

HASIL AIR HUTAN JATI PADA DUA SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI DENGAN LUAS BERBEDA (Water yield of Teak Forest at two different catchment sizes)

Tyas Mutiara Basuki¹, Rahardyan Nugroho Adi¹, dan Edi Sulasmiko¹

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai
(BPPTPDAS)

Diterima: 6 Juni 2016; Selesai Direvisi: 5 Oktober 2016; Disetujui: 28 Februari 2017

ABSTRACT

Effects of catchment sizes on hydrological responses were still being debated. Therefore, a study on hydrological effects of different catchment sizes was conducted in teak catchments. The catchments were Cemoro and Modang with their sizes were 13.5 and 3.4 km², respectively. Research sites were in Forest Management Sub Unit (BKPH) Pasar Sore, Forest Management Unit (KPH) Cepu, and administratively were located in Blora Regency. Physical conditions of these catchments were similar. Rainfall was measured everyday at 07.00 a.m. Stream Water Level (SWL) data were collected from tide gauge measurements which were constructed at the outlet of the catchments. Discharge data were obtained by conversion of the SWL into discharge based on regression equations between direct discharge measurements in the field and SWL. Data analysed from 2001 to 2015 showed that Cemoro catchment had higher annual runoff than Modang. Generally, monthly runoff from Cemoro catchment was higher than Modang catchment, only for several years the Modang catchment had higher monthly runoff than Cemoro catchment. Annual runoff coefficient of Cemoro catchment was always higher than Modang catchment during 2001 to 2015. The runoff coefficient ranged from 0.20 to 0.62 and from 0.06 to 0.38 for Cemoro and Modang catchments, respectively.

Key words: *teak; catchment size; annual runoff; monthly runoff; runoff coefficient*

ABSTRAK

Pengaruh luas DAS terhadap respon hidrologi menjadi perdebatan. Untuk itu dilakukan penelitian yang bertujuan mempelajari pengaruh luas Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap hasil air pada dua sub DAS berhutan jati. Penelitian dilakukan di Sub DAS Cemoro dan Modang dengan luas masing-masing 13,5 dan 3,4 km². Lokasi penelitian termasuk kedalam Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Pasar Sore, Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Cepu dan termasuk wilayah Kabupaten Blora. Kedua sub DAS tersebut memiliki kondisi biofisik sama. Curah hujan harian diamati setiap jam 07.00 pagi. Data tinggi muka air (TMA) diperoleh dari pembacaan peilskal yang dipasang pada *outlet* sub DAS. Data TMA dikonversi menjadi debit melalui persamaan hubungan antara debit yang diukur secara langsung dengan TMA. Selama tahun 2001 sampai 2015 terlihat bahwa Sub DAS Cemoro mempunyai limpasan tahunan lebih tinggi daripada Sub DAS Modang. Limpasan bulanan yang dihasilkan Sub DAS Cemoro umumnya lebih tinggi daripada Sub DAS Modang, hanya pada beberapa tahun saja limpasan bulanan Sub DAS Modang lebih tinggi daripada Sub DAS Cemoro.

Koefisien limpasan tahunan Sub DAS Cemoro selalu lebih tinggi daripada Sub DAS Modang selama tahun 2001 hingga 2015. Nilai tersebut berkisar antara 0,20 hingga 0,62 dan 0,06 hingga 0,38 masing-masing untuk Sub DAS Cemoro dan Modang secara berurutan.

Kata kunci: luas sub DAS; hutan jati; limpasan tahunan; limpasan bulanan; koefisien limpasan

I. PENDAHULUAN

Hasil air suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah aliran air total yang ke luar dari suatu DAS dan merupakan gabungan antara aliran lambat yang berupa aliran dasar dan aliran cepat atau limpasan langsung (Asdak, 1995). Aliran dasar dan aliran langsung tersebut merupakan komponen hidrograf aliran. Tata air termasuk hasil air suatu DAS dipengaruhi oleh faktor pengelolaan lahan, dalam hal ini jenis penutupan atau penggunaan lahan yang menentukan besar dan distribusi hasil air (Krishnaswamy *et al.*, 2013; Muñoz-Villers & McDonnell, 2013; Shamsuddin, Yusop, & Noguchi, 2014). Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor-faktor alami seperti formasi geologi (Stoelzle, Stahl, Morhard, & Weiler, 2014; Vannier, Braud, & Anquetin, 2014), geomorfologi dan jenis tanah (Ayalew, Krajewski, & Mantilla, 2014; Geris, Tetzlaff, McDonnell, & Soulsby, 2015), dan input hujan (Dixon & Earls, 2012; Kretzschmar, Tych, & Chappell, 2014; Peleg, Shamir, Georgakakos, & Morin, 2015). Faktor alami lain yang berpengaruh terhadap hasil air ataupun limpasan adalah luas DAS (Brown, McDonnell, Burnsb, & Kendall, 1999; Zhang, Podlasly, Ren, Feger, Wang, & Schwärzel, 2012).

