

## KONDISI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI BALANGTIENG AKIBAT PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

### *THE IMPACT OF LAND USE CHANGE TO THE HIDROLOGICAL CONDITION OF BALANGTIENG WATERSHED*

Edy Junaidi<sup>1)</sup>, M. Siarudin<sup>2)</sup>, Yonky Indrajaya<sup>3)</sup>, dan Ary Widiyanto<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan  
<sup>2,3,4)</sup> Balai Penelitian Teknologi Agroforestry  
Kawasan Puspitek Gedung 210, Serpong – Tangerang, Indonesia  
E-Mail: ejunad75@gmail.com

Diterima: 22 Januari 2016; Direvisi: Februari 2016; Disetujui: 30 Mei 2016

#### **ABSTRAK**

*Perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi kondisi hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelitian ini bertujuan menilai kondisi hidrologi DAS akibat perubahan penggunaan lahan. Perubahan lahan menggunakan empat skenario yaitu (1) skenario 1, penggunaan lahan sesuai peta tahun 2009, (2) skenario 2 perubahan 50% penggunaan lahan, pola agroforestry coklat - kopi menjadi pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir, (3) skenario 3 perubahan 25 % penggunaan lahan, pola agroforestry coklat - kopi menjadi pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS, (4) skenario 4 perubahan 50% penggunaan lahan, pola agroforestry coklat - kopi menjadi pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS dengan penurunan laju deforestasi 50% dan (5) skenario 5 perubahan 25 % penggunaan lahan, pola agroforestry coklat - kopi menjadi pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS dengan penurunan laju deforestasi 50%. Pendugaan neraca air menggunakan model GenRiver. Hasil menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan skenario 1 dan 2 tidak mempengaruhi kondisi hidrologi DAS, tetapi perlu diwaspadai terjadinya banjir. Penurunan tingkat deforestasi (skenario 3 dan 4) dapat lebih memperbaiki kondisi hidrologi DAS dan menjaga debit puncak pada musim hujan.*

**Kata kunci:** Hidrologi, DAS, perubahan penggunaan lahan

#### **ABSTRACT**

*Changes in land use may affect the hydrology of a watershed. This study aims to assess the hydrological conditions due to land use changes. The hydrological condition was predicted under four scenarios: (1) scenario 1, land use condition as in map 2009; (2) Scenario 2 is a change of 50% cocoa-coffee agroforestry to clove system in upstream area, and to monoculture rubber system in the middle and downstream area; (3) Scenario 3 is a change of 25% cocoa-coffee agroforestry to clove system in upstream area, and to monoculture rubber system in the middle and downstream area; (4) Scenario 4 is a change of 50% cocoa-coffee agroforestry to clove system in upstream area, and to monoculture rubber system in the middle and downstream area with a reduction of deforestation rate by 50%; and (5), Scenario 5 is a change of 25% cocoa-coffee agroforestry to clove system in upstream area, and to monoculture rubber system in the middle and downstream area with a reduction of deforestation rate by 50%. The prediction of water balance was measured using GenRiver model. Result shows that land use changes under scenario 1 and 2 do not affect the hydrological conditions, but need to watch out for the occurrence of flash floods. Reduction of deforestation rate in scenarios 3 and 4 can further improve the watershed hydrological conditions and maintain peak discharge during the rainy season.*

**Keywords:** Hidrology, watershed, land use change

## PENDAHULUAN

DAS Balangtieng merupakan salah satu DAS di Wilayah Sungai (WS) Jeneberang, Sulawesi Selatan. Hasil analisis citra landsat tahun 1989 - 2009, penggunaan lahan pola agroforestry di DAS Balangtieng cukup berkembang, meliputi 57% dari seluruh wilayah DAS Balangtieng (Siarudin *et al.*, 2014). Pola agroforestry yang berkembang di DAS Balangtieng meliputi : pola agroforestry coklat-kopi, pola agroforestry kelapa, pola agroforestry jambu mete, pola agroforestry cengkeh, pola agroforestry randu serta pola agroforestry kebun campuran dan gmelina.

Perubahan penggunaan lahan yang terdapat pada DAS akan mempengaruhi kondisi hidrologi DAS tersebut. Penanaman pohon (termasuk dalam sistem agroforestri) dapat mengurangi terjadinya perubahan muka air tanah (*water table*) yang cukup nyata dalam sistem aliran bawah permukaan (Smettem and Harper, 2009). Penelitian tentang bagaimana respon perubahan penggunaan lahan (seperti vegetasi) terhadap hasil air telah banyak dilakukan (Bruijnzeel, 1990; Andreassian, 2004; Bruijnzeel, 2004).

Perencanaan penggunaan lahan dalam pengelolaan DAS akan mempengaruhi proses lingkungan dan ekosistem, seperti aliran air permukaan, hasil sedimen dan konsentrasi nutrisi, tetapi juga mempengaruhi nilai-nilai sosial dan ekonomi dalam skala DAS (Fukunaga *et al.*, 2015; Qi dan Altinakar, 2011). Perencanaan penggunaan lahan yang baik dalam pengelollan DAS, dapat mengurangi sedimentasi dan banjir, serta meningkatkan keseimbangan air, kualitas air dan rata-rata debit sungai (Fukunaga *et al.*, 2015; Shi *dkk.*, 2012; Lin *dkk.*, 2011; Mahmoud *dkk.*, 2011; Bormann *dkk.*, 2007; Wheeler dan Evans, 2009; Zampella *dkk.*, 2007 dan Zhang *dkk.*, 2008).

## KAJIAN PUSTAKA

Model hidrologi berbasis komputer merupakan alat penting untuk perencanaan, pengembangan, dan manajemen sumber daya air karena penggunaan model hidrologi memungkinkan simulasi jangka panjang efek perencanaan penggunaan lahan pada manajemen pengelolaan DAS (Singh dan Woolhiser, 2002).

Pada penelitian ini untuk melihat pengaruh perencanaan penggunaan lahan dengan memanfaatkan model hidrologi GenRiver. Model GenRiver (Generic River Flow) merupakan salah

satu model hidrologi semi distributed yang dikembangkan oleh ICRAF Asia Tenggara, untuk mensimulasikan kondisi neraca air suatu DAS akibat adanya perubahan penggunaan lahan (Farida dan van Noordwijk, 2004, van Noordwijk *et al.*, 2003, Van Noordwijk *dkk.*, 2011). Model ini telah diaplikasikan pada berbagai kondisi DAS dengan luasan 6,3 - 9,861 km<sup>2</sup>, baik di Indonesia maupun di luar Indonesia (Lusiana *et al.*, 2008; Van Noordwijk, *et al.* 2011)

Penelitian ini bertujuan menilai kondisi hidrologi DAS akibat perubahan penggunaan lahan di DAS Balangtieng. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi bagi pengambil kebijakan di Kabupaten Bulukumba, Bantaeng dan Sinjai dalam menentukan arah perencanaan tata ruang.

