilai indeks 100 dalam penghitungan Indeks Kepadatan Penduduk (IKP). Sementara itu kepadatan penduduk di ROI adalah 1.218 jiwa/km<sup>2</sup> atau 13 jiwa/ha, maka berdasarkan standar WHO, ROI termasuk ke dalam kategori ideal pada 2006.

**Tabel 4. Jumlah dan Kepadatan Penduduk di Lokasi Studi Tahun 2006.**

No	Kecamatan	Kab.	Luas ROI (km <sup>2</sup> )	Luas (km <sup>2</sup> )	Aktual (jiwa)	Kepadatan (jiwa/km <sup>2</sup> )	Estomasi ROI (jiwa)
1	Cisarua	Bdg Barat	39,25	55,73	62.212	1.116	43.815
2	Ngamprah	Bdg Barat	13,30	34,63	133.114	3.844	51.124
3	Padalarang	Bdg Barat	18,47	51,21	148.350	2.897	53.506
4	Cikalong Wetan	Bdg Barat	27,91	110,75	108.824	983	27.425
5	Batujajar	Bdg Barat	8,92	81,53	106.724	1.309	11.676
6	Cipatat	Bdg Barat	108,88	125,48	117.350	935	101.826
7	Cipongkor	Bdg Barat	8,42	85,51	82.160	961	8.090
8	Cipeundeuy	Bdg Barat	1,25	101,44	77.206	761	951
9	Rongga	Bdg Barat	0,31	101,25	55.854	552	171
10	Ciranjang	Cianjur	1,81	43,23	88.109	2.038	3.689
11	Bojongpicung	Cianjur	61,19	126,11	104.886	832	50.892
12	Bojong	Purwakarta	0,05	74,43	44.419	597	30
<b>Total</b>			<b>289,90</b>			<b>1.218</b>	<b>353.194</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

Tabel 7 menunjukkan estimasi jumlah penduduk di ROI DTA Saguling-Cirata. Data ini bersumber dari hasil deliniasi citra jumlah dan kepadatan penduduk Bappeda Provinsi Jawa Barat yang dikeluarkan tahun 2006. Keberadaan penduduk pada suatu wilayah berhubungan erat dengan tingkat perkembangan wilayah. Semakin padat penduduknya, maka wilayah tersebut akan meningkatkan jumlah sarana dan prasarana untuk menunjang dan meningkatkan taraf hidup masyarakatnya. Fenomena ini dapat dilihat pada data yang tersaji pada sub-bab 4.5 mengenai karakterisasi penggunaan lahan DTA Saguling-Cirata bahwa terjadi alih guna lahan dari hutan primer menjadi peruntukkan lainnya.