Pengaruh jenis penutupan atau penggunaan lahan terhadap hasil air telah banyak diteliti seperti yang dilakukan di daerah beriklim sedang oleh beberapa peneliti baik dengan pemodelan (El-Khoury *et al.*, 2015; Wijesekara *et al.*, 2012) maupun dengan pengukuran langsung di lapangan (Harder, Pomeroy, & Westbrook, 2015). Sama halnya dengan di daerah beriklim sedang, di daerah arid-semi arid juga telah dilakukan penelitian perubahan penutupan lahan terhadap hasil air yang dilakukan dengan pengukuran langsung di *outlet* DAS dan juga pengukuran pemodelan dengan neraca air (Awotwi, Yeboah, & Kumi, 2015; Gallo, Brooks, Lohse, & Mclain, 2013; Ohana-Levi, Karnieli, Egozi, Givati, & Peeters, 2015). Di daerah tropis, hasil air dari hutan alam yang relatif bagus tegakannya dan hutan sekunder telah diteliti oleh Muñoz-Villers & McDonnell (2013), sedangkan Beck *et al.* (2013) mengamati hasil air dari dua belas DAS menggunakan data dari tahun 1955 sampai 2010 di daerah Puerto Rico.

Berbeda dengan penelitian pengaruh penutupan lahan terhadap hasil air, penelitian tentang pengaruh luas DAS/ sub DAS terhadap hasil air yang dihasilkan masih sedikit dilakukan (Brown, McDonnell, Burnsb, & Kendall, 1999). Padahal faktor alami tersebut juga berpengaruh terhadap karakteristik tata

air. Pengaruh luas DAS terhadap hasil air masih sedikit dimengerti dan kebanyakan hanya didasarkan kepada pemodelan hidrologi yang kompleks daripada model imperikal dan pengukuran langsung (McGlynn, 2004).

Pengaruh luas DAS terhadap kondisi tata air masih menjadi perdebatan. Menurut Blöschl *et al.* (2007), pada DAS yang kecil respon hidrologi lebih dipengaruhi oleh kondisi penutupan lahan, namun pada DAS yang besar respon hidrologi lebih banyak dipengaruhi kondisi iklim dalam hal ini curah hujan. Di lain pihak, hasil penelitian Gallo, Meixner, Aoubid, Lohse, & Brooks, (2015) yang menggunakan 78 DAS yang berukuran sangat kecil (0,1 ha) sampai sangat besar (>10.000 km²) menunjukkan bahwa ukuran DAS lebih berperan terhadap hasil air daripada penutupan lahan dan curah hujan. Demikian juga hasil penelitian di Loess Plateau, China yang menemukan bahwa pengaruh perubahan pengelolaan lahan terhadap debit tahunan berkurang dengan bertambahnya luas DAS, yang berarti terjadi ketergantungan terhadap ukuran DAS atas respon hidrologi dan perubahan lingkungan (Zhang *et al.*, 2012).

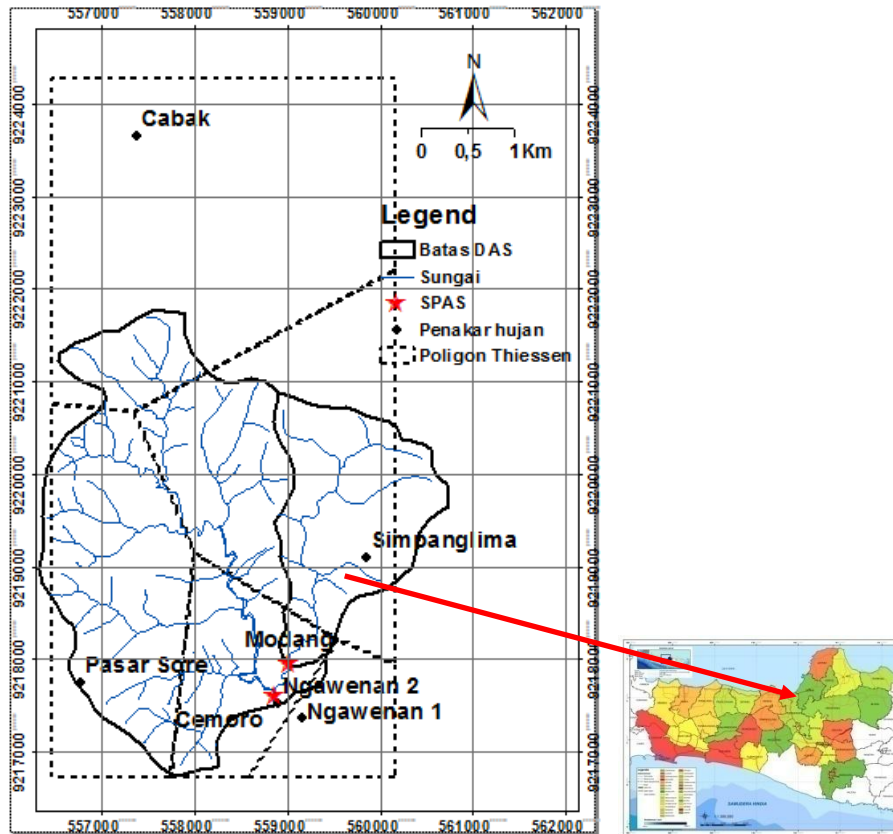
Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh luas sub DAS terhadap hasil air yang berupa limpasan pada dua sub DAS berhutan jati yang relatif sama persentase