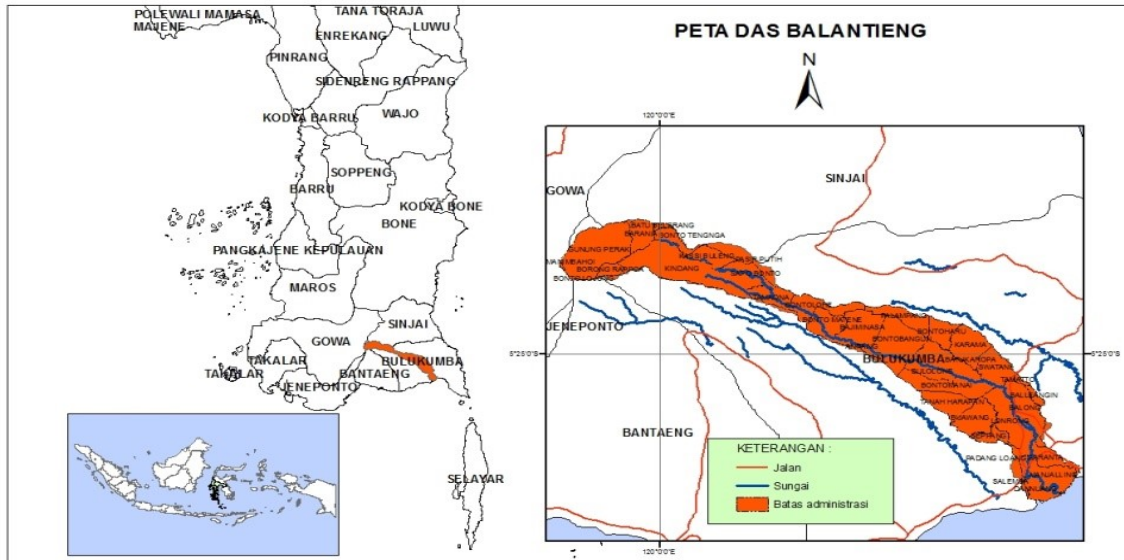
Lokasi penelitian berada di DAS Balangtieng yang terletak di Propinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1). DAS Balangtieng, secara geografis terletak pada 121o BT dan 5<sup>o</sup>25' LS, mempunyai luas sekitar 202,35 km<sup>2</sup> dan panjang sungai utama sekitar 53,39 km. Secara administratif DAS Balangtieng terdapat terdapat pada 37 desa dalam 6 Kecamatan di bawah Kabupaten Bulukumba, dan sebagian kecil juga terletak di 3 Kabupaten lainnya yaitu di Sulawesi Selatan, yaitu Kabupaten Bantaeng, Kabupaten Gowa dan Kabupaten Sinjai.

DAS ini dipilih karena merupakan salah satu DAS dengan tutupan lahan hutan yang masih relatif terjaga dengan luasan sekitar 20,39 % dari luas DAS dan berkembang pola agroforestry di hutan rakyat yang cukup pesat (52,46 % dari luas DAS).

## METODOLOGI

### Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer mengenai karakteristik penggunaan lahan dan karakteristik jenis tanah; dan data sekunder yang terdiri atas data iklim, data hidrologi dan data spasial. Sedangkan alat yang digunakan adalah komputer dengan *software stella 9.14*, sebagai *alat* untuk menjalankan model GenRiver), *software model GenRiver* untuk 20 land cover, digunakan untuk menilai perubahan aliran sungai sebagai akibat adanya perubahan tutupan lahan, *software rainfall simulator 1.0*, sebagai alat untuk memprediksi besarnya curah hujan harian dengan membandingkan dengan data hujan tahunan aktual), GPS dan alat tulis menulis.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Tabel 1 Data iklim, hidrologi dan spasial DAS Balangtieng

Data	Sumber	Periode	Keterangan
Curah hujan	St. Bonto Ngiling	Harian	Tahun 1990-2010
	St. Bulu-bulo Galung	Harian	Tahun 1990-2010
	St. Onto	Harian	Tahun 1990-2010
	St. Padang Loang	Harian	Tahun 1990-2010
Suhu	St. Matajang	Harian	Tahun 1993-2011
Debit sungai	St. Bonto Manai	Harian	Tahun 1990-2010
DEM	US Geological Survey		
Peta jaringan sungai	Peta dasar tematik kehutanan		
Peta tanah	Pusat penelitian tanah		
Peta penggunaan lahan (Gambar 2)	World Agroforestry Centre (ICRAF)	3 periode	Tahun 1989, 1999 dan 2009

### Persiapan data

Jenis data yang diperlukan berupa data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui ground check, pengamatan langsung di lapangan dan pengambilan sampel. Data primer yang diperlukan berupa karakteristik penggunaan lahan (meliputi data evapotranspirasi potensial harian, potensial evapotranspirasi dan ambang batas kekeringan) dan karakteristik jenis tanah (meliputi data tekstur tanah, kandungan bahan organik dan bulk density). Sedangkan data sekunder yang diperoleh dari studi literatur berupa data iklim (curah hujan wilayah dan evapotranspirasi

potensial (PET) ), data hidrologi berupa debit sungai dan data spasial (peta jaringan sungai, peta tutupan lahan dan peta jenis tanah). Jenis data, sumber dan periode waktu untuk data primer dapat dilihat pada Tabel 1. Data hujan tahun 1989 dan 2011 sampai 2020 diprediksi dengan menggunakan rainfall simulator.

### Penggunaan model GenRiver

#### 1 Kalibrasi dan validasi model

Kalibrasi model adalah untuk menduga nilai parameter-parameter dalam model, sehingga hasil simulasi debit oleh model mendekati nilai debit yang sebenarnya (Kobold, 2008). Terdapat

13 parameter yang harus dikalibrasi dalam model GenRiver yaitu : (a) RainInterceptDriprt, (b) RainMaxIntDripDur (c) InterceptEffectontrans, (d) RainIntensMean, (e) RainIntensCoefVar, (f) MaxInfRate, (g) MaxiIfSubsoil, (h) PerFracMultiplier, (i) MaxDynGrWatStore, (j) GWReleaseFracVar, (k) Turtoisity, (l) Dispersa Factor, dan (m) River Velocity. Sedangkan validasi bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendekati kondisi DAS yang sebenarnya. Kalibrasi dan validasi model dijalankan untuk periode waktu tahun 1989 – 2009.

Kriteria statistik yang digunakan kalibrasi dan validasi model yaitu koefisien Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), koefisien korelasi (r) dan koefisien bias. Nilai koefisien NSE menggambarkan seberapa tepat perbandingan antara debit hasil simulasi dengan debit pengamatan. Sebaran nilai NSE adalah  $(-\infty 1)$ , dimana nilai 1 berarti cocok secara sempurna (Moriassi, 2007). Persamaan perhitungan NSE, sebagai berikut :

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qs_i - Qm_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qs_i - \bar{Q}m_i)^2} \dots\dots\dots (1)$$

- Dengan :  $Qs_i$  = Nilai simulasi model
- $Qm_i$  = Nilai observasi
- $\bar{Q}m_i$  = Rata-rata nilai observasi
- $n$  = Jumlah data

Sedangkan r menggambarkan kemiripan nilai antara debit hasil simulasi dengan debit pengamatan. Nilai koefisien bias menggambarkan selisih volume antara debit hasil simulasi dengan debit pengamatan. Nilai minimal statistik yang dapat menunjukkan bahwa model dapat diterima dan dapat digunakan untuk mensimulasikan neraca air DAS yaitu,  $NSE \geq 0,5$ ,  $bias \geq 25 \%$  dan  $r \geq 0,6$ .

**Skenario perubahan penggunaan lahan**

Skenario perubahan penggunaan lahan dilakukan untuk melihat dampak dari perubahan penggunaan lahan terhadap neraca air dan kondisi hidrologi DAS. Skenario perubahan penggunaan lahan berdasarkan informasi perkembangan pola agroforestry yang diperoleh dari masyarakat dan asumsi yang digunakan oleh penulis.

