

## **DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN IKLIM TERHADAP FUNGSI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI KONAWEHA HULU**

### ***THE EFFECT OF LAND COVER AND CLIMATE CHANGE TO HYDROLOGICAL FUNCTION IN UPPER KONAWEHA WATERSHED***

**Lisa Tanika<sup>1)</sup>, Hidayat Pawitan<sup>2)</sup>, Meine Van Noordwijk<sup>3)</sup>, Mukhammad Thoha Zulkarnain<sup>4)</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa S2 Klimatologi Terapan Sekolah Pascasarjana IPB, *Ecological modeler* ICRAF

<sup>2</sup>Ketua Komisi Pembimbing, Dosen Departemen Geofisika dan Meteorologi IPB

<sup>3</sup>Anggota Komisi Pembimbing, *Principal Scientist and Chief Science Advisor* ICRAF

<sup>4</sup> *Remote Sensing Associate* ICRAF

E-mail: lisa.tanika@yahoo.com

Diterima: 3 Desember 2013; Disetujui: 18 Oktober 2013

#### **ABSTRAK**

*Model hidrologi dapat digunakan untuk menguraikan akibat yang saling berkaitan antara perubahan iklim dan tutupan lahan terhadap proses hidrologi. Model Generic River Flow (GenRiver) dan HBV diaplikasikan untuk mensimulasikan dampak dari perubahan yang penting pada tutupan hutan dan perubahan iklim sederhana di daerah hulu DAS Konawe (2,856 km<sup>2</sup>) yang terletak di Kabupaten Konawe dan Kolaka, Sulawesi Tenggara. Setelah proses kalibrasi dan verifikasi model berhasil dilakukan, simulasi dijalankan untuk menilai kondisi tutupan lahan 1990-2010. Skenario untuk 21 tahun mendatang (2010-2030), menggunakan 8 kombinasi faktorial dari: (1) Business as usual (BAU) (ekstrapolasi perubahan tutupan lahan yang terjadi 21 tahun terakhir (1990-2010)) dibandingkan dengan tidak adanya perubahan tutupan lahan sejak kondisi tahun 2010; (2) skenario iklim global A1F1 dan B1 yang diubah ke dalam skala lokal (skenario IPCC); dan (3) intensitas curah hujan tinggi dan rendah. Berdasarkan model, perubahan potensial pada intensitas curah hujan, tanpa mengubah curah hujan harian akan berdampak pada aliran permukaan dan pola debit musiman. Sedangkan perubahan tutupan lahan mempunyai dampak yang lebih sederhana dan perubahan iklim berdasarkan skenario IPCC tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap neraca air di daerah hulu DAS Konawe.*

**Kata kunci:** Neraca air, hulu sungai, model hidrologi, perubahan iklim, tutupan lahan.

#### **ABSTRACT**

*Hydrological models can be used to disentangle the interacting impacts of land cover and climate change on hydrological processes. We used the Generic River Flow (GenRiver) and HBV models to simulate the impact of substantial change in forest cover and modest climate change on the water balance of the upper Konawe watershed (2,856 km<sup>2</sup>) that is located in Konawe and Kolaka district, Southeast Sulawesi. After successful calibration and verification for both models, simulation runs were made to assess land cover recorded for 1990-2010. Forward-looking scenarios for the next 21 years (2010-2030), considered 8 factorial combinations of: (1) Business as usual (BAU) (extrapolating land cover change as occurred in the last 21 years (1990-2010)) versus no change from 2010 condition; (2) local translation of global climate scenarios A1F1 and B1 (IPCC scenarios); and (3) high and low rainfall intensity. According to the models, potential changes in rainfall intensity, without change in daily rainfall, would have considerable impact on surface runoff and seasonal pattern of discharge. While land cover change will have a more modest impact and climate change based on IPCC scenario will not be expected to have a significant influence on water balance in the upstream watershed Konawe.*

**Keywords:** Water balance, river upstream, hydrologic models, climate change, land cover

**PENDAHULUAN**

Daerah Aliran Sungai (DAS) yang merupakan daerah tangkapan air yang menjadi salah satu bagian penting dalam mendukung ketersediaan air di suatu wilayah. Berbagai perubahan yang terjadi di DAS tersebut, baik tutupan lahan (*Land cover/LC*) maupun iklim, akan mempengaruhi perilaku debit pada pola musiman maupun tahunan (Wahyu, *et al.* 2010). Lebih jauh lagi, Ma, *et al.* (2009) menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap total debit tahunan, sedangkan variasi pola musiman dipengaruhi oleh perubahan variasi iklim. Oleh karena itu, banyak terdapat penelitian yang dilakukan untuk memprediksi dampak perubahan tutupan lahan dan iklim terkait dengan respon hidrologi di suatu DAS.

**KAJIAN PUSTAKA**

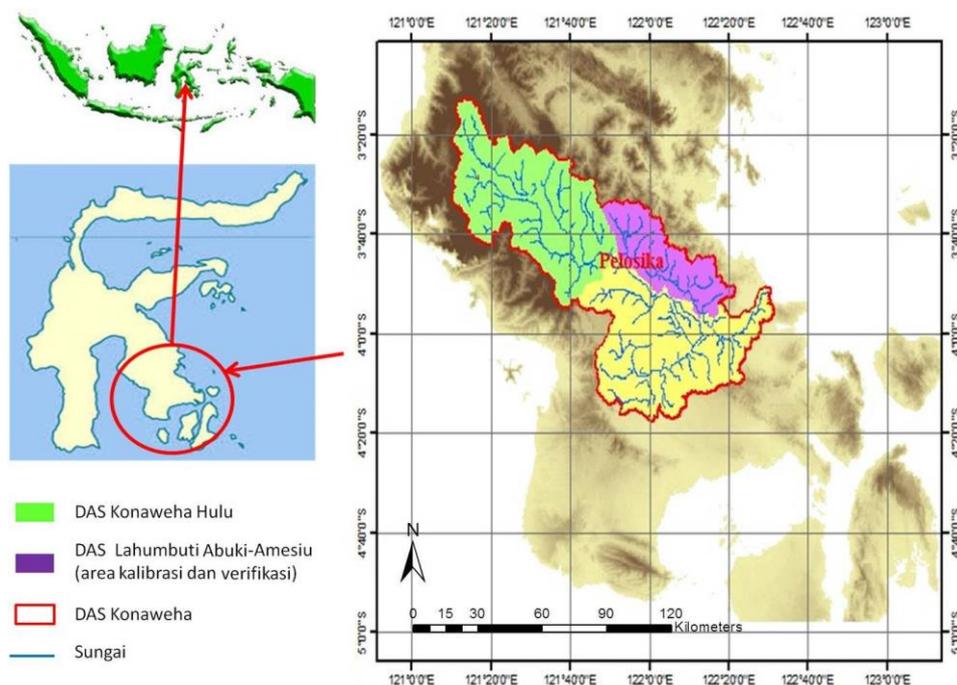
Salah satu cara menilai respon hidrologi suatu DAS terkait perubahan tutupan lahan dan iklim adalah dengan bantuan model hidrologi. Model *Generic River Flow* (GenRiver) yang model hidrologi yang dikembangkan oleh *World Agroforestry Centre* (ICRAF) sejak tahun 2005. Selain model GenRiver, model hidrologi lain yang sudah banyak dikenal oleh para ahli hidrologi adalah model HBV (*Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning*). Model ini banyak digunakan karena hanya dibangun dari beberapa persamaan aljabar sederhana namun dapat diaplikasikan pada berbagai luasan DAS

(Aghakouchak dan Habib, 2010; Krysanova dan Bronstert, 1999). Secara umum, prinsip kerja model GenRiver dan HBV adalah menggunakan kesetimbangan air. Perbedaan Model HBV dengan Model GenRiver terletak pada variabilitas dari *input*, proses, karakteristik dan *output* di dalam model.