hutan dan kondisi fisik lainnya, yaitu Sub DAS Cemoro dan Modang. Hasil penelitian seperti ini dapat digunakan untuk parameterisasi model-model hidrologi, tepatnya untuk memprediksi pengaruh pengelolaan lahan dalam DAS agar ketersediaan sumber air terjaga kelestariannya (Zhang *et al.*, 2012).

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan dari tahun 2001 hingga 2015. Lokasi penelitian di Sub DAS Cemoro dan Modang dengan luas masing-masing sub DAS 13,5 dan 3,4 km². Kedua sub DAS tersebut termasuk hutan KHDTK (Kesatuan Hutan dengan Tujuan Khusus) yang termasuk kedalam wilayah BKPH Pasar Sore, KPH Cepu dan termasuk kedalam wilayah administrasi Kabupaten Bora, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada 111⁰32'-111⁰33' Bujur Timur dan 70⁰3'-7⁰05' Lintang Selatan. Peta lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 1. Karakteristik hutan tercantum dalam Tabel 1 dan sebaran tahun tanam disajikan dalam Gambar 2. Kecuali luas sub DAS, karakter kedua sub DAS yang diteliti mirip, seperti bentuk yang membulat, kondisi topografi, maupun jenis batuan induknya yang secara rinci dapat dilihat dalam Tabel 2, sehingga kondisi tersebut diasumsikan sama.



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian di Sub DAS Cemoro dan Modang (The map of study areas at Cemoro and Modang catchments)

Tabel (Table) 1. Karakteristik hutan pada sub DAS yang diteliti (Forest characteristics of the investigated catchments)

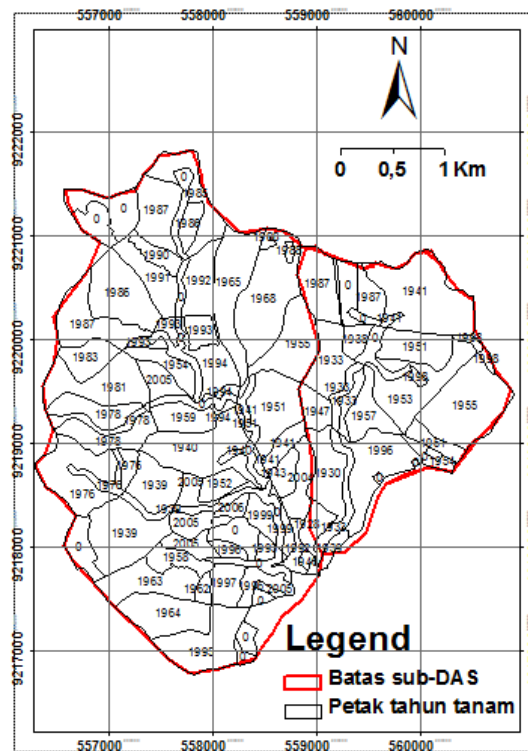
Sub DAS (Catchment)	Luas Sub DAS (Catchment area) (km ²)	Persentase luas hutan (Percentage of the forest area) (%)	Karakteristik hutan		
			Kerapatan pohon (Tree density) (pohon/ha) (trees/ha)	Luas penutupan tajuk (Canopy closure)(m ²)	Tumbuhan bawah dominan (Dominant understory plants)
Cemoro	13,5	91,1	403	33,2	Putri malu (<i>Mimosapudica</i>)
Modang	3,4	94,3	552	36,6	Garaman (<i>Ficus hirta</i>)