Untuk melihat pengaruh perubahan lahan akibat skenario yang dilakukan, model Genriver dijalankan untuk periode waktu 2010 - 2020. Terdapat 5 skenario perubahan penggunaan lahan yang masing-masing perubahan luasan dapat dilihat pada Tabel 2, yaitu

Skenario 1 (S1), kondisi aktual diasumsikan tidak terjadi perubahan penggunaan lahan untuk periode tahun 2010 – 2020 (penggunaan lahan tahun 2020 = penggunaan lahan tahun 2009).

Skenario 2 (S2), terjadi perubahan 50 % penggunaan lahan pola agroforestry coklat - kopi menjadi penggunaan lahan pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS untuk periode tahun 2010 – 2020.

Skenario 3 (S3), terjadi perubahan 25 % penggunaan lahan pola agroforestry coklat - kopi menjadi penggunaan lahan pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS untuk periode tahun 2010 – 2020.

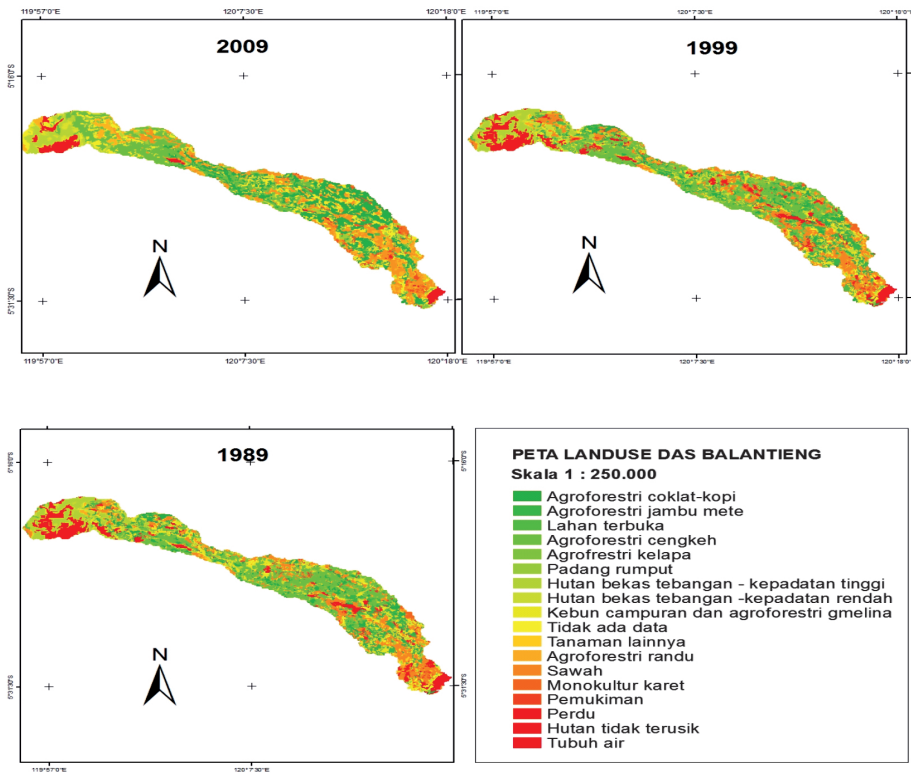
Skenario 4 (S4), terjadi perubahan 50 % penggunaan lahan pola agroforestry coklat - kopi menjadi penggunaan lahan pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS dengan penurunan laju deforestasi sebesar 50% untuk periode tahun 2010 – 2020.

Skenario 5 (S5), terjadi perubahan 25 % penggunaan lahan pola agroforestry coklat - kopi menjadi penggunaan lahan pola agroforestry cengkeh di hulu DAS dan monokultur karet di tengah dan hilir DAS dengan penurunan laju deforestasi sebesar 50% untuk periode tahun 2010 – 2020.

**Penilaian Kondisi Hidrologi**

Kondisi hidrologi DAS akibat perubahan penggunaan lahan akan dinilai dengan membandingkan neraca air hasil luaran model GenRiver (evapotranspirasi, *run off*, *soil quick flow* dan *base flow*) dan *baffering indicator* (pengaliran air, indikator daya penyangga DAS dan pelepasan aliran secara bertahap) masing-masing skenario (S1, S2, S3, S4 dan S5).

Penilaian dilakukan secara diskripsi sederhana dalam bentuk tabel dan grafik dengan membandingkan hasil luaran model (neraca air dan *baffering indicator*) untuk skenario (S2, S3, S4 dan S5) dengan kondisi aktual (S1).



**Gambar 2** Peta Tutupan Lahan DAS Balangtieng

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi dan Validasi Model

Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan pasangan data debit observasi dan simulasi untuk periode waktu tahun 1989 – 2009. Hasil kalibrasi penyesuaian nilai input parameter untuk model dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil analisa konsistensi pasangan data hujan - debit sungai dan kestabilan kualitas data debit sungai, menunjukkan pasangan data hujan-data debit tahun 1995 dan 1999 paling baik. Sehingga validasi model dilakukan dengan menggunakan data tahun 1995 dan 1999.

**Tabel 2** Parameter model Genriver yang digunakan pada analisis DAS Balangtieng

Parameter*)	Nilai Model	Nilai akhir	Satuan
RainMaxIntDripDur (i)	0,5	4,5	mm
InterceptEffectontrans(i)	0,8	0,03	mm
RainIntensMean	30	30	mm per hari
RainIntensCoefVar	0,3	0,27	-
MaxInfRate (i)	720	600	mm per hari
MaxInfSubsoil (i)	120	200	mm per hari
PerFracMultiplier (i)	0,1	0,18	-
MaxDynGrWatStore (i)	300	100	mm
GWReleaseFracVar (i)	0,1	0,17	-
Tortuosity (i)	0,5	0,33	-
Dispersal Factor (i)	0,5	0,2	-
River Velocity (i)	0,4	0,28	m per detik

\*) Definisi masing-masing parameter mengacu pada manual model GenRiver (van Noordwijk et al., 2012)



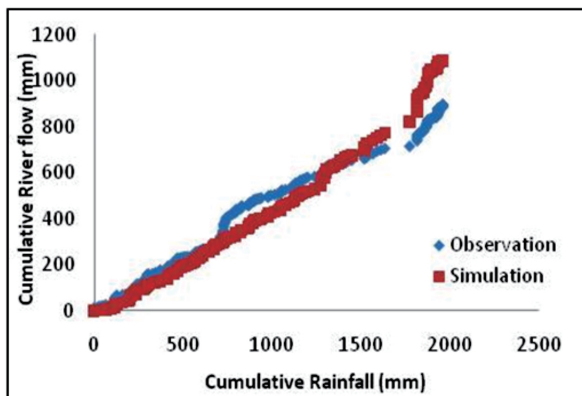
Hasil validasi dengan menggunakan pasangan data hujan-debit tahun 1995 dan 1999, menunjukkan nilai bias berkisar 10,22-17,36 %, NSE berkisar 0,51- 0,85 dan r berkisar 0,89 dan -0,95. Hasil analisa menunjukkan model dapat diterima dan dapat digunakan untuk mensimulasikan hasil air DAS Balangtieng. Secara umum, hasil simulasi GenRiver dapat menggambarkan pola debit sungai Balangtieng. Gambar 3 menunjukkan grafik kurva kumulatif antara hujan dan debit (simulasi dan observasi) dan hidrograf debit simulasi dan observasi tahun 1999.

**Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Kondisi Hidrologi Tahun 1990 - 2009**

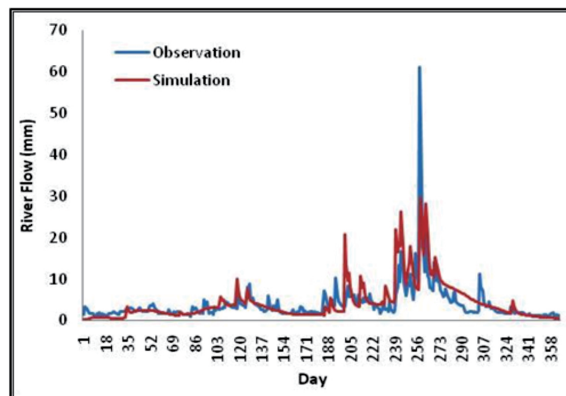
Secara umum, neraca air DAS Balangtieng yang dihitung selama periode waktu 20 tahun

(tahun 1990 - 2009) menunjukkan nilai evapotranspirasi tahunan rata-rata sebesar 898,9 mm (45 %), aliran permukaan sebesar 9 % dari total hujan yang jatuh atau 184,09 mm, aliran cepat tanah berkisar 24,87 mm (1 %) dan aliran dasar berkisar antara 45 % atau sebesar 913,66 mm. Besarnya curah hujan tahunan rata-rata sebesar 2.131,04 mm

Fungsi DAS Balangtieng masih cukup baik, dengan masih cukup stabilnya sumbangan debit sungai yang berasal dari aliran dasar. Pada kondisi penggunaan lahan di DAS Balangtieng selama 20 tahun, meskipun pola agroforestry lebih dominan (sekitar 56,14 %) dan makin berkembang dibandingkan penggunaan lahan hutan 10,27 % dan penggunaan lahan lainnya, menunjukkan kondisi neraca airnya masih cukup baik.

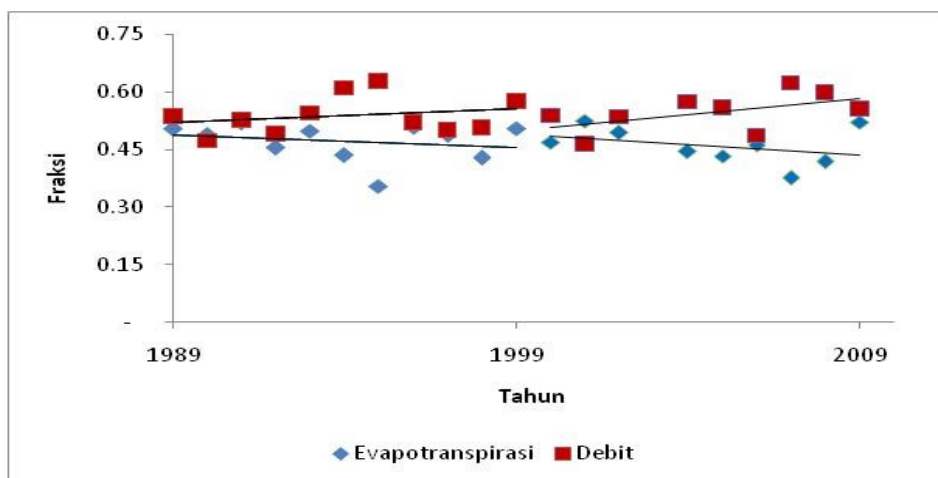


(a)



(b)

