

# DAMPAK SISTEM AGROFORESTRY DI HUTAN RAKYAT TERHADAP KONDISI HIDROLOGI DAS BALANGTIENG, BULUKUMBA, SULAWESI SELATAN

Edy Junaidi<sup>1</sup>, M. Siarudin<sup>1</sup>, Yonky Indrajaya<sup>1</sup>, Ary Widiyanto<sup>1</sup>, Lisa Tanika<sup>2</sup>,  
Betha Lusiana<sup>2</sup>, dan Harry Budi Santoso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Badan Litbang Kementerian Kehutanan, <sup>2</sup>ICRAF

Email : ejunad75@gmail.com

## ABSTRAK

Perubahan penggunaan/tutupan lahan dapat mempengaruhi kondisi hidrologi suatu DAS. Penelitian ini bertujuan mengukur dampak perubahan penggunaan lahan pola agroforestry pada hutan rakyat di DAS Balangtieng terhadap kondisi hidrologi DAS. Analisis perubahan lahan didasarkan pada peta penggunaan lahan tahun 1989, 1999 dan 2009. Pendugaan neraca air untuk menilai kondisi hidrologis pada skala DAS dilakukan dengan menggunakan model GenRiver. Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil simulasi GenRiver dapat memprediksi pola debit sungai Balangtieng. Dominasi dan perubahan penggunaan lahan pola agroforestri pada periode 1989-2009 di DAS Balangtieng, masih mampu menjaga kondisi hidrologi DAS dengan masih tingginya sumbangan debit yang berasal dari isian air tanah. Namun perlu diwaspadai peningkatan deforestasi yang terjadi, dapat meningkatkan sumbangan debit yang berasal dari aliran permukaan dan aliran cepat tanah, sehingga bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu terjadinya banjir bandang.

**Kata kunci:** perubahan penggunaan lahan, pola agroforestry, hidrologi DAS dan model GenRiver

## I. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumberdaya alam khususnya air seringkali dianjurkan untuk mengikuti batas alamnya (Daerah Aliran Sungai/DAS) agar dapat memberikan manfaat yang berkesinambungan (Lal, 2000, Gregersen *et al.*, 2007). Pengelola DAS dengan memanipulasi aspek proses (yaitu penutupan penggunaan lahan) di DAS dapat mempengaruhi keluaran (hasil air). Perubahan yang terjadi di DAS, akibat perubahan penggunaan lahan, akan mempengaruhi kondisi hidrologi DAS (Vorosmarty *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2007).

Penelitian tentang bagaimana respon perubahan penggunaan lahan (seperti vegetasi) terhadap hasil air telah banyak dilakukan (Bruijnzeel, 1990; Andreassian, 2004; Bruijnzeel, 2004). Agroforestri sebagai salah satu bentuk penggunaan lahan yang menyerupai hutan memiliki potensi untuk mengatur tata air terutama debit puncak dalam DAS (Noordwijk *et al.*, 2004). Walaupun tidak dapat sepenuhnya menggantikan fungsi hidrologis hutan alam (Widiyanto *et al.*, 2004), air limpasan permukaan pada agroforestri kopi menurun sejalan dengan bertambahnya umur tanaman kopi. Agroforestri dengan sistem pertanaman pohon yang terpencair dapat berfungsi sebagai pengatur drainasi dalam dan salinitas di Australia (Lefroy and Stirzaker, 1999). 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).

DAS Balangtieng merupakan salah satu DAS di Wilayah Sungai (WS) Jeneberang, Sulawesi Selatan. DAS Balangtieng yang mempunyai panjang sungai utama sekitar 53,39 km, mempunyai luas sekitar 202,35 km<sup>2</sup>. Secara geografis, DAS Balangtieng terletak pada 121° BT dan 5°25' LS. Hasil analisa citra landsat tahun 2009, penggunaan lahan pola agroforestry pada hutan rakyat di DAS Balangtieng cukup berkembang, meliputi 57% dari seluruh wilayah DAS.