**Tabel 5. Estimasi Jumlah Penduduk di ROI (2010-2025).**

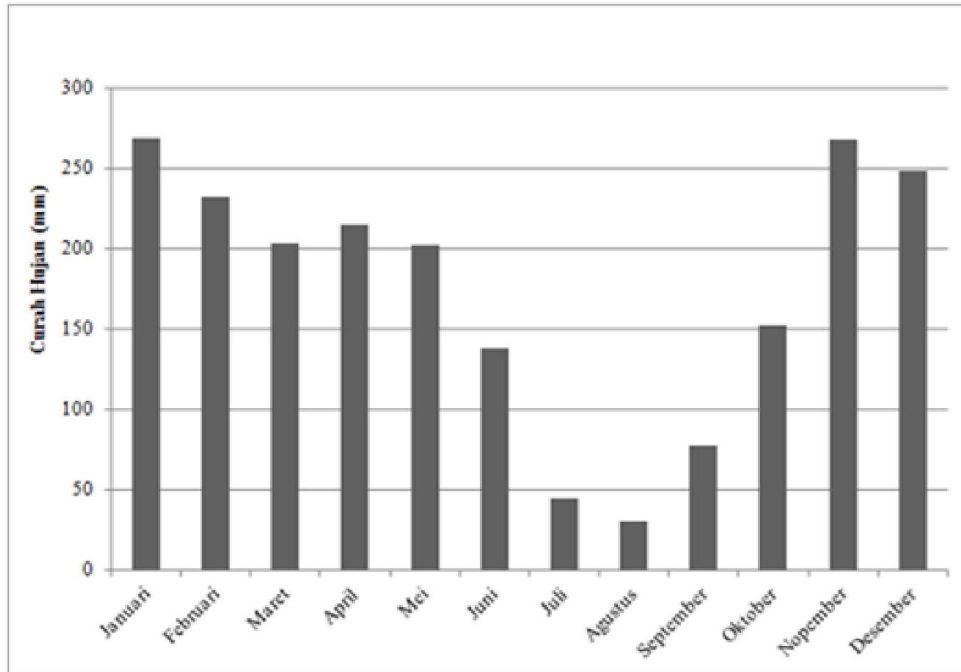
No	Kecamatan	Kab.	Est. Jumlah Penduduk (jiwa)			
			2010	2015	2020	2025
1	Cisarua	Bdg Barat	46.844	50.200	53.773	57.352
2	Ngamprah	Bdg Barat	54.647	58.562	62.731	66.907
3	Padalarang	Bdg Barat	57.202	61.299	65.662	70.034
4	Cikalong Wetan	Bdg Barat	29.322	31.422	33.659	35.900
5	Batujajar	Bdg Barat	12.488	13.382	14.335	15.289
6	Cipatat	Bdg Barat	108.862	116.659	124.964	133.283
7	Cipongkor	Bdg Barat	8.655	9.275	9.935	10.596
8	Cipeundeuy	Bdg Barat	1.022	1.095	1.173	1.251
9	Rongga	Bdg Barat	181	194	208	222
10	Ciranjang	Cianjur	3.933	4.216	4.512	4.804
11	Bojongpicung	Cianjur	54.264	58.172	62.263	66.287
12	Bojong	Purwakarta	30	32	34	36
<b>Total</b>			<b>377.448</b>	<b>404.507</b>	<b>433.249</b>	<b>461.962</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

### **Karakterisasi Iklim**

Karakteristik curah hujan DTA Saguling-Cirata berdasarkan data di Stasiun Cimeta pada 2007-2014 memiliki rata-rata 2079 mm per tahun (Tabel 10). Menurut klasifikasi iklim Oldeman, bulan basah terjadi selama 7 bulan berurutan pada bulan November-Mei dan bulan kering pada Juli-Agustus. Oleh karena itu, DTA Saguling-Cirata termasuk ke dalam klasifikasi iklim Oldeman tipe B (terdapat 7-9 bulan basah berurutan).

Berdasarkan data pengamatan curah hujan di Stasiun Cimeta selama 8 tahun (2007-2014), total curah hujan per tahun antara 1337-2970 mm. Bulan paling basah dan kering terjadi pada bulan November dan Agustus (Gambar 2) dengan rata-rata curah hujan per hari hujan sebesar 12,8 mm dan jumlah hari hujan rata-rata 161 hari per tahun.



**Gambar 2. Rata-rata Curah Hujan Bulanan Stasiun Cimeta (2007-2014).**  
 Sumber: Badan Pengelola Waduk Cirata PT. Pembangkit Jawa Bali (BPWC PT. PJB)