**Gambar 3** Kurva kumulatif antara hujan dan debit (a) dan hidrograf (b) tahun 1999

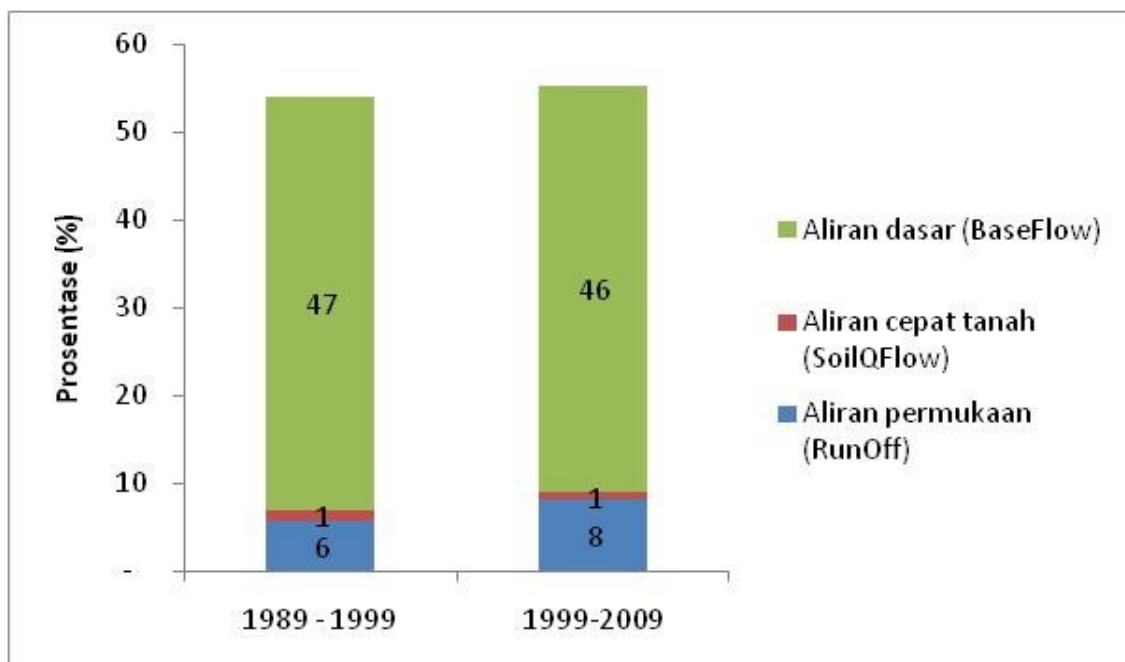


**Gambar 4** Trend hasil evapotranspirasi dan debit periode tahun 1989 – 2009

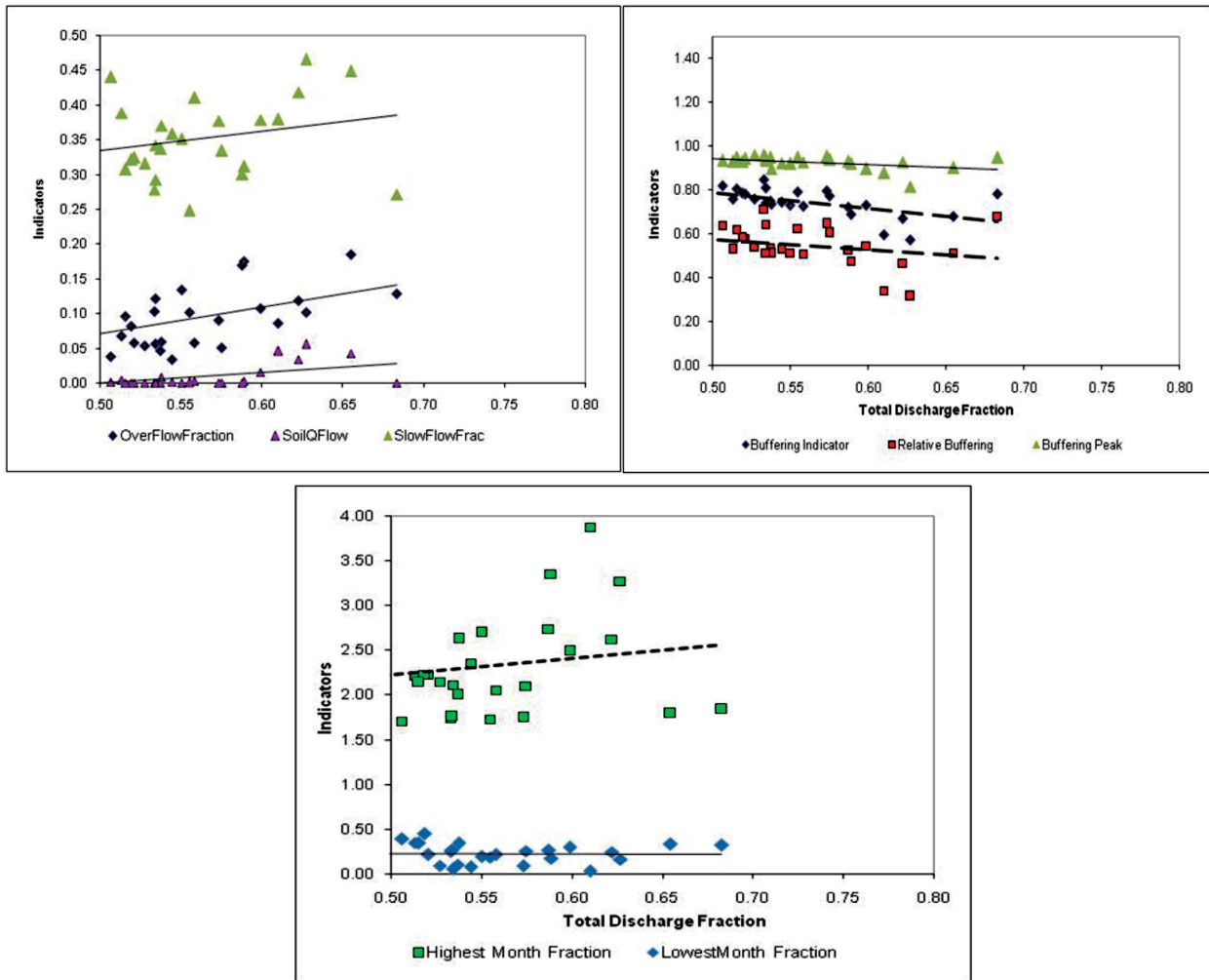
Hasil analisis neraca air lebih lanjut untuk simulasi dua periode perubahan penggunaan lahan (periode I (1989 - 1999) dan periode II (1999 - 2009)). Pada periode II (1999-2009) terjadi peningkatan debit yang lebih besar dibandingkan periode I (1989-1999), yaitu sebesar 2,03 % atau 0,20 % per tahun, dan terjadi penurunan evapotranspirasi sebesar 1,68 % atau 0,17 % per tahun. Hasil analisis ini dapat diperjelas dengan Gambar 4 yang menunjukkan fraksi evapotranspirasi dan debit per curah hujan tahunan untuk periode tahun 1989 - 2009. Untuk periode tahun 1989 - 1999 terjadi trend penurunan evapotranspirasi dan hal ini juga berlaku pada periode 1999 - 2009. Sedangkan untuk debit terjadi trend kenaikan debit untuk periode 1989 - 1999 dan trend kenaikan makin meningkat pada periode 1999 - 2009. Hasil kajian yang dilakukan oleh Junaidi *et al* (2013) terjadi deforestasi pada DAS Balangtieng sampai tahun 2009, sehingga areal hutan tersisa menjadi sekitar 10,27 % dari luas DAS. Laju deforestasi cukup besar terjadi untuk periode tahun 1999 - 2009 dengan penurunan luas hutan hingga 8,81 %. Sehingga dapat disimpulkan, trend kenaikan

debit untuk periode tahun 1999 - 2009 berbanding lurus dengan semakin tingginya tingkat deforestasi. Peningkatan debit ini perlu diwaspadai, karena penyumbang debit sungai terbesar berasal aliran permukaan dibandingkan aliran dasar (Gambar 5).

Pada Gambar 6 yang menggambarkan kondisi hidrologi DAS, menunjukkan agak terjadi penurunan kapasitas penyanggaan debit (*Buffering indicator*). Penurunan kapasitas penyangga debit disebabkan oleh peningkatan debit oleh aliran permukaan (*Over flow fraction*) dan aliran cepat tanah (*Soil Quic Flow*) yang berkorelasi positif dengan kenaikan debit dan hujan. Namun secara umum, kondisi hidrologi DAS Balangtieng selama 20 tahun masih cukup baik dengan diimbangnya isian air tanah (*Slow flow fraction*) yang berkorelasi positif dengan kenaikan debit dan hujan. Demikian juga dengan kapasitas penyangga debit puncak masih cukup baik (*Buffering peak*), tetapi perlu diwaspadai bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu banjir bandang (*flash floods*).



Gambar 5 Perbandingan aliran yang menyumbang debit sungai pada masing-masing periode



**Gambar 6** Hubungan Indikator Fungsi DAS dengan fraksi debit total

**Tabel 3** Analisis neraca air pada Skenario 2 dan Skenario 3

Indikator (mm)		Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Curah hujan		2014,82 mm		
Evapotranspirasi		44,4 %	44,5 %	44,6 %
RiverFlow:	Run Off (aliran permukaan)	9,3 %	9,2 %	9,1 %
	Soil Quick Flow (aliran cepat tanah)	1,3 %	1,2 %	1,2 %
	Base Flow (Aliran dasar)	45,0 %	45,1 %	45,1 %

**Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Kondisi Hidrologi Tahun 2010 - 2020**

**Skenario 2 dan Skenario 3 terhadap Skenario 1**

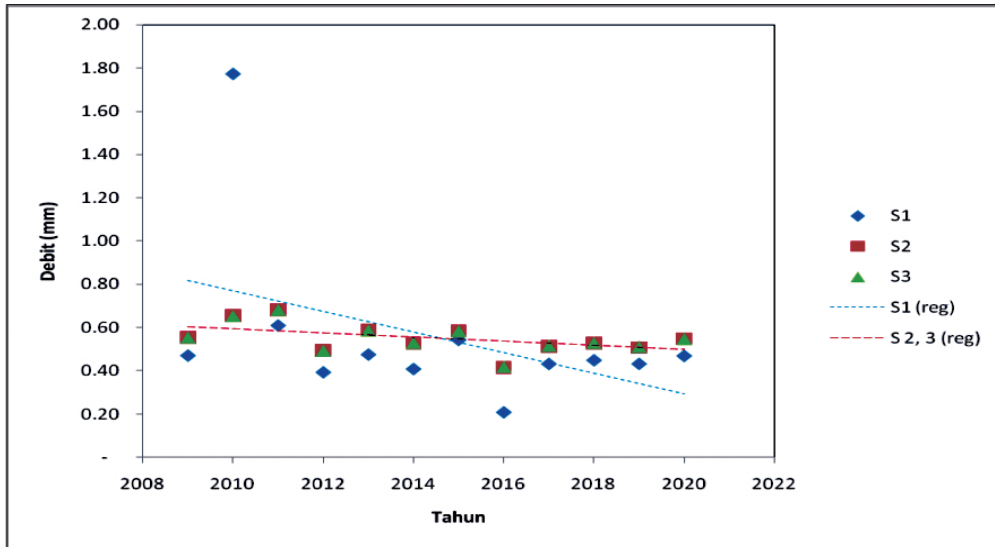
Secara umum tidak terdapat perubahan yang berarti terhadap neraca air DAS Balangtieng apabila tipe lahan agroforestri coklat-kopi (S1)

diubah menjadi agroforestri cengkeh dan monokultur karet (S2 dan S3) (Tabel 3). Rata-rata prosentase debit yang terjadi pada S2 dan S3 lebih kecil dibandingkan S1, berbanding terbalik dengan rata-rata evapotranspirasi yang lebih besar pada S2 dan S3.