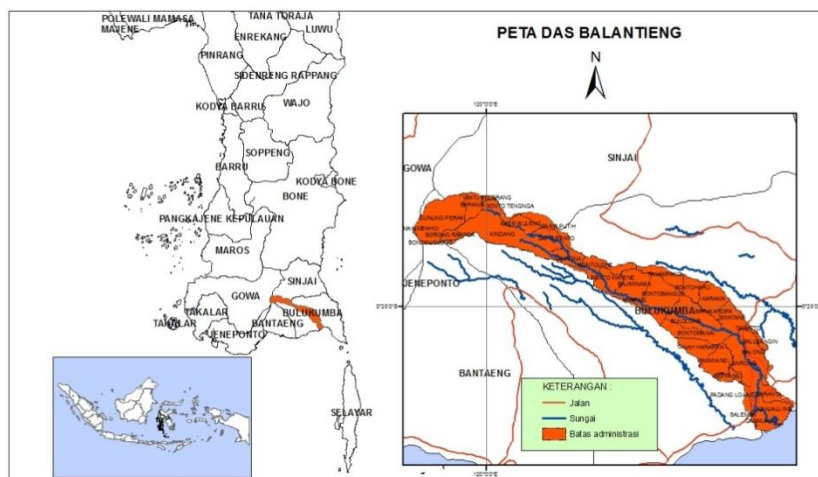
Model GenRiver (*Generic River Flow*) merupakan salah satu model hidrologi untuk mensimulasikan neraca air (Farida dan van Noordwijk, 2004, van Noordwijk *et al.*, 2003, Van Noordwijk *et al.*, 2011). Model ini dapat melihat kondisi neraca air suatu DAS akibat adanya perubahan penggunaan lahan. Hasil neraca air pada suatu DAS dapat digunakan dalam menilai kondisi hidrologi DAS.

Penelitian ini bertujuan melihat dampak perubahan penggunaan lahan pola agroforestry pada hutan rakyat di DAS Balangtieng terhadap kondisi hidrologi DAS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi bagi pengambil kebijakan di Kabupaten Bulukumba dan sekitarnya dalam menentukan arah perencanaan tata ruang.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Balantieng, yang secara administratif berada di tiga kabupaten, yaitu: Kabupaten Bulukumba, Kabupaten Bantaeng, dan Kabupaten Sinjai (Gambar 1). DAS Balantieng berdasarkan klasifikasi iklim menurut Mohr (1993) masuk dalam golongan daerah agak basah (golongan II) dan berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson (1951) termasuk golongan B (basah). Berdasarkan data curah hujan tahun 1990 - 2010 dan data stasiun Matajang pada tahun 1990 - 2010, curah hujan tahunan di DAS Balantieng bervariasi antara 1.581 – 5.032 mm per tahun dengan rata-rata curah hujan 2.270 mm per tahun. Curah hujan harian tertinggi berkisar antara 56 – 151 mm per hari. Balantieng mempunyai perbedaan kondisi musim basah dan musim kering yang jelas, dimana sekitar 75% musim basah terjadi pada bulan November sampai Juli. Sedangkan pada musim kering terjadi pada bulan Agustus -Oktober. Potensi evapotranspirasi rata-rata (*evapotranspiration*) sebesar 1739 mm per tahun.



Gambar 1. Lokasi penelitian

### B. Metode Pengumpulan dan Analisis Data

Pendugaan neraca air pada skala DAS dilakukan dengan menggunakan model GenRiver. Inti model Genriver adalah neraca air yang ada pada tingkat plot, yang bersumber dari hujan tingkat lokal serta dimodifikasi berdasarkan tutupan lahan dan perubahannya serta karakter jenis tanah. Hasil dari model skala plot ini adalah aliran permukaan, aliran cepat dan aliran lambat (Van Noordwijk *et al*, 2011).

Kegiatan penggunaan model GenRiver dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut:

#### a. Persiapan data

Ada tiga jenis data yang digunakan dalam model GenRiver, yaitu 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). Data iklim dan data spasial digunakan sebagai masukan model, sedangkan data hidrologi digunakan untuk proses kalibrasi dan validasi model.