Tujuan penelitian ini adalah mensimulasikan dampak perubahan lahan dan iklim dengan menggunakan model GenRiver.

Daerah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah DAS Konawehea Hulu di propinsi Sulawesi Tenggara dengan *outlet* di desa Auwa Jaya, kecamatan Asinua, kabupaten Konawe. Luas daerah tangkapan air DAS Konawehea Hulu adalah 2,856 km<sup>2</sup> dan panjang sungai dari daerah hulu ke *outlet* adalah 127 km (Gambar 1). DAS ini mempunyai peran penting di masa yang akan datang yaitu sebagai penyedia air pada bendungan Pelosika yang rencananya akan dibangun di wilayah tersebut. Tujuan dari pembangunan bendungan Pelosika tersebut adalah untuk membantu irigasi, penanggulangan banjir dan PLTA.

Isu strategis utama yang berkaitan dengan DAS Konawehea Hulu adalah mengenai proyek pembangunan bendungan Pelosika. Menurut rencana bendungan Pelosika yang memiliki luasan genangan 106.3 km<sup>2</sup> tersebut akan dibangun dengan menenggelamkan sekitar 14 desa yang ada di tiga kecamatan (Kecamatan Asinua, Latoma dan Uluwoi) dan dua kabupaten (Konawe dan Kolaka).



**Gambar 1** Lokasi DAS Konawehea hulu (hasil deliniasi citra)

## METODOLOGI

### Model GenRiver

Model Generic River Flow (GenRiver) merupakan suatu model sederhana yang mensimulasikan aliran sungai pada suatu DAS. GenRiver telah diaplikasikan pada berbagai kondisi DAS baik di Indonesia maupun di luar Indonesia dengan luasan antara 6.3 - 9,861 km<sup>2</sup> (Lusiana, et al. 2008a; Lusiana, et al. 2008b; Khasanah, et al. 2010; Nugroho 2010; Van Noordwijk, et al. 2011). Inti model Genriver adalah neraca air yang ada pada tingkat plot yang dihitung berdasarkan persamaan 1-10 yang kemudian dikonversi ke dalam tingkat DAS melalui jaringan sungai menggunakan persamaan 11.

#### Neraca air pada permukaan tanah:

$$\text{IntersepEvap} = \text{CanIntercAreaClass} * (1 - \exp(-P / \text{CanIntercAreaClass})) \quad (1)$$

$$\text{Infiltrasi} = \min(\text{SoilSatClass} - \text{SM}, \text{MaxInfArea} * \text{RainTimeAvForInf} / 24, P - \text{IntersepEvap}) \quad (2)$$

$$Q_0 = P - (\text{IntersepEvap} + \text{infiltrasi}) \quad (3)$$

#### Neraca air pada penyimpanan air tanah atas:

$$\text{SM} = \text{Infiltrasi} - (\text{ActEvapTrans} + Q_p + Q_1) \quad (4)$$

$$Q_p = \min(\text{MaxInfSubSArea}, \text{SM} * K_p, \text{MaxDynGWArea} - \text{GWArea}) \quad (5)$$

$$\text{ActEvapTrans} = (\text{PE}_a - \text{InterceptEffectonTransp} * \text{IntersepEvap}) * \text{RelWaterAv} \quad (6)$$

$$Q_1 = K_1 * (\text{SM} - L) \quad (7)$$

#### Neraca air pada penyimpanan air tanah bawah:

$$S_l = Q_p - Q_2 \quad (8)$$

$$Q_2 = S_l * K_2 \quad (9)$$

$$Q = Q_0 + Q_1 + Q_2 \quad (10)$$

dengan:

- P = curah hujan (mm/hari)
- IntersepEvap = intersepsi dan evaporasi (mm/hari)
- CanIntercAreaClass = Intersepsi per area tutupan lahan (mm/hari)
- SoilSatClass = selisih antara titik jenuh tanaman dengan kapasitas lapang (mm/hari)
- MaxInfArea = infiltrasi maksimum untuk setiap tutupan lahan (mm/hari)
- MaxInfSubSArea = perkolasi maksimum untuk setiap tutupan lahan (mm/hari)
- RainTimeAvForInf = waktu yang diperlukan untuk infiltrasi (jam)

- ActEvapTransp = aktual evapotranspirasi (mm/hari)
- MaxDynGWArea = kapasitas maksimum SI (mm/hari)
- Q = debit (mm/hari)
- Q<sub>0</sub>, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>perc</sub> = aliran permukaan (*overland flow*), aliran bawah permukaan (*interflow*), aliran dasar (*groundwater flow*) dan perkolasi (mm/hari)
- C = parameter model
- P<sub>eff</sub> = curah hujan efektif (mm/hari)
- SM = kandungan air dalam tanah/kelembaban tanah (mm/hari)
- PE<sub>a</sub>, E<sub>a</sub> = evapotranspirasi potensial dan aktual harian (mm/hari)
- K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>p</sub> = fraksi pelepasan Q<sub>0</sub>, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> dan Q<sub>perc</sub>

Selanjutnya, debit yang berasal dari masing-masing sub-DAS yang mempunyai curah hujan harian, tutupan lahan, jenis tanah dan jarak ke *outlet* sendiri digabungkan melalui parameter waktu yang diperlukan untuk sampai ke *outlet* (Van Noordwijk, et al. 2011).

$$t = \frac{s}{v \left( 3600 * \frac{24}{1000} \right)} \quad (11)$$

dimana *t* adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari pusat sub-DAS ke *outlet* akhir (hari), *s* adalah jarak tempuh air dari pusat sub-DAS ke *outlet* akhir (km) dan *v* adalah kecepatan aliran (m/s).

### Model HBV

Model HBV (*Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning*) merupakan model hidrologi yang dikembangkan oleh Institut meteorologi dan hidrologi Swedia (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute*). Model HBV terdiri dari empat modul utama: (1) model perhitungan pelelehan dan akumulasi dari salju; (2) modul kelembaban tanah dan curah hujan efektif; (3) modul evapotranspirasi; dan (4) modul respon aliran (Aghakouchak dan Habib, 2010). Modul pertama dalam HBV hanya digunakan pada wilayah-wilayah tertentu di mana terdapat salju di dalam daur hidrologinya. Modul ke empat mengenai respon aliran dimodelkan sebagai dua tangki reservoir.

**Data iklim, hidrologi dan spasial**

Ada tiga jenis data yang digunakan dalam Model GenRiver pada penelitian ini, yaitu data iklim, hidrologi dan spasial (Tabel 1). Data iklim dan data spasial digunakan sebagai masukan model, sedangkan data hidrologi digunakan untuk proses kalibrasi dan verifikasi model.

**Skenario Perubahan Tutupan Lahan dan Iklim**

Terdapat dua skenario perubahan tutupan lahan (LC) yang digunakan dalam penelitian ini, Skenario A dimana tidak terdapat perubahan tutupan lahan selama 21 tahun (LC(2030) = LC(2010)) dan Skenario BAU (*Business As Usual*) yang disusun berdasarkan persentase perubahan tutupan lahan yang terjadi dari tahun 1990-2010.

Skenario perubahan iklim yang pertama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu skenario perubahan iklim SRES (*Special Report on Emission Scenario*) A1F1 dan B1 yang dikeluarkan oleh IPCC (2007) untuk wilayah Asia Tenggara (Tabel 2).

Pemilihan Skenario A1F1 karena merupakan skenario dengan emisi paling tinggi di mana teknologi menggunakan bahan bakar fosil sangat intensif. Sebaliknya, Skenario B1 merupakan skenario dengan emisi terendah karena menggunakan teknologi yang bersih dan efisien (IPCC, 2007b).