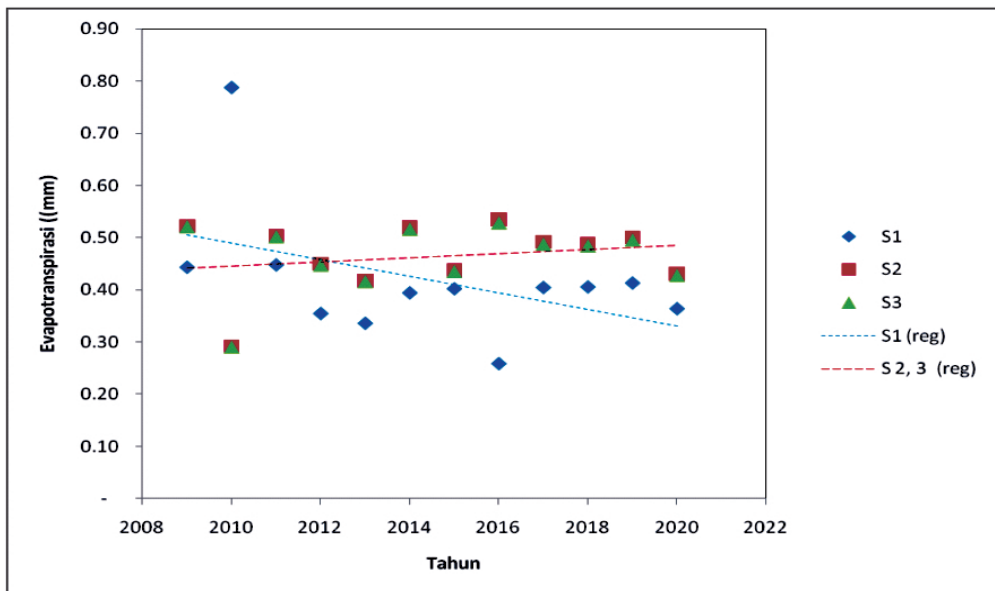


Berdasarkan Gambar 7, pada periode tahun 2010 - 2014 perubahan tipe agroforestry (S2 dan S3) menurunkan debit sungai dibandingkan S1, namun untuk periode tahun 2014 - 2020 terjadi peningkatan debit. Untuk evapotranspirasi, pada periode tahun 2010 - 2012 perubahan tipe agroforestry (S2 dan S3) mengakibatkan penurunan dibandingkan S1, namun untuk periode tahun 2012 ke atas terjadi peningkatan.

Peningkatan debit pada S2 dan S3 sebagian besar berasal dari aliran permukaan, disamping terjadinya peningkatan simpanan air tanah pada S2 dan S3. Pada Gambar 8 menunjukkan pada S2 peningkatan debit yang berasal dari aliran permukaan lebih besar dibandingkan S3. Sedangkan yang berasal dari aliran dasar, S3 menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan S2. Sehingga pada S3 sumbangan debit banyak berasal dari simpanan air tanah dibandingkan S2.

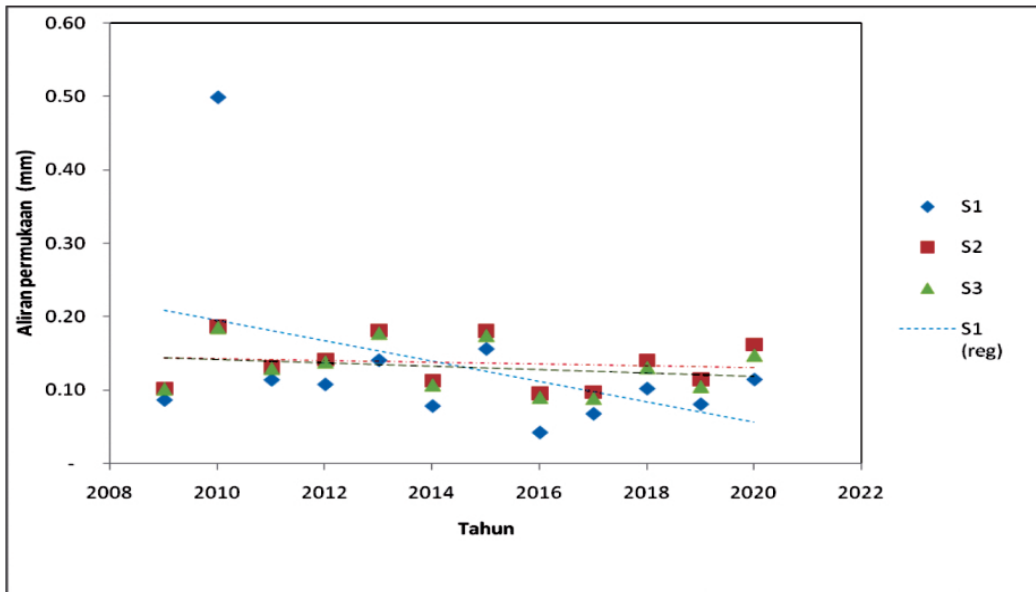


(a)

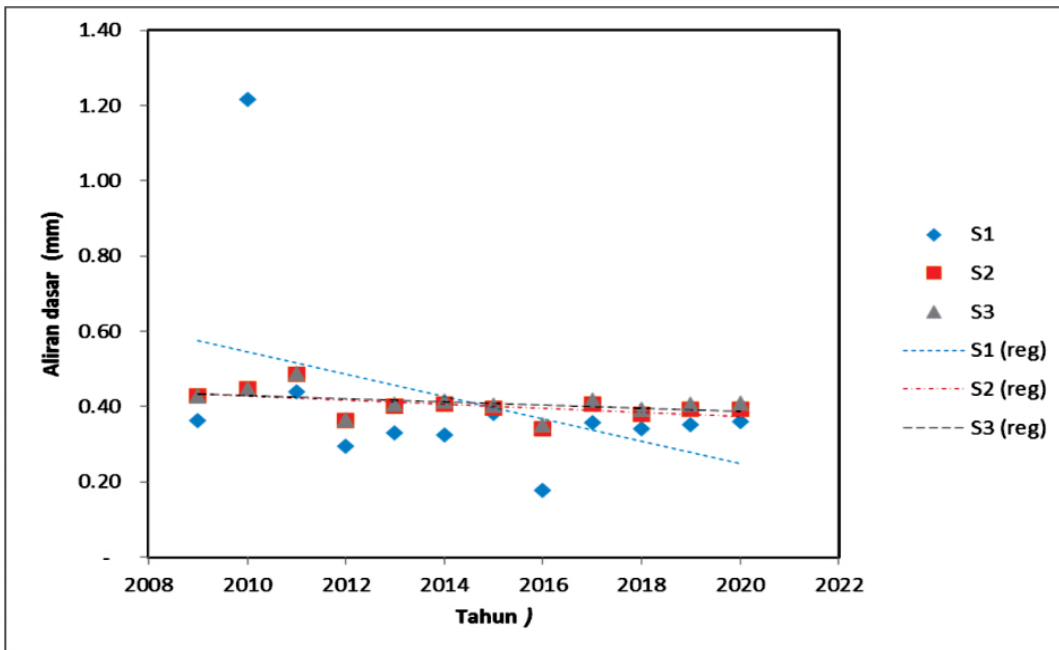


(b)

**Gambar 7** Grafik perubahan debit (a) dan evapotranspirasi (b) untuk skenario 2 dan 3 terhadap skenario 1



(a)



(b)

**Gambar 8** Grafik perubahan aliran permukaan (a) dan aliran dasar (b) untuk skenario 2 dan 3 terhadap skenario 1

Perubahan tipe lahan pada S2 dan S3 tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap fungsi hidrologi DAS (Tabel 4). Hal ini diperkuat oleh nilai masing-masing kriteria penilaian fungsi hidrologi DAS, nilai perubahan indikator yang terjadi untuk masing-masing indikator masih berada dalam jangkauan perubahan lahan pada

S1. Penyangga debit puncak masih baik (*Buffering peak*), tetapi tetap perlu diwaspadai bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu banjir bandang (*flash floods*) terutama sumbangan debit yang berasal dari aliran cepat tanah (*Soil Quick Flow*).