Informasi mengenai jenis, sumber, periode waktu dan tahun ketersediaan dari masing-masing data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data iklim, hidrologi dan spasial DAS Balantieng

Data	Sumber	Periode	Keterangan
Curah hujan	St. Bonto Ngiling	Harian	Tahun 1990-2010
	St. Bulu-bulu 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
Tinggi muka air	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	World Agroforestry Centre (ICRAF)	3 periode	Tahun 1989, 1999 dan 2009

Data curah hujan dari 4 stasiun dianalisa dengan menggunakan metode poligon Thiessen, untuk memperoleh data curah hujan wilayah harian DAS. Sedangkan data hidrologi sungai diperoleh dalam bentuk data tinggi muka air harian dan sebagian data debit, sehingga harus dianalisa terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan regresi power untuk memperoleh data debit harian. Data evapotranspirasi potensial dihitung berdasarkan data suhu dengan menggunakan metode Thornwaite.

b. Pemrosesan informasi spasial yang dihasilkan dalam analisis spasial.

Pada tahapan ini, berbagai karakteristik DAS ditentukan seperti batas sub-DAS, saluran drainase, jarak (panjang anak sungai sampai ke sungai utama), sebaran tutupan lahan tiap sub DAS dan sebaran jenis tanah pada tiap sub DAS. Tool yang digunakan untuk proses analisis karakteristik DAS adalah archHydro. Dua tahapan penting untuk mengetahui karakteristi DAS yaitu (1) *Terrain processing* dan *watershed processing* dan (2) menyusun karakteristik DAS. Tujuan utama dilakukan proses tahapan pertama untuk mendeliniasi batas DAS dan batas sub DAS, serta menentukan titik centroid masing-masing sub DAS. Sedangkan tahapan kedua bertujuan untuk mengetahui sebaran penggunaan lahan, sebaran jenis tanah dan panjang aliran masing-masing sub DAS.

c. 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.. Sedangkan validasi bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendekati kondisi DAS yang sebenarnya. Kriteria yang digunakan validasi model yaitu *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) (reference) dan koefisien korelasi.

Nilai efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE) menggambarkan seberapa tepat perbandingan antara debit hasil simulasi dengan debit pengamatan (Moriassi, 2007). Persamaan perhitungan NSE.

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

Dimana :  $Y_i^{obs}$  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  
 $n$  adalah banyaknya pengamatan

Sebaran nilai NSE adalah  $(-\infty, 1)$ , dimana nilai 1 berarti cocok secara sempurna (Moriassi, 2007).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Perubahan Penggunaan Lahan

Sampai tahun 1989, kondisi penggunaan lahan di DAS Balangtieng didominasi oleh pola agroforestry sebesar 52,46 %, hutan sekitar 20,39 %, dan sisanya berupa sawah dan areal penanaman lain. Prosentase masing-masing luas penggunaan lahan di DAS Balangtieng untuk tahun 1989, 1999 dan 2009 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tampak terjadi deforestasi hingga tahun 2009 sehingga areal hutan menjadi sekitar 10,27 %. Laju deforestasi terjadi cukup besar pada tahun 1999 – 2009 dengan penurunan luas hutan hingga 8,81 %. Pada tutupan lahan agroforestri, terutama pola agroforestri coklat-kopi, terjadi peningkatan yang cukup luas sekitar 12,4 % selama periode 20 tahun. Peningkatan terbesar untuk pola ini terjadi pada periode tahun 1999 – 2009. Pada periode tahun 1999 – 2009 juga terjadi peningkatan tipe kebun campuran dan agroforestri gmelina. Selama periode 21 tahun terjadi peningkatan pola penggunaan lahan agroforestry di DAS Balangtieng sebesar 3,68 %.