Skenario perubahan iklim kedua terkait dengan perubahan besarnya rata-rata intensitas curah hujan pertahun, yaitu skenario intensitas curah hujan tinggi (I=70mm/jam) dan intensitas rendah (I=10mm/jam) dengan total curah hujan per tahunnya sama. Kedua nilai intensitas tersebut dihitung dengan menggunakan Persamaan 12.

$$I_{1,2} = \mu \pm 2.5 \sigma \tag{12}$$

dengan,  $\mu$  adalah intensitas rata-rata dan  $\sigma$  adalah standart deviasi.

**Tabel 1** Data iklim, hidrologi dan spasial DAS Konawehea yang tersedia

Data	Sumber	Periode	Tahun
Curah hujan	Stasiun Mowewe <sup>a)</sup>	Harian	2001-2006, 2008-2010
	Stasiun Abuki <sup>a)</sup>	harian	2001, 2006-2007, 2009-2010
	Model pembangkit curah hujan	harian	1990-2000, 2007
Evaporasi potensial	Stasiun Andowengga <sup>a)</sup>	Bulanan	2000-2004
Debit	Stasiun Amesiu <sup>a)</sup>	Harian	2010
DEM	CSI – CGIAR		
Peta sungai	Peta Dasar Tematik Kehutanan (PDTK)		
Peta tanah	Repprot		
Peta tutupan lahan	<i>World Agroforestry Centre (ICRAF)</i>	4 periode tahun	1990, 1000, 2005 dan 2010

a) diperoleh dari Balai Wilayah Sungai IV, Provinsi Sulawesi Tenggara.

**Tabel 2** Skenario perubahan iklim tahun 2025 berdasarkan IPCC (2007)

Bulan	Perubahan T (°C)		Perubahan P(%)	
	Skenario A1F1	Skenario Bi	Skenario AiF1	Skenario B1
Desember-Januari-Februari	0.86	0.72	-1	1
Maret-April-Mei	0.92	0.8	0	0
Juni-Juli-Agustus	0.83	0.74	-1	0
September-Oktober-November	0.85	0.75	-2	0

Keterangan: T = suhu, P = curah hujan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perubahan Tutupan Lahan**

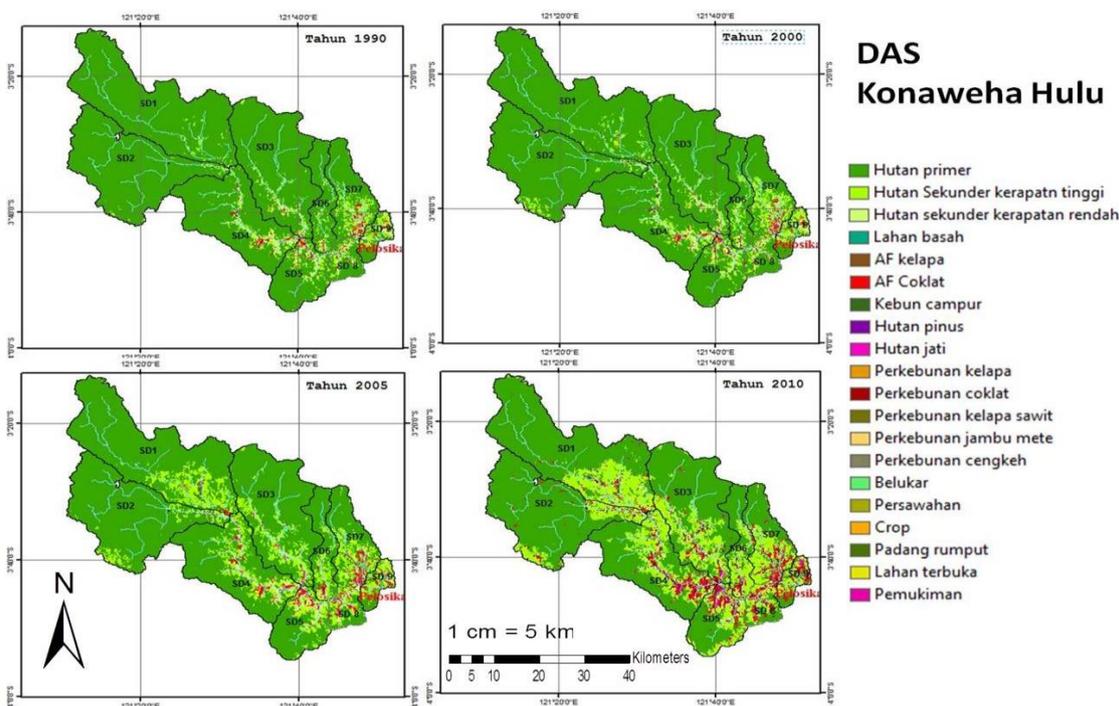
Hingga tahun 1990, tutupan lahan DAS Konaweha Hulu didominasi oleh area hutan primer sebesar 90%, hutan sekunder sebesar 7.5% dan sisanya berupa area agroforestri dan perkebunan (Gambar 2 dan Tabel 4). Selama 21 tahun (1990-2010), luas area hutan primer telah

mengalami penurunan sebesar 22.7%. Sedangkan luas area hutan sekunder mengalami peningkatan sebesar 16.5% sebagai akibat pembukaan hutan primer. Area agroforestri dan perkebunan yang didominasi oleh coklat mengalami peningkatan sebesar 5.5% (Tabel 4).

**Tabel 3** Gabungan skenario perubahan iklim dan tutupan lahan

		Skenario Perubahan Tutupan Lahan		
		Skenario A		Skenario BAU
Skenario Perubahan Iklim	A1F1	I=70	Skenario A-A1F1-(I=70)	BAU - A1F1-(I=70)
		I=10	Skenario A-A1F1-(I=10)	BAU - A1F1-(I=10)
	B1	I=70	Skenario A-B1-(I=70)	BAU - B1-(I=70)
		I=10	Skenario A-B1-(I=10)	BAU - B1-(I=10)

Keterangan: I = intensitas curah hujan (mm/jam), Skenario A = tidak ada perubahan tutupan lahan selama 21 tahun (tutupan lahan tahun 2010=tahun 2030), Skenario BAU (Business As Usual) = persentase perubahan tutupan lahan 2010-2030 merupakan ekstrapolasi dari perubahan tutupan lahan yang terjadi 21 tahun terakhir (1990-2010).



**Gambar 2** Perubahan tutupan lahan DAS Konaweha hulu tahun 1990, 2000, 2005 dan 2010 hasil analisis citra (Keterangan: AF=agroforestri)

**Tabel 4** Persentase luasan masing-masing tipe tutupan lahan DAS Konawehea Hulu dan perubahannya (luas area DAS Konawehea Hulu hasil analisis data spasial adalah 2,856 km<sup>2</sup>)

Tutupan lahan	Area (%)				Perubahan (%)			
	1990	2000	2005	2010	2000-1990	2005-2000	2010-2005	2010-1990
Hutan primer	90.0	87.2	78.9	67.3	-2.81	-8.30	-11.57	-22.69
Hutan sekunder <sup>1</sup>	4.6	6.6	13.2	20.2	1.98	6.59	7.08	15.65
Hutan sekunder <sup>2</sup>	2.9	3.1	3.6	3.6	0.25	0.50	-0.10	0.65
Lahan basah	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.01	0.01	-0.01	-0.02
AF Kelapa	0.1	0.3	0.4	0.2	0.18	0.05	-0.15	0.08
AF Coklat	0.9	0.8	1.5	3.3	-0.09	0.76	1.80	2.46
Kebun campuran	0.2	0.4	0.0	0.2	0.21	-0.32	0.15	0.05
Hutan pinus	0.0	0.0	0.1	0.5	0.00	0.05	0.46	0.51
Hutan jati	0.0	0.0	0.0	0.4	0.00	0.02	0.33	0.34
Kelapa <sup>3</sup>	0.2	0.2	0.1	0.0	0.02	-0.12	-0.05	-0.15
Coklat <sup>3</sup>	0.1	0.2	0.3	1.6	0.07	0.09	1.38	1.54
Kelapa sawit <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	0.2	0.00	0.02	0.19	0.21
Jambu mete <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.01	0.04	-0.03	0.01
Cengkeh <sup>3</sup>	0.1	0.2	0.5	0.4	0.10	0.35	-0.15	0.30
Belukar	0.4	0.3	0.5	0.5	-0.11	0.18	-0.05	0.02
Persawahan	0.1	0.2	0.2	0.2	0.10	-0.01	-0.03	0.06
Crop	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.01	-0.03	0.09	0.06
Padang rumput	0.0	0.1	0.2	0.2	0.05	0.08	0.04	0.17
Lahan terbuka	0.1	0.2	0.1	0.2	0.01	-0.05	0.08	0.04
Pemukiman	0.1	0.2	0.3	0.8	0.07	0.08	0.54	0.70