**Tabel 4** Perubahan fungsi DAS yang dinyatakan dalam persentasi terhadap kondisi skenario 1

Kriteria	Indikator	Skenario 1	Rata-rata	
			Skenario 2	Skenario 3
Pengaliran air	Total Discharge Fraction	0,42 – 0,68	0,54	0,54
Indikator daya penyangga DAS	Buffering Indicator	0,57 – 0,85	0,75	0,75
	Relative Buffering Indicator	0,31 – 0,71	0,55	0,55
	Buffering Peak Event	0,81 – 0,97	0,93	0,93
	Highest Monthly Discharge Relative to Mean Rainfall	1,7 – 3,88	2,32	2,31
	Overland Flow Fraction	0,03 – 0,18	0,09	0,09
	Soil Quick Flow Fraction	0 – 0,06	0,01	0,01
Pelepasan aliran secara bertahap	Slow Flow Fraction	0,34 – 0,56	0,45	0,45
	Lowest Month Fraction	0,03 – 0,45	0,22	0,22

**Tabel 5** Analisis neraca air pada Skenario 4 dan Skenario 5

Indikator (mm)		Skenario 1	Skenario 4	Skenario 5
Curah hujan		2014.82 mm		
Evapotranspirasi		44,4 %	45 %	44,9 %
RiverFlow :	Run Off (aliran permukaan)	9,3 %	9,0 %	9,0 %
	Soil Quick Flow (aliran cepat tanah)	1,3 %	1,0 %	1,0 %
	Base Flow (Aliran dasar)	45,0 %	45,0 %	45,1 %

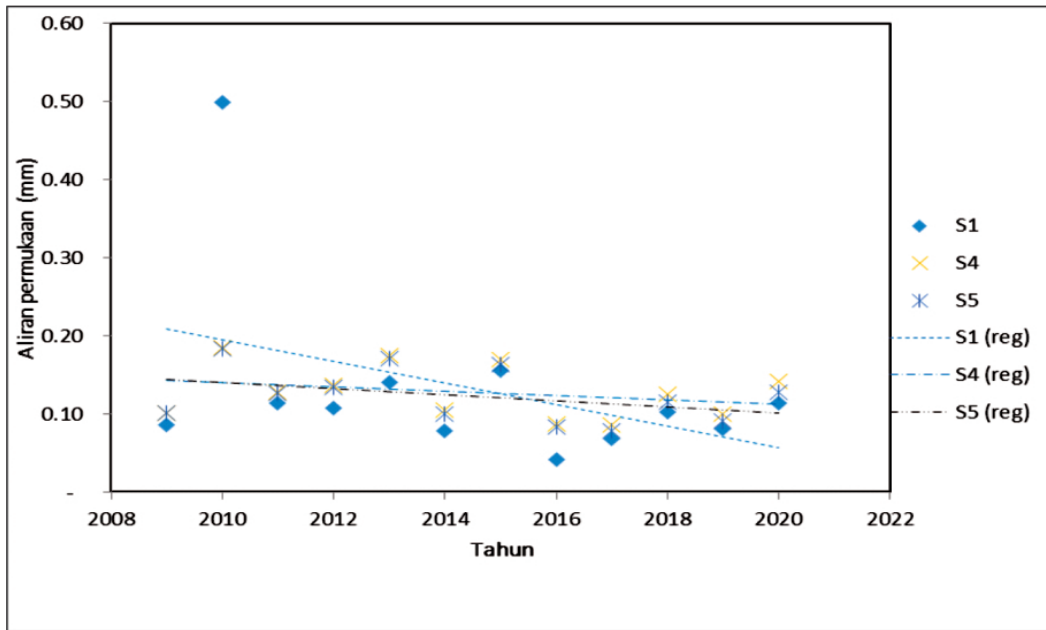
#### Skenario 4 dan Skenario 5 terhadap Skenario 1

Terjadi perubahan positif terhadap neraca air DAS Balangtieng apabila tipe lahan dirubah sesuai S4 dan S5, yang disebabkan terjadi penurunan sumbangan debit terutama yang berasal dari aliran permukaan dan aliran cepat tanah. Penurunan ini berdampak dengan terjadinya peningkatan evapotranspirasi (Tabel 5). Pengurangan deforestasi, secara langsung dapat mengurangi aliran permukaan dan meningkatkan aliran dasar.

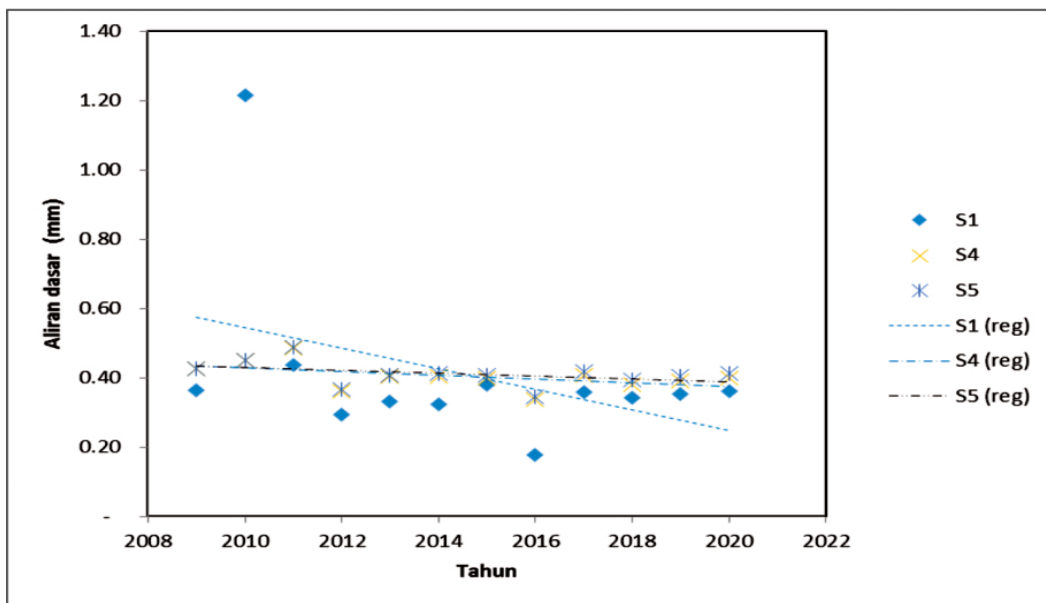
Pada Gambar 9 menunjukkan sumbangan debit sungai yang berasal aliran permukaan dan aliran dasar, untuk S5 menyumbang debit yang

berasal dari aliran dasar lebih besar dibandingkan aliran permukaan dibandingkan S4.

Secara umum perubahan tipe lahan pada S4 dan S5 tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap fungsi hidrologi DAS (Tabel 6). Hal ini diperkuat oleh nilai masing-masing indikator yang tidak terlalu signifikan selisihnya dengan nilai baseline. Demikian juga nilai perubahan yang terjadi untuk masing-masing parameter masih berada dalam jangkauan perubahan lahan skenario 1. Pengaruh langsung pengurangan deforestasi, mengurangi terjadinya debit puncak pada saat hujan dengan intensitas tinggi.