Tabel 2. Luas tutupan/penggunaan lahan DAS Balangtieng Tahun 1989, 1999 dan 2009

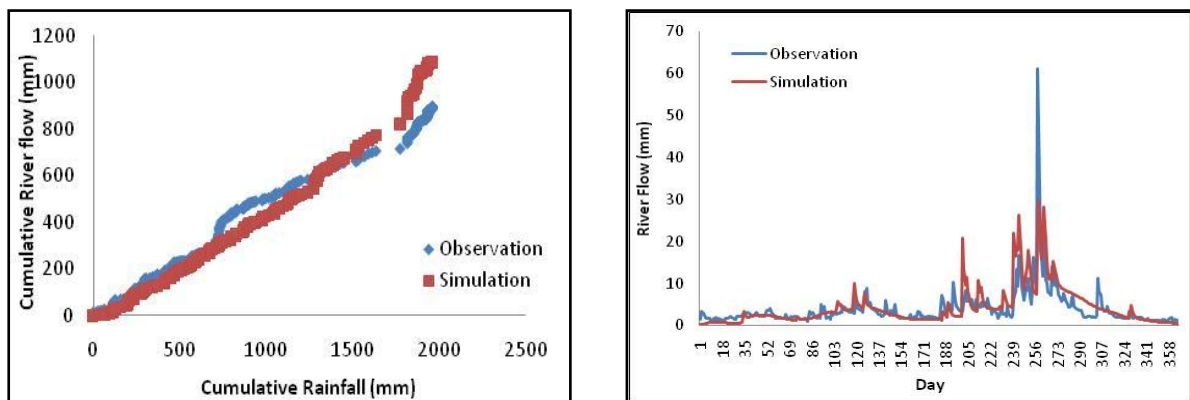
No	Sistem Penggunaan Lahan	Luas (%)			Perubahan (%)	
		1989	1999	2009	1999-1989	2009 - 1999
1	Hutan tidak terusik	8.07	7.88	3.02	-0.19	-4.86
2	Hutan bekas tebangan - kepadatan tinggi	8.17	7.11	5.55	-1.06	-1.56
3	Hutan bekas tebangan -kepadatan rendah	4.15	4.1	1.7	-0.05	-2.40
4	Agroforestri coklat-kopi	8.81	9.63	21.22	0.82	11.59
5	Agroforestri jambu mete	6.27	5.25	1.23	-1.02	-4.02
6	Agroforestri cengkeh	21.10	19.47	17.03	-1.63	-2.44
7	Agroforestri kelapa	2.62	4.61	3.02	2.00	-1.59
8	Agroforestri randu	0.50	0.83	-	0.33	-0.83
9	Kebun campuran dan agroforestri gmelina	13.16	9.73	13.64	-3.44	3.91
10	Sawah	16.80	18.15	17.38	1.35	-0.77
11	Monokultur karet	0.39	0.39	0.48	0.00	0.09
12	Pemukiman	0.63	1.01	2.53	0.38	1.52
13	Padang rumput	1.17	2.29	3.15	1.12	0.86
14	Lahan terbuka	1.00	2.15	0.24	1.15	-1.91
15	Tanaman lainnya	2.95	3.03	8.27	0.08	5.25
16	Perdu	2.91	3.06	0.22	0.15	-2.84
17	Badan air	1.27	1.27	1.27	0.00	0.00
18	Tidak ada data	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00

Sementara itu, luasan agroforestri jambu mete mengalami penurunan yang cukup tajam selama periode waktu 21 tahun, yaitu sekitar 5,04 %. Penurunan terbesar untuk pola ini terjadi selama periode waktu 1999 – 2009. Sedangkan pola agroforestri cengkeh juga mengalami penurunan sebesar 4,07 %. Menurunnya profitabilitas dan kendala produksi menyebabkan masyarakat merubah lahannya menjadi pola penggunaan lahan lain yang dianggap lebih menguntungkan.

## B. Kondisi Tata Air di DAS Balangtieng

### 1. Kalibrasi dan Validasi Model

Indikator statistik yang digunakan untuk menguji kesesuaian model antara hasil simulasi dan pengukuran adalah koefisien bias, koefisien Nash and Sutcliffe (NSE) (1970) dan koefisien korelasi (R). Hasil analisa konsistensi pasangan data hujan - debit sungai dan kestabilan kualitas data debit sungai, menunjukkan pasangan data hujan-debit tahun 1995 dan 1999 paling baik. Hasil kalibrasi dan 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 -0,95, berarti model dapat diterima dan dapat digunakan untuk mensimulasikan hasil air DAS Balangtieng. Secara umum, hasil simulasi GenRiver dapat menggambarkan pola debit sungai Balangtieng (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva kumulatif antara hujan dan debit (a) dan hidograf (b) tahun 1999