Keterangan : 1 = kerapatan tinggi, 2 = kerapatan rendah, 3 = perkebunan

**Kalibrasi dan Verifikasi**

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk menentukan nilai sekelompok parameter, sehingga hasil simulasi debit oleh model mendekati nilai debit yang sebenarnya (Kobold *et al.* 2008). Sedangkan verifikasi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendekati kondisi DAS yang sebenarnya. Kriteria yang digunakan untuk evaluasi kemampuan model, yaitu *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) (Moriasi 2007). Sebaran nilai NSE adalah  $(-\infty, 1)$ , di mana nilai (0.75, 1.00) berarti model mempunyai kemampuan yang sangat baik. Sedangkan nilai  $(-\infty, 0.5)$  berarti model belum dapat memsimulasikan kondisi sistem yang sebenarnya.

Data yang digunakan dalam proses kalibrasi dan verifikasi model adalah data debit di DAS Lahumbuti Abuki-Amesiu (1094 km<sup>2</sup>), yang merupakan salah satu Sub-DAS Konawehea. Proses kalibrasi menggunakan data bulan Januari-Juni tahun 2010, sedangkan proses verifikasi model menggunakan data debit bulan Juli-Desember

tahun 2010. Hal ini karena DAS tersebut mempunyai stasiun pengamatan curah hujan dan debit.

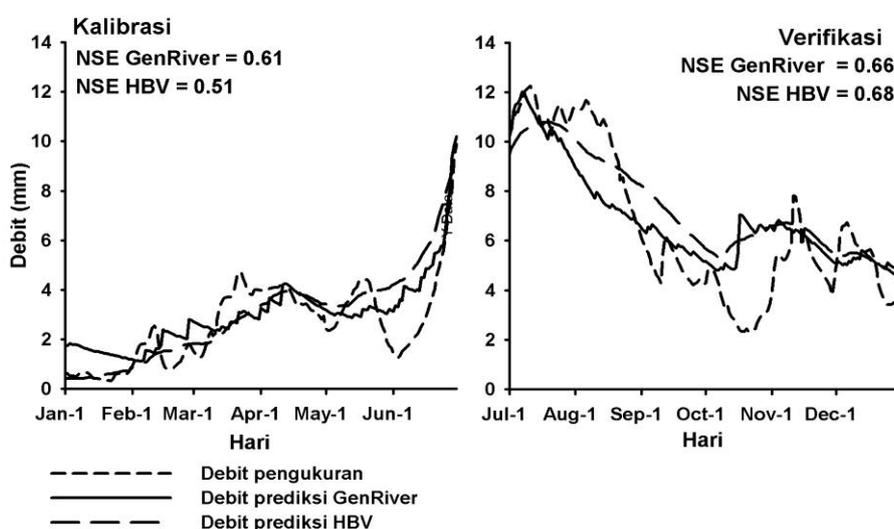
Hasil kalibrasi model GenRiver menghasilkan nilai NSE sebesar 0.61. Sedangkan hasil verifikasi model berdasarkan nilai-nilai parameter hasil dari proses kalibrasi menghasilkan nilai NSE sebesar 0.66. Proses kalibrasi dan model HBV dengan data-data pengukuran dilakukan dengan menggunakan perintah *solver* dalam *Ms. Excel*. Nilai NSE hasil kalibrasi dan verifikasi model HBV berturut-turut adalah sebesar 0.51 dan 0.68. Menurut Moriasi (2007), nilai NSE tersebut telah memiliki kriteria bahwa model tersebut telah dapat diterima dan dapat digunakan untuk mensimulasikan debit DAS Konawehea. Gambar 3 merupakan perbandingan hasil kalibrasi dan verifikasi model GenRiver dan HBV dengan data yang sebenarnya. Perlu diketahui bahwa musim hujan DAS Lahumbuti Abuki-Amesiu tahun 2010 berada pada bulan April-September dan musim kering berada pada bulan Oktober-Maret.

**Perbandingan Kinerja Model GenRiver dan HBV**

Perbandingan kinerja Model GenRiver dan HBV yang ditunjukkan melalui nilai NSE memperlihatkan bahwa nilai NSE Model GenRiver lebih tinggi dari pada Model HBV walaupun tidak terlalu signifikan (hanya 0.02). Debit hasil simulasi Model GenRiver juga mendekati neraca air hasil simulasi Model HBV (Tabel 5 dan 6). Hasil ini menunjukkan bahwa Model GenRiver memiliki kemampuan yang setara dengan Model HBV dalam prediksi debit DAS Konawehea Hulu. Namun demikian masih terdapat adanya perbedaan dalam prediksi besarnya aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar antara Model GenRiver dan HBV. Hal ini disebabkan kalibrasi

kedua model hanya dengan menggunakan data debit saja sehingga diperlukan pengukuran lebih lanjut agar dapat memodelkan aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar secara lebih akurat.

Perubahan neraca air DAS Konawehea Hulu hasil simulasi Model GenRiver dan HBV memperlihatkan bahwa hasil prediksi Model HBV tidak menunjukkan banyak perubahan dalam 21 tahun simulasi (1990-2010) dibandingkan hasil prediksi Model GenRiver (Gambar 4). Hal ini dikarenakan dalam Model GenRiver terdapat parameter tutupan lahan yang akan berpengaruh terhadap perubahan evapotranspirasi aktual dan debit.



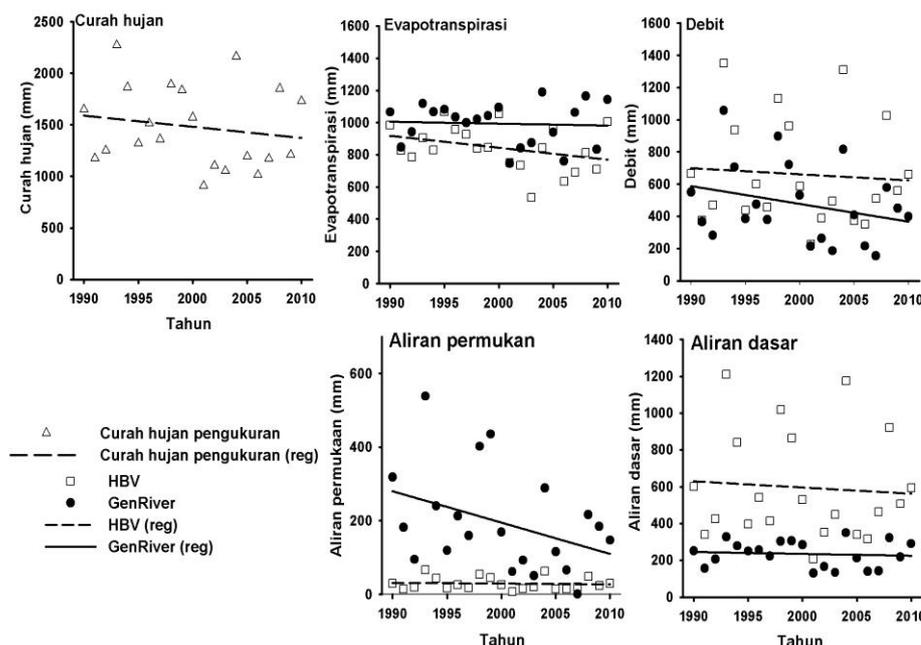
**Gambar 3** Perbandingan debit harian Model GenRiver, HBV dan data observasi di DAS Lahumbuti Abuki-Amesiu tahun 2010 hasil proses kalibrasi dan verifikasi model