Sumber (Source): Pramono & Wahyuningrum (2010)

Tabel (Table) 2. Karakteristik Sub DAS Cemoro dan Modang (The characteristics of Cemoro and Modang catchments)

Sub DAS (Catchment)	Luas (Area) (km ²)	Bentuk DAS berdasarkan rasio kebulatan (Catchment form based on circularity ratio)	Kerapatan drainase (Drainage density) (km/km ²)	Kelerengan rata-rata (Average slope) (%)	Topografi (Topography)	Formasi geologi (Geology formation)
Cemoro	13,5	Membulat (Circular)(0,64)	2,07	18	Berbukit (Hilly)	Batu kapur (Limestone)
Modang	3,4	Membulat (Circular)(0,61)	1,62	20	Berbukit (Hilly)	Batu kapur (Limestone)

Sumber (Source): Pramono & Wahyuningrum (2010)



Gambar (Figure) 2. Peta sebaran waktu tanam jati di Sub DAS Cemoro dan Modang (*Distribution map of planting time of Teak at Cemoro and Modang catchments*)

B. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang dipergunakan untuk pengamatan dan pencatatan curah hujan meliputi kertas pias yang mencatat hujan pada penakar hujan otomatis, alat penakar hujan yang berupa ombrometer dengan pengukuran secara manual dengan gelas ukur. Pengukuran tinggi muka air (TMA) dengan menggunakan peilskal yakni berupa penggaris dari kayu yang panjang disesuaikan dengan tinggi air maksimum dari sungai yang diamati. Publikasi-publikasi yang telah diterbitkan sebelumnya dan memuat informasi tentang kondisi lokasi penelitian juga dipergunakan sebagai bahan acuan untuk mendapatkan data sekunder tentang kondisi hutan dan kondisi fisik sub DAS.

C. Metode Penelitian

1. Rancangan penelitian

Penelitian dilakukan berdasarkan sistem DAS/ sub DAS dengan input air berupa curah hujan yang jatuh dalam sub DAS yang diteliti dan hasil air berupa debit limpasan yang ke luar dari *outlet* sub DAS. Pada *outlet* sub DAS dipasang Peilskal untuk pengukuran tinggi muka air. Pengukuran dan pengamatan kondisi tegakan dan kondisi fisik lainnya dilakukan pada wilayah sub DAS yang diteliti.

2. Pengumpulan data

Data curah hujan dikumpulkan dari tahun 2001 hingga 2015 dengan mencatat curah hujan yang tertampung dalam penakar hujan ombrometer, dan untuk penakar hujan di lokasi Ngawenan curah hujan diperoleh dari penakar hujan otomatis. Pengukuran curah hujan

dilakukan tiap hari pada pukul 07.00 pagi. Untuk penakar hujan otomatis data hujan diperoleh dari pembacaan grafik curah hujan pada kertas pias yang terpasang. Tinggi muka air diamati dengan membaca batas ketinggian permukaan air pada peilskal yang dibaca tiga kali sehari yaitu pada pagi hari (07.00), siang hari (12.00) dan sore hari (17.00).

3. Analisis data

Beberapa penakar hujan dipasang di sekitar kedua sub DAS yang diteliti. Oleh karena itu, untuk mengetahui curah hujan yang masuk ke dalam masing-masing sub DAS dilakukan analisis poligon Thiessen seperti yang tercantum dalam Gambar 1. Hujan yang masuk ke dalam Sub DAS Cemoro merupakan curah hujan yang diukur pada penakar hujan di lokasi Cabak, Simpang Lima, Pasar Sore, dan Ngawenan 2 dimana terdapat stasiun klimatologi yang dilengkapi penakar hujan otomatis.

Masing-masing penakar hujan mewakili luasan tertentu dalam sub DAS dan diberi bobot dengan membagi luas yang diwakili dibagi luas sub DAS. Total hujan dalam sub DAS merupakan penjumlahan hujan dari masing-masing penakar dikalikan bobotnya. Untuk hujan yang masuk ke dalam Sub DAS Modang diwakili oleh curah hujan yang diukur di Simpang Lima dan Ngawenan 2. Jumlah hujan Sub DAS Modang juga dihitung seperti pada Sub DAS Cemoro namun hanya diwakili oleh data dari penakar hujan Simpang Lima dan Ngawenan. Untuk mengetahui apakah curah hujan di Sub DAS Cemoro relatif sama dengan hujan di Sub DAS Modang, maka dilakukan uji-t berpasangan pada selang kepercayaan 95%.