### 2. Neraca air di DAS Balangtieng

Neraca air DAS Balangtieng (Tabel 3) yang dihitung selama 21 tahun (tahun 1989 – 2009) menunjukkan nilai evapotranspirasi berkisar antara 40,6 – 49,7 % dari curah hujan dengan nilai rata-rata sebesar 965 mm (45,6 %). Sedangkan nilai aliran permukaan sebesar 6,9 % dari total hujan yang jatuh atau 147 mm. Nilai aliran permukaan berkisar 3,3 – 11,6 % dari curah hujan yang jatuh. Nilai aliran permukaan yang kecil akan berpengaruh terhadap kualitas air sungai yang masih terjaga. Nilai aliran cepat tanah berkisar antara 1 – 6 % dan aliran dasar cukup stabil, berkisar antara 42 – 48 %. Secara umum 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 21 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.

Tabel 3. Analisis neraca air DAS Balangtieng Tahun 1989-2009

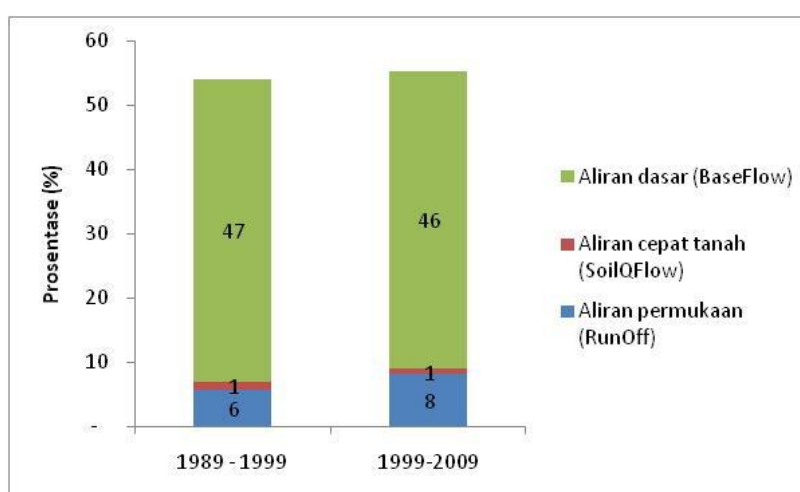
Komponen neraca air		Nilai minimal		Rata-rata		Nilai maksimal	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Curah hujan		1581		2117		3199	
Evapotranspirasi		785	49,7	965	45,6	1300	40,6
Debit	Aliran permukaan	52	3,3	147	6,9	372	11,6
	Aliran cepat	0	0,0	22	1,0	178	5,6
	Aliran dasar	661	41,8	987	46,6	1528	47,8

Hasil analisis neraca air lebih lanjut, menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan debit selama periode waktu 21 tahun (Tabel 4). 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. Hal ini berbanding lurus dengan terjadinya deforestasi yang cukup besar terutama pada periode II. Peningkatan debit ini perlu diwaspadai, karena penyumbang debit sungai terbesar berasal aliran permukaan dibandingkan aliran dasar (Gambar 3).

Tabel 4. Perubahan debit dan evapotranspirasi

Perubahan (Change)		Periode (Period) I (1989 – 1999)	Periode (Period) II (1999 – 2009)
Evapotranspirasi ( per tahun%)		- 0,01	- 0,17
	(total %)	- 0,07	- 1,68
Debit	( per tahun%)	- 0,38	0,20
	(total %)	- 3.8	2.03