**Tabel 5** Perbandingan komponen neraca air hasil simulasi Model GenRiver dan HBV di DAS Lahumbuti Abuki-Amesiu tahun 2010

Komponen Neraca Air	GenRiver	HBV
Curah hujan (mm)	3285	3285
Evapotranspirasi (mm)	1197	1197
Debit di Stasiun Amesi (mm)	1765	1765
Debit Simulasi (mm)	1807	1883
NSE	0.79	0.77
Bias (%)	6.47	10.89
Aliran permukaan (mm) ( <i>overland flow</i> )	1150	98
aliran bawah permukaan (mm) ( <i>interflow</i> )	301	105
Aliran dasar (mm) ( <i>groundwater flow</i> )	500	1680

**Tabel 6** Perbandingan komponen neraca air hasil simulasi Model GenRiver dan HBV di DAS Konawehea Hulu tahun 2010

Komponen Neraca Air	GenRiver	HBV
Curah hujan (mm)	1732	1732
Evapotranspirasi (mm)	1117	1007
Debit Simulasi (mm)	437	661
Aliran permukaan (mm) ( <i>overland flow</i> )	147	30
aliran bawah permukaan (mm) ( <i>interflow</i> )	6	37
Aliran dasar (mm) ( <i>groundwater flow</i> )	339	595



**Gambar 4** Perbandingan neraca air hasil prediksi Model GenRiver dan HBV di DAS Konawehea Hulu tahun 1990-2010

**Dampak Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Neraca Air dan Ketersediaan Air Tahun 1990-2010**

Secara umum neraca air DAS Konawehea Hulu selama 21 tahun (1990-2010) memiliki rata-rata tahunan evapotranspirasi sebesar 993.4 mm (73%), aliran permukaan sebesar 195.1 mm (6%), aliran bawah permukaan sebesar 49.9 mm (5%) dan aliran dasar sebesar 235.1 mm (16%) dengan total curah hujan bervariasi antara 907.1 – 2270.2 mm.

Hasil simulasi tiga periode perubahan tutupan lahan (periode I: 1990-2000; periode 2: 2000-2005; periode 3: 2005-2010) memperlihatkan adanya kecenderungan turun pada evapotranspirasi dan kecenderungan naik pada debit sungai. Perbedaan pada ketiga periode terletak pada besarnya tingkat kenaikan dan penurunan dari dua parameter tersebut (Gambar 5).

Tingkat penurunan evapotranspirasi per tahun pada tiga periode berbanding lurus dengan tingkat deforestasi pada masing-masing periode, semakin tinggi deforestasi maka evapotranspirasi akan semakin menurun. Namun hal tersebut tidak berlaku pada tingkat perubahan debit sungai. Tingkat perubahan debit bergantung pada besarnya perubahan yang terjadi pada aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar yang berhubungan dengan kondisi tutupan hutan. Periode 1 memperlihatkan bahwa peningkatan aliran dasar lebih tinggi dari pada aliran permukaan. Hal ini disebabkan karena area tutupan hutan primer mencapai 90% sehingga curah hujan efektif yang berkontribusi pada aliran permukaan ( $P_e$ ) lebih kecil dibanding dua periode yang lain. Akibatnya, tingkat perubahan yang terjadi pada aliran permukaan dan aliran bawah permukaan tidak sebesar tingkat perubahan yang terjadi pada aliran dasar. Periode 2 dan 3, di mana

terjadi pembukaan area hutan primer sebesar 8.3% dan 11.6% dalam 5 tahun menyebabkan terjadinya peningkatan  $P_e$ . Hal ini karena kondisi tanah lebih cepat jenuh dan terjadi peningkatan aliran permukaan yang lebih besar. Sebaliknya, tingkat aliran dasar mengalami penurunan karena berkurangnya air yang diinfiltrasikan ke dalam tanah (Gambar 5).

### Dampak Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2010-2030

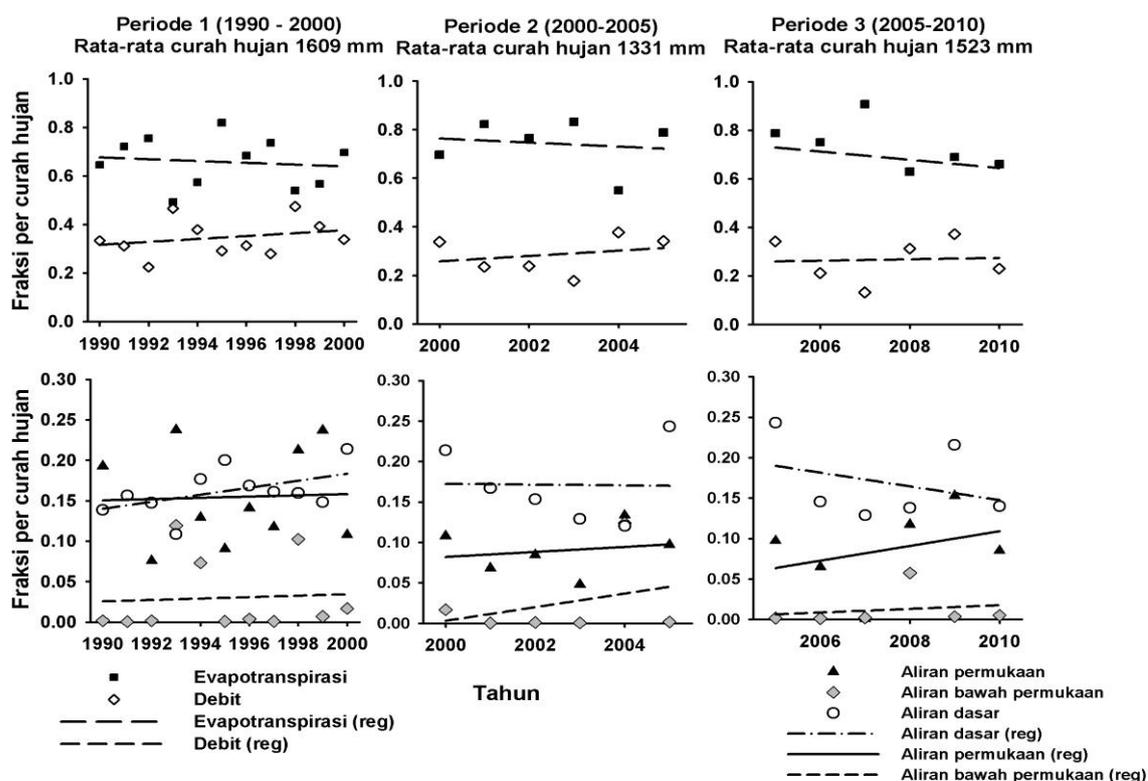
Dampak perubahan tutupan lahan berdasarkan Skenario BAU yang terjadi di DAS Konawehea Hulu selama 21 tahun (2010-2030) memperlihatkan adanya tren meningkat pada aliran permukaan dan tren menurun pada aliran dasar dan aliran bawah permukaan (Gambar 6). Jika dibandingkan dengan kondisi dimana tidak terjadi perubahan tutupan lahan selama 21 tahun mendatang (tutupan lahan tahun 2030=2010), perbedaan paling signifikan terjadi pada perubahan besarnya evapotranspirasi, debit dan aliran permukaan. Kedua skenario tutupan lahan (Skenario BAU dan skenario dimana tidak ada perubahan tutupan lahan) menyebabkan terjadinya tren penurunan debit. Akan tetapi

tingkat penurunan debit pada Skenario BAU lebih kecil jika dibandingkan dengan kondisi dimana tidak ada perubahan tutupan lahan. Hal ini merupakan hasil kontribusi dari peningkatan aliran permukaan (Gambar 7).