## Hidrologi

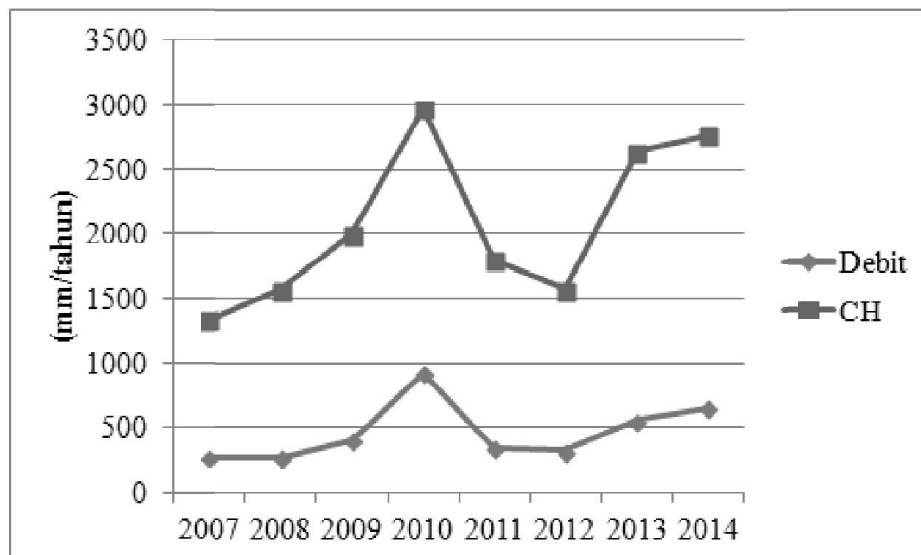
Total luas ROI pada penelitian ini adalah 289,90 km<sup>2</sup> yang dibagi menjadi 23 wilayah sub-DAS seperti yang telah dipaparkan pada paragraf di atas. Jumlah 23 sub-DAS ini diperoleh melalui penggabungan sub-sub DAS yang deliniasinya dilakukan dengan menggunakan *tools* ArcHydro yang bertautan dengan aplikasi ArcMap versi 10.1. Jelas bahwa batas sub-DAS sebagai batas hidrologis tidak sama dengan batas administratif.

## Debit Sungai dan Pola Hujan

Berdasarkan ilmu proses hidrologi, dapat diketahui bahwa pada musim hujan, aliran sungai berasal dari aliran permukaan (*overland flow*) dan aliran air tanah. Aliran permukaan (*overland flow*) adalah aliran langsung diatas permukaantanah. Sedangkan aliran air tanah (*ground water flow*) merupakan aliran air hasil peresapan air hujan. Kecepatan alir kedua aliran ini berbeda dimana aliran permukaan akan mengalir ke sungai dengan cepat setelah hujan turun, sedangkan aliran air tanah akan mengalir ke sungai setelah 1-2 hari. Aliran permukaan dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan muka air sungai secara tiba-tiba, meningkatkan erosi dan sedimentasi. Adanya degradasi tanah (lahan kritis)

akan menggeser pola pengaliran dan memperbesar aliran permukaan sehingga dapat mempengaruhi kapasitas simpanan air tanah dan kapasitas pengisian air tanah lapisan bawah.

Selain itu, volume total debit yang dihasilkan oleh sistem hidrologi di DTA Saguling-Cirata ini pada enam tahun tersebut menunjukkan jumlah yang berbanding lurus dengan intensitas hujan yang jatuh di seluruh DTA. Kecuali pada 2013 dan 2014, tingginya curah hujan tahunan tidak dimbangi oleh naiknya debit tahunan secara signifikan. Walaupun demikian, pergerakan grafik curah hujan tetap diikuti dengan naiknya grafik debit. Kondisi data hujan dan debit dalam kurun waktu delapan tahun dari tahun 2007 sampai dengan 2014 ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3. Total Volume dan Selisih Debit & Curah Hujan Tahunan.**

### **Karakterisasi Jenis Tanah**

Peta jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari Bappeda Jawa Barat dengan sistem klasifikasi Dudal-Soeprahardjo (1957-1961). Sedangkan, sistem klasifikasi yang digunakan sebagai *input* model GenRiver adalah *Soil Survey Staff* USDA (1975-1990). Oleh karena itu, perlu dilakukan konversi jenis tanah dari sistem klasifikasi Dudal-Soeprahardjo ke *Soil Survey Staff* USDA. Tabel 6 di bawah ini berisi ragam jenis tanah pada ROI penelitian.