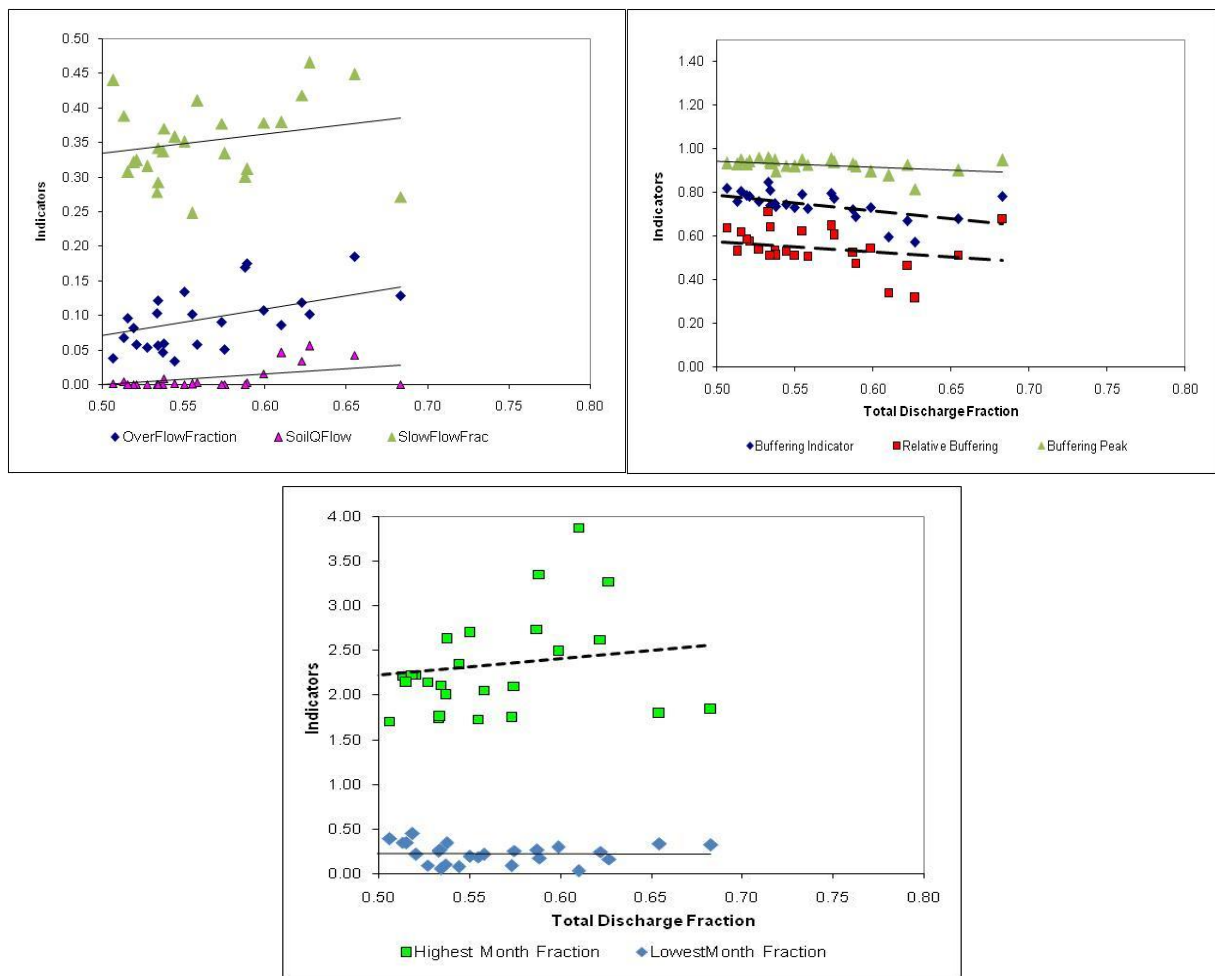


Gambar 3. Perbandingan aliran yang menyumbang debit sungai pada masing-masing periode

### 3. Kondisi hidrologi DAS Balantieng

Penilaian kondisi hidrologi melalui hubungan antara indikator fungsi-fungsi DAS dengan terjamahan pola hujan menjadi debit (fraksi debit) (Gambar 5). Indikator fungsi-fungsi DAS meliputi kapasitas penyanggaan debit (*buffering capacity*), aliran permukaan (*surface flow*), aliran lambat (*base flow*) dan debit puncak (*highest month fraction*)