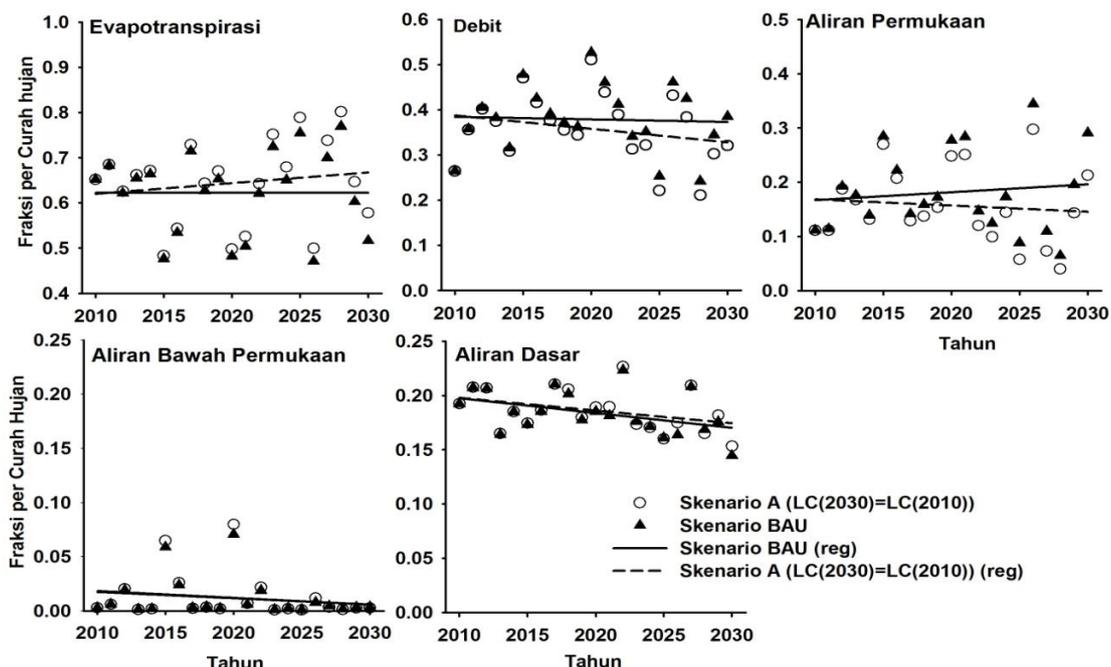
Lebih jauh lagi, Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin besar debit maka aliran permukaan pada Skenario BAU lebih besar daripada kondisi tanpa adanya perubahan tutupan lahan. Sebaliknya, semakin besar debit yang dihasilkan maka aliran bawah permukaan dan aliran dasar yang dihasilkan pada Skenario BAU lebih kecil dari pada kondisi tanpa perubahan tutupan lahan (Gambar 7).

### Dampak Perubahan Iklim Tahun 2010-2030

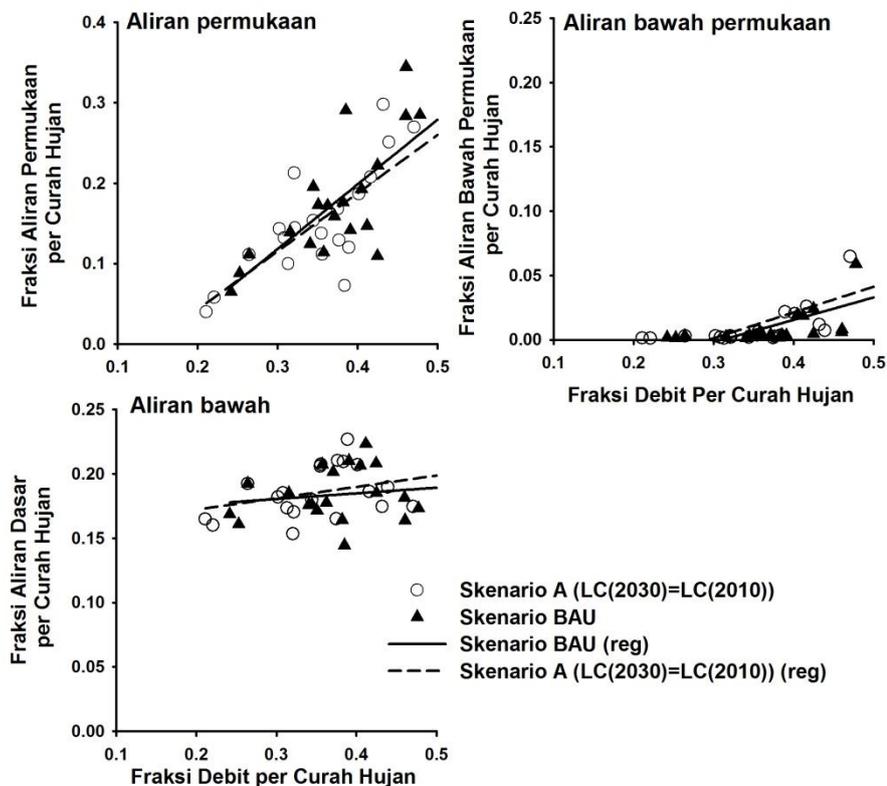
Dampak perubahan iklim pada 21 tahun mendatang (2010-2030) berdasarkan Skenario IPCC A1F1 dan B1 menunjukkan tidak terjadinya perubahan yang signifikan pada neraca air DAS Konawehea Hulu (Gambar 8). Hal ini juga dibuktikan dengan nilai  $p$  ( $p$ -value) dari uji-t antara debit Skenario A1F1 dan B1 adalah sebesar 0.576 (tidak ada bukti yang cukup untuk menolak hipotesis bahwa debit Skenario A1F1 sama dengan debit B1).



Gambar 5 Fraksi evapotranspirasi dan debit per curah hujan tahun 1990-2010



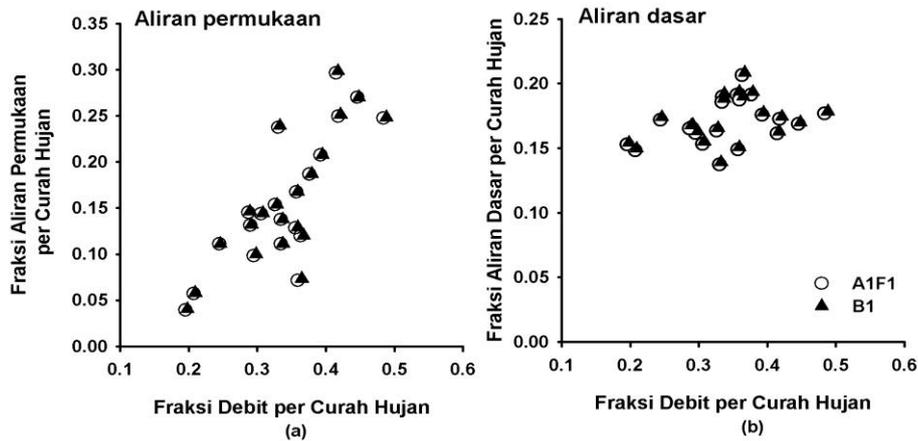
**Gambar 6** Tren perubahan masing-masing komponen neraca air di DAS Konawehea Hulu selama 21 tahun (2010-2030) akibat perubahan tutupan lahan (LC) hasil simulasi Skenario BAU dan Skenario A (tidak ada perubahan tutupan lahan selama 21 tahun ke depan atau LC(2030)=LC(2010)) dengan menggunakan Model GenRiver