**Tabel 6. Jenis Tanah di ROI Penelitian.**

<b>Dudal- Soepraptohardjo</b>	<b>Survey Staff USDA</b>	<b>Luas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Fraksi</b>
Andosol	Andisol	38,94	0,13
Latosol	Inseptisol	199,29	0,69
Podsol Merah-Kuning	Ultisol	40,54	0,14
Grumosol	Vertisol	6,41	0,02
Alluvial	Entisol	4,63	0,02
<b>Total</b>		<b>289,90</b>	<b>1</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

### **Karakterisasi Penggunaan Lahan**

Hingga tahun 2005, penggunaan lahan di ROI DTA Saguling-Cirata didominasi oleh area hutan sekunder sebesar 37%, perkebunan 17%, dan sisanya ladang (15%), sawah (13%), hutan primer (10%), semak belukar (5%), dan area terbangun (4%) yang dapat dilihat pada Tabel 12. Data penggunaan lahan DTA Saguling-Cirata tahun 2005 ditunjukkan oleh Tabel 7.

**Tabel 7. Penggunaan Lahan ROI Tahun 2005.**

<b>No.</b>	<b>Penggunaan Lahan</b>		<b>Luas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Fraksi</b>
1	Hutan Primer		28,96	0,10
2	Hutan Sekunder	Hutan Sekunder	0,23	105,85
		Kebun Campuran	93,34	
		Padang Rumput/Ilalang	12,28	
3	Ladang / Tegalan		42,21	0,15
4	Perkebunan		48,04	0,17
5	Sawah		38,81	0,13
6	Semak Belukar	Semak Belukar	10,94	14,34
		Tanah Kosong/Terbuka	3,40	
7	Sungai/Tubuh Air/Danau/Waduk/Situ		0,78	0,00
8	Area Terbangun		10,88	0,04
<b>Total</b>			<b>289,90</b>	<b>1</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

Pada 2010, penggunaan lahan di ROI DTA Saguling-Cirata didominasi oleh area ladang/tegalan dan perkebunan masing-masing 20%. Selanjutnya adalah hutan sekunder (18%), sawah, semak belukar dan areal terbangun masing-masing 12% serta hutan primer (5%). Selama lima tahun (2005-2010), luas area hutan primer telah mengalami penurunan sebesar 5% dan hutan sekunder 19%. Data penggunaan lahan DTA Saguling-Cirata tahun 2010 ditunjukkan oleh Tabel 8.

**Tabel 8. Penggunaan Lahan ROI Tahun 2010.**

No.	Penggunaan Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Fraksi
1	Hutan Primer	15,04	0,05
2	Hutan Sekunder	52,89	0,18
3	Ladang / Tegalan	57,62	0,20
4	Perkebunan	58,75	0,20
5	Sawah	33,36	0,12
6	Semak Belukar	33,85	0,12
7	Sungai/Tubuh Air/Danau/Waduk/Situ	2,18	0,01
8	Area Terbangun	36,11	0,12
<b>Total</b>		<b>289,90</b>	<b>1</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)

Data penggunaan lahan pada Tabel 9 adalah hasil deliniasi citra Rencana Pola Ruang Tahun 2029 Bappeda Provinsi Jawa Barat. Wilayah yang dikonsentrasikan menjadi hutan lindung adalah Kecamatan Cisarua (10,33 km<sup>2</sup>), menjadi area resapan air adalah Kecamatan Cikalong Wetan (24,14 km<sup>2</sup>) dan Cisarua (22,68 km<sup>2</sup>) menjadi hutan produksi adalah Kecamatan Cipatat (14,28 km<sup>2</sup>) dan Bojongpicung (28,83 km<sup>2</sup>), menjadi pedesaan adalah Kecamatan Cipatat (32,18 km<sup>2</sup>).