(a)



(b)

**Gambar 9** Grafik perubahan aliran permukaan (a) dan aliran dasar (b) untuk skenario 4 dan 5 terhadap skenario 1

**KESIMPULAN**

Kondisi hidrologi DAS Balangtieng masih cukup baik meskipun terjadi penurunan kapasitas penyangga debit oleh peningkatan debit yang berasal dari aliran permukaan dan aliran cepat tanah. Hal ini dipengaruhi oleh sumbangan debit yang berasal dari isian air tanah. Namun perlu diwaspadai bila terjadi hujan

dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu banjir bandang.

Perubahan penggunaan lahan terutama pola agroforestry coklat-kopi menjadi agroforestri cengkeh dan monokultur karet tidak mempengaruhi kondisi hidrologi DAS Balentieng, tetapi masih perlu diwaspadai terjadinya banjir bandang.

**Tabel 6** Perubahan fungsi DAS yang dinyatakan dalam persentasi terhadap kondisi skenario 1

Kriteria	Indikator	Skenario 1	Rata-rata	
			Skenario 4	Skenario 5
Pengaliran air	Total Discharge Fraction	0,42 – 0,68	0,54	0,54
Indikator daya penyangga DAS	Buffering Indicator	0,57 – 0,83	0,75	0,75
	Relative Buffering Indicator	0,31 – 0,71	0,55	0,55
	Buffering Peak Event	0,81 – 0,97	0,93	0,93
	Highest Monthly Discharge Relative to Mean Rainfall	1,7 – 3,88	2,32	2,32
	Overland Flow Fraction	0,03 – 0,18	0,09	0,09
	Soil Quick Flow Fraction	0 – 0,06	0,01	0,01
Pelepasan aliran secara bertahap	Slow Flow Fraction	0,34 – 0,56	0,44	0,45
	Lowest Month Fraction	0,03 – 0,45	0,22	0,22

Perubahan penggunaan lahan yang diikuti pengurangan deforestasi dapat memperbaiki kondisi hidrologi DAS Balangtieng, karena dapat meningkatkan kapasitas penyangga debit dengan mengurangi sumbangan debit yang berasal dari aliran permukaan dan aliran cepat tanah. Disamping itu dapat mengurangi debit puncak sebesar 0,3 % pada saat terjadinya hujan dengan intensitas tinggi.

Reforestasi pada DAS Balangtieng perlu ditingkatkan, karena dapat meningkatkan sumbangan debit yang berasal dari tanah sebesar 0,1 %. Disamping itu, reforestasi dapat mengurangi debit puncak pada saat terjadinya hujan dengan intensitas tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andreassian, V. 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology* 291: 1-24.
- Bormann, H., Breuer, L., Gräff, T., Huisman, J.A. 2007. Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: a comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecol. Model.* 209: 29–40.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. UNESCO. International Hydrological Programme.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems and Environment* 104: 184-228.
- Junaidi, E., Siarudin, M., Indrajaya, Y., Widiyanto, A., Lusiana, B., Tanika, L., dan Harry, B. S. 2015. Dampak Sistem Agroforestry di Hutan Rakyat terhadap Kondisi Hidrologi DAS Balangtieng, Bulukumba, Sulawesi Selatan. Prosiding Seminar Agroforestry ke 5, Pengelolaan Lanskap Agroforestri Wilayah Kepulauan Menghadapi Efek Perubahan Iklim. Balai Penelitian Teknologi Agroforestry bekerjasama dengan Fakultas Pertanian Universitas Pattimura, World Agroforestry Centre (ICRAF), Indonesia Network for Agroforestry Education, dan Masyarakat Agroforestri Indonesia: 251 - 259
- Farida dan M. van Noordwijk. 2004. Analisis Debit Sungai Akibat Alih Guna Lahan Dan Aplikasi Model Genriver Pada Das Way Besai, Sumberjaya. *Jurnal Agrivita Vol. 26 No.1. Maret 2004. P :39 -47.*
- Fukunaga, D. C., Cecilio, R. A., Zanetti, S. S., Oliveira, L. T., Caiado, M. A. C. 2015. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *J. Catena* 125: 206–213.



- 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.
- Lin, Y.J., Chang, Y.H., Tan, Y.C., Lee, H.Y., Chiu, Y.J. 2011. National policy of watershed management and flood mitigation after the 921 Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Nat. Hazards* 56, 709–731.
- Lusiana B, Widodo R, Mulyoutami E, Nugroho Adi D. and van Noordwijk M. 2008. Kajian Kondisi Hidrologis DAS Talau, Kabupaten Belu, Nusa Tenggara Timur (working paper). World Agroforestry Centre – ICRAF: SEA Regional Office.
- Mahmoud, M.I., Gupta, H.V., Rajagopal, S. 2011. Scenario development for water resources planning and watershed management: methodology and semi-arid region case study. *Environ. Model. Softw*: 26, 873–885.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., dan Veith, T.L. 2007. Model Evaluation Guidelines, For, Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 20(3):885-900
- Shi, Z.H., Ai, L., Fang, N.F., Zhu, H.D. 2012. Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: a case study in the Three Gorges Area, China. *J. Hydrol.* 438, 156–167.
- Siarudin, M., Junaidi, E., Widiyanto, A., Indrajaya, Y., Khasanah, N., Tanika, L., Lusiana, B., Roshetko, J. 2014. Kuantifikasi Jasa Lingkungan Air dan Karbon Pola Agroforestri pada Hutan Rakyat di Wilayah Sungai Jeneberang. Working paper. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Program.
- Singh, V.P. and Woolhiser, D.A. 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. *J. Hydrol. Eng.* 7, 270–292.
- Smettem, K., Harper, R. 2009. Using trees to manage local and regional water balances. In: Nuberg, I., George, B., Reid, R. (Eds.), *Agroforestry for natural resource management*. Australia: CSIRO PUBLISHING.
- Van Noordwijk, M., Farida A, Suyamto DA and Khasanah N. 2003. Spatial variability of rainfall governs river flow and reduces effects on landuse change at landscape scale: GenRiver and SpatRain simulations. MODSIM proceedings, Townsville (Australia) July 2003. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre – ICRAF: SEA Regional Office.
- Van Noordwijk, M, Agus, F, Suprayogo, D, Hairiah, K., Pasya, G., Verbist, B., dan Farida. 2004. Peranan Agroforestri Dalam Mempertahankan Fungsi Hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). *AGRIVITA VOL. 26: 1-8*
- 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 Agroforestry Centre Southeast Asia Regional Program: hlm 117
- Wheater, H., Evans, E. 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 26, 251–264.
- Qi, H., Altinakar, M.S. 2011. A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *J. Environ. Manag.* 92, 149–155.
- Zampella, R.A., Procopio, N.A., Lathrop, R.G., Dow, C.L. 2007. Relationship of land-use/ land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 43, 594–604.
- Zhang, X., Zhang, L., Zhao, J., Rustomji, P., Hairsine, P. 2008. Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resour. Res.* 44.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada World Agroforestry Center (ICRAF) yang telah memberikan dukungan terhadap terlaksananya penelitian ini, melalui kegiatan Proyek Agroforestry and Forestry in Sulawesi: linking knowledge to action (AgFor Sulawesi Project) yang dibiayai oleh The Department of Foreign Affairs, Trade and Development (DFATD), Government of Canada.