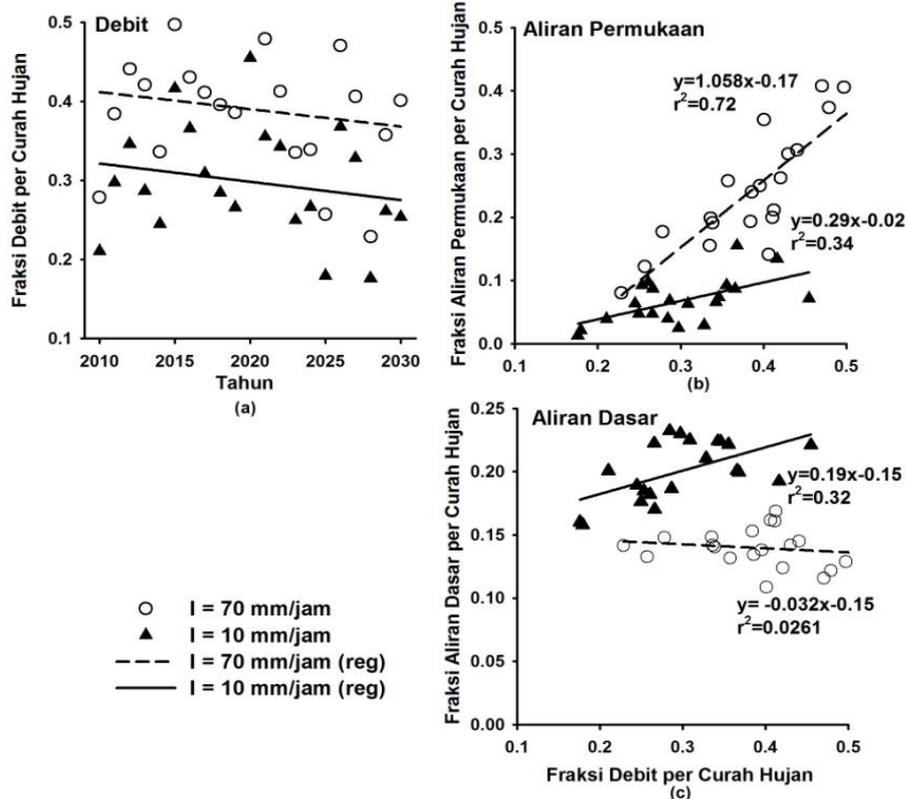
**Gambar 7** Tren perubahan masing-masing aliran terhadap perubahan debit di DAS Konawehea Hulu hasil simulasi Skenario BAU dan Skenario A (tidak ada perubahan tutupan lahan (LC) selama 21 tahun ke depan atau LC(2030)=LC(2010)) dengan menggunakan Model GenRiver

Hasil simulasi skenario perubahan iklim lain yang terkait dengan perubahan besarnya intensitas curah hujan ditunjukkan oleh Gambar 8. Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa besarnya intensitas curah hujan mempunyai pengaruh yang kecil terhadap besarnya debit yang masuk ke dalam *outlet* (Gambar 9a). Namun besarnya intensitas curah hujan sangat berpengaruh pada besarnya aliran permukaan

yang dihasilkan (Gambar 9b). Hal ini juga dibuktikan dengan nilai  $r^2$  skenario  $I=70\text{mm/jam}$  lebih besar dibandingkan  $r^2$  skenario  $I=10\text{mm/jam}$ . Peningkatan aliran permukaan ini karena intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan tanah menjadi lebih cepat jenuh, sehingga lebih banyak curah hujan yang menjadi aliran permukaan.



**Gambar 8** Perbandingan perubahan aliran permukaan (a) dan aliran dasar (b) terhadap debit, hasil simulasi Skenario A1F1 dan B1 dengan menggunakan Model GenRiver



**Gambar 9** Tren perubahan debit (a), perbandingan perubahan aliran permukaan (b) dan aliran dasar (c) terhadap debit, hasil simulasi perubahan intensitas curah hujan dengan Model GenRiver

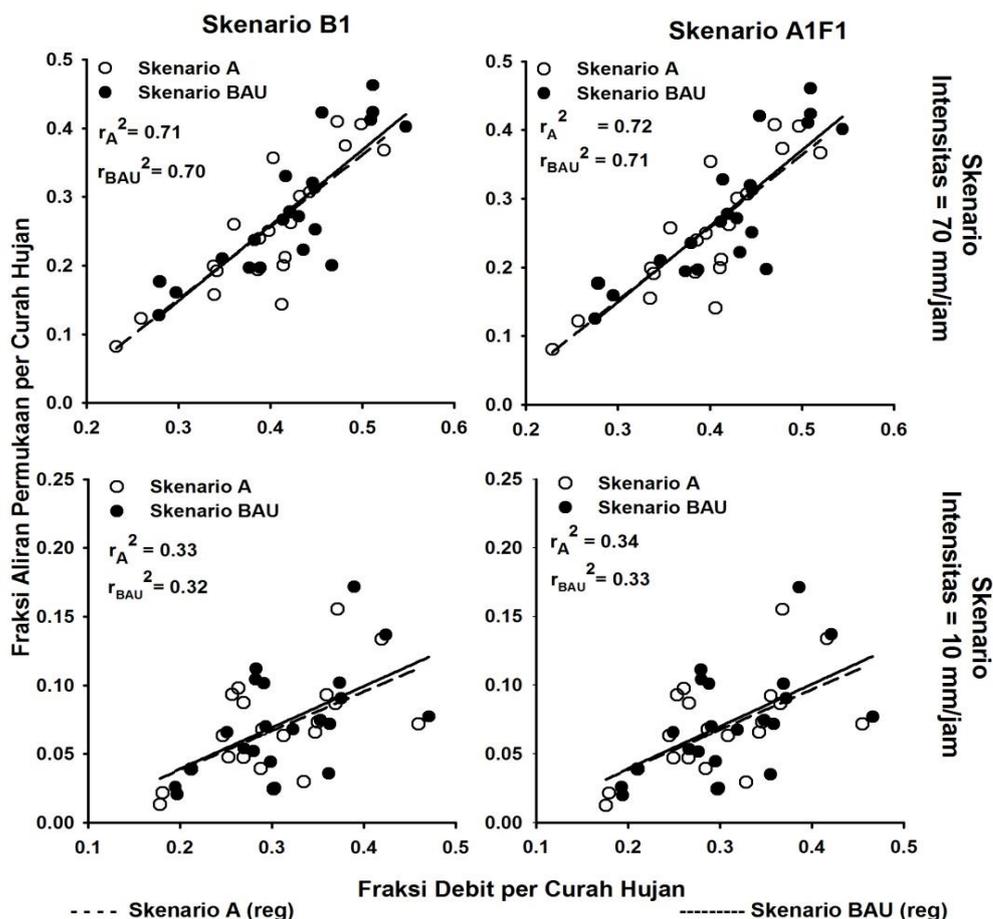
**Analisis skenario Perubahan Tutupan Lahan dan Iklim Terhadap Neraca Air Tahun 2010-2030**

Hasil simulasi penggabungan antara skenario perubahan iklim dan lahan memperlihatkan bahwa skenario perubahan jumlah curah hujan dan suhu (Skenario IPCC) tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap aliran permukaan. Namun perubahan rata-rata intensitas curah hujan dalam satu tahun (tidak ada perubahan jumlah curah hujan tahunan) membawa dampak lebih besar terhadap neraca air, terutama aliran permukaan. Sedangkan perubahan tutupan lahan juga memberikan kontribusi terhadap perubahan neraca air walaupun tidak sebesar intensitas curah hujan (Gambar 10).