**Tabel 9. Penggunaan Lahan RTRWP Jawa Barat ROI Tahun 2029.**

No.	Penggunaan Lahan	Luas (km <sup>2</sup> )	Fraksi
1	Hutan Konservasi	0,39	0,0013
2	Hutan Lindung	11,52	0,04
3	LNH-Sesuai Utk Htn. Lindung	2,48	0,01
4	LNH-Resapan Air	60,76	0,21
5	LNH-Perlindungan Geologi	1,43	0,00
6	LNH-Rawan Letusan Gn. Api	6,31	0,02
7	LNH-Rawan Gerakan Tanah	82,33	0,28
8	KB-Hutan Produksi Terbatas	13,20	0,05
9	KB-Hutan Produksi	48,01	0,17
10	KB-Enclave	2,26	0,01
11	Perkotaan	3,00	0,01
12	Sawah	4,47	0,02
13	Perdesaan	51,41	0,18
14	KB-Tubuh Air	2,08	0,01
<b>Total</b>		<b>289,90</b>	<b>1</b>

(Sumber: Hasil Deliniasi Citra)



### Kalibrasi dan Verifikasi Model GenRiver

Hasil kalibrasi dan verifikasi GenRiver dengan menggunakan data debit dan curah hujan tahun 2007. Tes performansi bulanan untuk tahun 2007 ini adalah  $NSE = 0,51$  (*satisfactory*) dan bias = 6,55% (*very good*). Melalui hasil tes performansi bulanan ini maka Model GenRiver dapat memodelkan DTA lokasi studi dengan segala karakteristiknya jika dibandingkan dengan data aktual pengukuran (*observed/measured*) sehingga layak untuk menjadi alat evaluasi dampak alih fungsi lahan di lokasi studi.

Sebagai catatan, terdapat simpangan yang cukup jauh antara data pengukuran lapangan (*observed/measured*) dan data simulasi berturut-turut pada 2008-2014. Pada 2008, data debit hasil simulasi mendekati data pengukuran pada hari pertama hingga ke-120 dan selanjutnya terjadi lonjakan debit kumulatif. Hal ini terjadi karena debit harian hasil simulasi setelah hari ke-120 hingga 365 terus-menerus lebih tinggi daripada debit pengukuran. Pada 2009, data debit hasil simulasi mendekati data pengukuran pada hari pertama hingga ke-80 dan selanjutnya terjadi lonjakan debit kumulatif. Pada 2010, data debit hasil simulasi mendekati data pengukuran pada hari pertama hingga ke-45.

Hasil kalibrasi Model GenRiver dengan nilai parameter pada *software Stella* pada kolom 'final output' memperoleh nilai NSE dan relative error bulanan sebesar yang terlihat pada Tabel 10.

**Tabel 10. Tes Performansi GenRiver Bulanan.**

Year	n	Biased (%)	NSE	r	Biased (%)	NSE
<b>2007</b>	<b>12</b>	<b>6,55</b>	<b>0,51</b>	<b>0,72</b>	<b>Very good</b>	<b>satisfactory</b>
2008	12	66,17	-0,49	0,81	unsatisfactory	unsatisfactory
2009	12	138,00	-7,10	0,85	unsatisfactory	unsatisfactory
2010	12	82,25	-1,22	0,26	unsatisfactory	unsatisfactory
2011	12	159,19	-9,16	0,55	unsatisfactory	unsatisfactory
2012	12	111,87	-2,17	0,84	unsatisfactory	unsatisfactory
2013	12	147,04	-7,87	0,76	unsatisfactory	unsatisfactory
2014	12	146,60	-4,42	0,67	unsatisfactory	unsatisfactory