Hasil analisa untuk periode 21 tahun pengukuran di DAS Balantieng, dimana kondisi penggunaan lahan yang didominasi oleh pola agroforestry yang makin berkembang dibandingkan penggunaan lahan lain, menunjukkan kondisi agak terjadi penurunan kapasitas penyanggaan debit. Penurunan kapasitas penyangga debit disebabkan oleh peningkatan debit oleh aliran permukaan dan aliran cepat tanah yang berkorelasi positif dengan kenaikan debit dan hujan. Namun secara umum, kondisi hidrologi DAS Balantieng masih cukup baik dengan diimbangnya isian air tanah yang berkorelasi positif dengan kenaikan debit dan hujan. Demikian juga dengan kapasitas penyangga debit puncak masih cukup baik, tetapi perlu diwaspadai bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu banjir bandang (*flash floods*).



Gambar 4. Hubungan Indikator Fungsi DAS dengan fraksi debit total

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Peningkatan dominasi penggunaan lahan pola agroforestry yang terjadi di DAS Balantieng dibandingkan penggunaan lahan tipe lainnya tidak terlalu mempengaruhi kondisi hidrologinya. Hal ini dapat dilihat dari pengisian sumbangan debit yang berasal dari isian air tanah yang berkorelasi positif dengan peningkatan debit total dan hujan.

##### B. Saran

Peningkatan deforestasi pada DAS Balantieng perlu dicegah, karena hal ini dapat menurunkan kapisatas penyangga debit DAS. Terjadinya deforestasi meningkatkan sumbangan debit yang berasal dari aliran permukaan dan aliran cepat tanah, sehingga bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi kadang-kadang dapat memicu terjadinya banjir bandang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Andreassian, V., 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology* 291, 1-24.
- 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.
- 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.
- Gregersen, H.M., Ffolliott, P.F., Brooks, K.N., 2007. Integrated watershed management: Connecting people to their land and water. CAB International.
- Jeanes K, van Noordwijk M, Joshi L, Widayati A, Farida and Leimona B. 2006. Rapid Hydrological Appraisal in the context of environmental service rewards. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. 56 p.
- Kimble, J.M., Lal, R., 2000. Watershed management for mitigating the greenhouse effect. CRC Press.
- 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*.
- Lal, R., 2000. Rationale for watershed as a basis for sustainable management of soil and water resources. CRC Press.
- Lefroy, E.C., Stirzaker, R.J., 1999. Agroforestry for water management in the cropping zone of southern Australia. *Agroforestry systems* 45, 277-302.
- 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.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., dan Veith, T.L., 2001, Model Evaluation Guidelines, For, Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 20(3):885-900
- Noordwijk, M.v., Agus, F., Suprayogo, D., Hairiah, K., Passya, G., Verbist, B., Farida, 2004. Peranan agroforestri dalam mempertahankan fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS). *AGRIVITA* 26, 1-8.
- 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.
- 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*. CSIRO PUBLISHING, Australia.
- Swallow, B., Noordwijk, M.v., Dewi, S., Murdiyarso, D., White, D., Gockowski, J., Hyman, G., Budidarsono, S., Robiglio, V., Meadu, V., Ekadinata, A., Agus, F., Hairiah, K., Mbile, P., Sonwa, D.J., Weise, S., 2007. Opportunities for avoided deforestation with sustainable benefits. In, *An interim report of the ASB partnership for the Tropical Forest Margins*, Nairobi, Kenya.
- 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 Agroforstry Centre Southeast Asia Regional Program. hlm 117



- Van Noordwijk, M., Farida A, Suyanto DA and Khasanah N. 2003. Spatial variability of rainfall governs river flow and reduces effects on land use change at landscape scale: GenRiver and SpatRain simulations. MODSIM proceedings, Townsville (Australia) July 2003. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office.
- Widianto, Suprayogo, D., Noveras, H., Widodo, R.H., Purnomosidhi, P., Noordwijk, M.v., 2004. Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian: Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur.
- Zanne, A.E., G. Lopez-Gonzalez, G., D.A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, , S.L. Lewis, R.B. Miller, N.G. Swenson, M.C. Wiemann, and J. Chave,. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>. Accessed in February 4th, 2013.