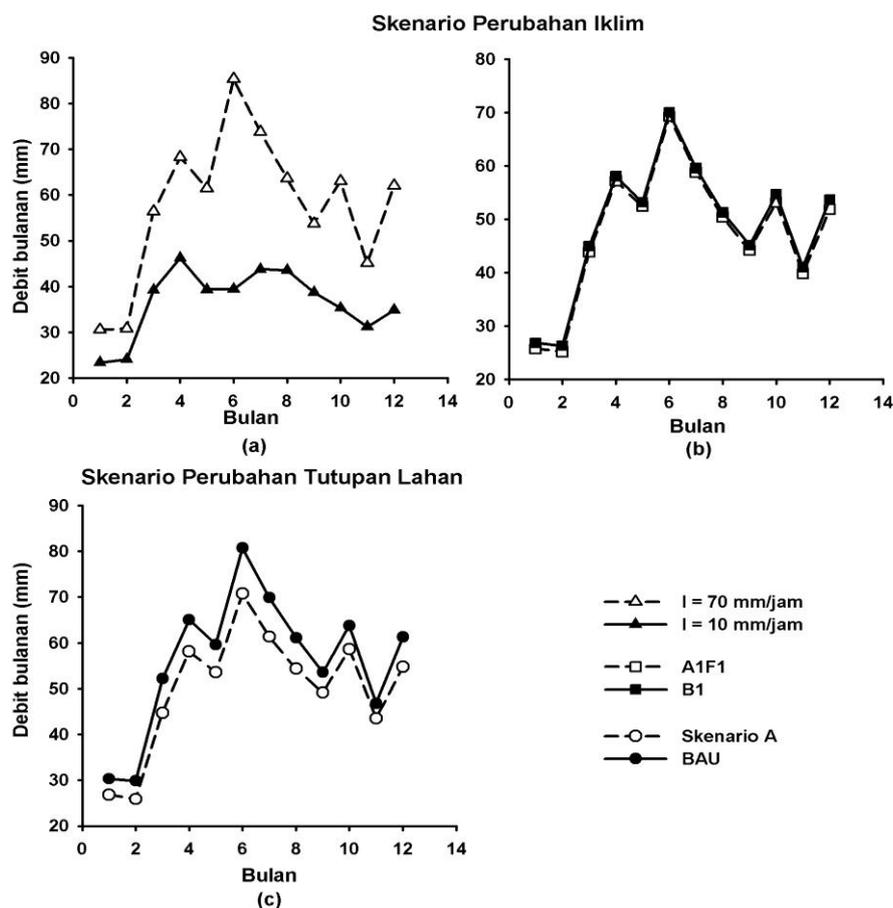
Perbandingan hidrograf akibat perubahan iklim yang disebabkan perubahan variasi curah hujan menyebabkan terjadinya perubahan pada variasi musiman proses hidrologi (Gambar 11a)

(Ma, *et al.* 2009). Intensitas curah hujan yang tinggi pada musim penghujan menyebabkan terjadi peningkatan debit yang lebih besar dibandingkan pada musim kering. Peningkatan debit ini merupakan kontribusi dari peningkatan aliran permukaan akibat berkurangnya kecepatan infiltrasi karena tanah lebih cepat menjadi jenuh.

Sebaliknya perubahan tutupan lahan (Gambar 11c) memperlihatkan bahwa perubahan tutupan lahan menyebabkan terjadinya perubahan pada total debit tahunan. Skenario BAU memiliki debit tahunan yang lebih tinggi dibandingkan skenario dimana tidak terjadi perubahan tutupan lahan. Hal ini terlihat dari peningkatan debit yang cenderung merata pada setiap musimnya. Kondisi ini disebabkan oleh perubahan banyaknya curah hujan yang diintersepsi, dievapotranspirasi dan sisanya diinfiltrasikan karena perubahan tutupan lahan.



**Gambar 10** Perbandingan perubahan aliran permukaan terhadap debit, hasil simulasi skenario perubahan tutupan lahan dan iklim selama 21 tahun (2010-2030) di DAS Konawehea Hulu hasil simulasi Model GenRiver



**Gambar 11** Debit bulanan tahun 2030 pada skenario perubahan iklim AiF1 dan B1 (a dan b) dan pada skenario perubahan tutupan lahan (Skenario A dan BAU) (c)

## KESIMPULAN

Berdasarkan data-data iklim, hidrologi dan spasial serta hasil simulasi Model GenRiver dan HBV, dapat disimpulkan:

Model GenRiver memiliki kinerja yang setara dengan Model HBV dalam memodelkan debit air di DAS Konawehea. Hal ini dibuktikan dengan selisih nilai NSE kedua model tersebut adalah 0.02.

Model hidrologi dapat digunakan untuk mensimulasikan dampak perubahan tutupan lahan dan iklim terhadap fungsi hidrologi. Hal ini dilakukan dengan mensimulasikan berbagai skenario perubahan tutupan lahan dan iklim dengan menggunakan suatu model hidrologi.

Perubahan iklim memberikan pengaruh terhadap pola dan besarnya debit musiman. Namun demikian perubahan iklim karena perubahan rata-rata intensitas curah hujan memberikan pengaruh yang lebih signifikan dibanding perubahan iklim karena perubahan jumlah curah hujan dalam satu tahun. Sedangkan

perubahan tutupan lahan memberikan pengaruh terhadap besarnya debit tahunan. Oleh karena itu, kegiatan pengelolaan DAS seharusnya tidak hanya dilakukan terkait dengan perubahan tutupan lahan tetapi juga terhadap perubahan iklim.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aghakouchak A dan Habib E. 2010. Application of Conceptual Hydrologic Model in Teaching Hydrologic Processes. *Int. J.Engng* 26(4):963-973.
- [IPCC], 2007, Climate Change 2007: Regional Climate Projections, IPCC Secretariat: Geneva.
- Khasanah K, Mulyoutami E, Ekadinata A, Asmawan T, Tanika L, Said Z, Van Noordwijk M, Leimona B. 2010. *A Study of Rapid Hydrological Appraisal in the Krueng Peusangan Watershed, NAD, Sumatra*. Working paper nr.123. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre.

- Kobold M, Suselj K, Polajnar j, 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.*
- Kryanova, V. dan Bronstert, A., 1999, Modelling River Discharge for Large Drainage Basin: From Lumped to distributed Approach, *Hydrological Science-Jurnal-des Sciences Hydrologiques* 44(2): 313-331.
- Lusiana B, Widodo R, Mulyoutami E, Nugroho DA, Van Noordwijk M. 2008a. *Assessing Hydrological Situation of Kapuas Hulu Basin, Kapuas Hulu Regency, West Kalimantan.* Working Paper No. 57. Bogor, World Agroforestry Centre.
- Lusiana B, Widodo R, Mulyoutami E, Nugroho DA and Van Noordwijk M. 2008b. *Assessing Hydrological Situation of Talau Watershed, Belu Regency, East Nusa Tenggara.* Working Paper No. 58. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre.
- Ma X, Xu J, Luo Y, Aggarwal SP, Li J. 2009. Response of hydrological processes to land-cover and climate changes in Kejie Watershed, South-west China. *Hydrol. Process.* 23(8):1179-1191.
- 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.
- Nugroho P. 2010. *Prediksi Perubahan Neraca Air Nengan Model GenRiver (Studi Kasus di Sub DAS Goseng Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah)* [tesis]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Van Noordwijk M, Widodo RH, Farida A, Suyamto DA, Lusiana B, Tanika L, Khasanah N. 2011. *GenRiver and FlowPer User Manual Version 2.0.* Bogor. Bogor Agroforstry Centre Southeast Asia Regional Program.
- 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.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis dengan penuh rasa terima kasih memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian ini. Terutama kepada *Canadian International Development Agency (CIDA)* melalui proyeknya *Agroforestry and Forestry (AgFor)* yang dilakukan di Sulawesi Tenggara atas dukungan penuh terkait dana penelitian. Juga kepada Balai Wilayah Sungai IV atas bantuan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat membawa manfaat bagi semua pihak.