Karena hasil kalibrasi dan verifikasi model yang menghasilkan hasil positif, maka selanjutnya adalah membandingkan data bulanan antara data pengukuran (*measurement*) dan simulasi (*simulation*) dalam bentuk grafik tahunan mulai 2007-2014. Koefisien determinasi (*coefficient of determination - R<sup>2</sup>*) dari tahun 2007 hingga 2014 berturut-turut adalah 0,7911; 0,6823; 0,7694; 0,3429; 0,4348; 0,7708; 0,7517; 0,5403 dengan rata-rata **0,6354**. Dengan rata-rata nilai R<sup>2</sup> tersebut maka 63,54% variasi dari variabel Y (debit simulasi) dapat diterangkan dengan variabel X (debit pengukuran) sedang sisanya 36,46% dipengaruhi oleh variabel-variabel lain yang tidak diketahui atau variabilitas yang inheren.

Tabel 11 menunjukkan kesetimbangan air untuk setiap penggunaan lahan. Penggunaan lahan tahun 2005 menggunakan data debit dan curah hujan menghasilkan kesetimbangan air pada 2007, 2008, dan 2009. Penggunaan lahan tahun 2010 menggunakan data debit dan curah hujan untuk menghasilkan kesetimbangan air pada 2010, 2011, dan 2012, 2013, dan 2014.

**Tabel 11. Rekapitulasi Kesetimbangan Air untuk Setiap Penggunaan Lahan.**

Parameter (mm/tahun)	Penggunaan Lahan 2005			Penggunaan Lahan 2010				
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Presipitasi (pengukuran)	1.337	1.571	2.003	2.970	1.801	1.570	2.640	2.763
Evapotranspirasi (simulasi)	962	961	1043	1120	1025	894	1.151	1.081
Debit sungai (simulasi)	288	449	974	1669	883	674	1.376	1.626
• Run off	174	308	566	809	531	420	787	999
• SoilQFlow	101	273	415	927	247	232	697	682
• Base flow	0	0	0	0	0	0	0	0

### **Pemetaan dan Analisis Stakeholder**

Pemetaan dan analisis ini bertujuan untuk menggali kepentingan dan peran dari *stakeholder-stakeholder* yang mempunyai peran dan pengaruh langsung terhadap pengelolaan DTA Saguling-Cirata. Instansi yang terkait dengan pengelolaan DTA Saguling-Cirata berasal dari dua tingkat pemerintahan, yaitu tingkat Provinsi Jawa Barat dan tingkat Kabupaten Bandung Barat, Cianjur, dan Purwakarta.

Tingkat Provinsi Jawa Barat yang terdiri dari Satuan Kerja Perangkat Daerah (SKPD) dan Badan Usaha Milik Negara (BUMN), antara lain:

1. BAPEDDA Jawa Barat
2. BBWS Citarum
3. Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Provinsi Jawa Barat
4. Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat
5. Balai Pengeloaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Citarum
6. Perum Perhutani Unit-III Jawa Barat dan Banten
7. Perusahaan Umum Jasa Tirta (PJT) II
8. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Barat.
9. Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Barat
10. Universitas Padjadjaran

Untuk tingkat Kabupaten, yang mencakup Kabupaten Bandung Barat, Cianjur, dan Purwakarta, berikut adalah instansi-instansi yang terkait dengan kegiatan pengelolaan DTA Saguling-Cirata

1. DPRD dan Bupati Kabupaten Bandung Barat, Cianjur, dan Purwakarta
2. BAPPEDA Kabupaten
3. Dinas Kehutanan dan Perkebunan
4. Kantor Lingkungan Hidup
5. Dinas Permukiman dan Perumahan
6. PDAM Kabupaten
  - a. PDAM Tirta Mukti Kabupaten Cianjur
  - b. PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung Barat
  - c. PDAM Kabupaten Purwakarta
7. Kelompok Tani

Pemahaman tidak utuh pada fungsi perencanaan memunculkan persoalan (1) kekosongan perencanaan pengelolaan karena tidak semua terliput dalam perencanaan setiap instansi/organisasi; (2) tumpang tindih perencanaan antar-instansi atau organisasi pengelola DAS Citarum; (3) konflik antar-organisasi jika pada objek yang sama terjadi dualisme rencana yang berbenturan atau berbeda prioritas (Sutrisno, Kepala Divisi Regional Perusahaan Umum Jasa Tirta II).

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

1. Peningkatan jumlah dan kepadatan penduduk berbanding lurus dengan tekanan terhadap sumber daya alam berupa alih fungsi lahan. Jumlah penduduk di ROI sebanyak 353.194 jiwa pada 2006 meningkat 6,86% menjadi 377.448 jiwa pada 2010 berdampak pada turunnya presentase dan indeks penggunaan hutan dari 50,85% dan 69,20 pada 2005 menjadi 32,24% dan 52,06 pada 2010.
2. Model GenRiver dapat digunakan untuk mempelajari fungsi hidrologi DAS dan hubungannya dengan alih guna lahan.
  - Hubungan antara curah hujan dan debit sungai pada DTA Saguling-Cirata selama 8 tahun (tahun 2007-2014) pengamatan menunjukkan adanya peningkatan debit pada periode ini. Peningkatan ini berkaitan dengan pengurangan luasan hutan dari 50,85% menjadi 32,24% dari tahun 2005-2010.
  - Penggunaan lahan tertutup hutan (tahun 2005) menghasilkan jumlah debit sungai lebih kecil dibandingkan skenario kondisi terdegradasi (tahun 2010). Indikator fungsi hidrologi menunjukkan peningkatan hasil air sungai dan peningkatan resiko banjir karena alih fungsi hutan.
3. Ketercapaian program pengelolaan DAS Citarum (termasuk di dalamnya DTA Saguling-Cirata) belum menunjukkan keaktifan, keefektifan koordinasi baik dalam perencanaan dan implementasi, serta belum adanya mekanisme insentif dan disinsentif dalam pelaksanaan pengelolaan DAS.

### Saran

1. Sebaiknya data *input* model GenRiver berupa curah hujan dan debit tidak berselisih terlalu jauh, idealnya adalah berkisar 1:1 sehingga hasil validasi model layak untuk dijadikan alat evaluasi dampak alih fungsi lahan.
2. Perlu adanya *political will* yang konsisten dan terintegrasi dari pemerintah pusat hingga daerah dalam membuat perencanaan, pengorganisasian, dan pelaksanaan program pengelolaan DAS.

## DAFTAR PUSTAKA

- [Dephut]. 2008. *Kerangka Kerja Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di Indonesia*. Jakarta: Departmen Kehutanan Republik Indonesia.
- Fauzi, Akhmad dan Alex Oxtavianus. 2013. Background Study RPJMN 2015-2019 *Indeks Pembangunan Lingkungan Hidup. Final Report yang disampaikan kepada Kementrian Perencanaan Pembangunan Nasional*.
- Hoover and Perry. 1989. *Simulation A Problem-Solving Approach*. Addison-Wesley., USA.
- Kobold, M., Suselj, K., Polajnar, j. Dan Pogacnik, N. 2008. *Calibration Techniques Used For HBV Hydrological Model In Savinja Catchment*. XXIVth Conference Of The Danubian Countries On The Hydrological Forecasting And Hydrological Bases of Water Management.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2001. *Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.20(3):885-900.
- Van Noordwijk, M., Widodo, R.H., Farida, A., Suyamto, D.A., Lusiana, B., Tanika, L. dan Khasanah, N. 2011. *GenRiver and FlowPer User Manual Version 2.0*. Bogor. Bogor Agroforstry Centre Southeast Asia Regional Program. hlm 117.
- Wahyu A, Kuntoro AA, Yamashita T. 2010. *Annual and Seasonal Discharge Response to Forest/Land Cover Changes and Climate Variations in Kapuan River Basin, Indonesia*. Journal of International Development and Cooperation. 16(2):81-100.