Untuk mengkonversi data TMA menjadi data debit perlu dilakukan pengukuran debit pada berbagai ketinggian muka air sungai. Berdasarkan hasil pengukuran debit secara langsung tersebut kemudian dibuat persamaan hubungan antara TMA dengan debit seperti yang disajikan dalam persamaan di bawah.

Sub DAS Cemoro:

$$Q = 2,943 H^{1,623} \text{ untuk } H < 30 \text{ cm} \quad (1)$$

$$Q = 22,159 H^{3,805} \text{ untuk } H = 30 \text{ sd } 60 \text{ cm} \quad (2)$$

$$Q = 12,151 H^{1,894} \text{ untuk } H = > 60 \text{ cm} \quad (3)$$

Sub DAS Modang:

$$Q = 0,516 H^{1,22} \text{ untuk } H < 30 \text{ cm} \quad (4)$$

$$Q = 6,893 H^{3,073} \text{ untuk } H = 30 \text{ sd } 90 \text{ cm} \quad (5)$$

$$Q = 7,793 H^{2,781} \text{ untuk } H > 90 \text{ cm} \quad (6)$$

dimana:

$$Q = \text{debit (discharge) (m}^3/\text{detik) (m}^3/\text{second)}$$

$$H = \text{tinggi muka air (height of river water level)}$$

Curah hujan dan debit bulanan tiap tahun dibandingkan antara Sub DAS Cemoro dan Modang. Hasil air suatu DAS dapat dinyatakan dalam satuan volume/waktu atau dalam mm. Untuk membandingkan hasil air dalam satuan volume/waktu dalam hal ini m³/detik yang keluar dari sub DAS yang diteliti maka perlu disamakan satuannya, yakni dengan membagi debit per luas masing-masing sub DAS menjadi tebal limpasan dalam mm. Selanjutnya dihitung koefisien limpasan tahunan yakni perbandingan curah hujan yang turun dengan limpasan langsung yang keluar melalui *outlet* sub DAS.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi curah hujan bulanan

Hasil uji-t berpasangan terhadap data curah hujan bulanan pada masing-masing tahun untuk kedua sub DAS yang diteliti menunjukkan tidak terjadi perbedaan

nyata pada selang kepercayaan 95% (Tabel 3). Oleh karena hasil analisis uji-t berpasangan pada taraf 95% menghasilkan nilai $p > 0,05$, maka curah hujan untuk kedua sub DAS diasumsikan sama.

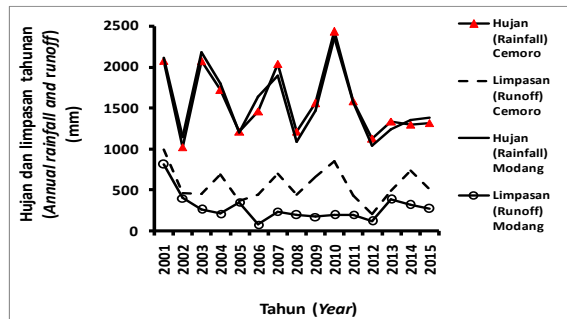
Tabel (Table) 3. Distribusi curah hujan bulanan (mm) dan nilai p pada selang kepercayaan 95% dengan uji-t berpasangan (Monthly rainfall in mm and p value at 95% confidence interval using Paired t-test)

Tahun (Year)	Sub DAS (Catchment)	Hujan (Rainfall) (mm)													Nilai P (p-value)
		Jan	Feb	Mr	API	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total	
2001	Cm	243	170	648	228	13	151	70	0	30	149	219	156	2076	0,91
	Md	165	142	965	205	10	120	35	0	40	112	153	170	2117	
2002	Cm	333	130	259	47	25	7,5	0	0	0	5	87	126	1019	0,43
	Md	415	75	185	95	50	10	0	0	0	10	123	180	1143	
2003	Cm	107	495	330	305	322	0	0	0	0	0	244	266	2070	0,53
	Md	85	640	340	335	300	0	0	0	0	0	253	223	2176	
2004	Cm	299	134	170	180	143	11	17	0	6	6	168	310	1445	0,19
	Md	348	99	196	136	149	16	26	0	9	10	252	462	1703	
2005	Cm	119	225	125	79	18	32	8	23	19	148	163	245	1203	0,07
	Md	133	328	176	114	27	48	12	34	28	135	160	233	1427	
2006	Cm	270	214	117	199	143	2	1	0	24	36	16	259	1280	0,95
	Md	255	191	105	239	140	3,03	2	0	25	35	9	273	1276	
2007	Cm	117	155	200	411	14	124	0	21	2	106	249	468	1865	1,47
	Md	90	145	203	461	7	104	0	12	0	111	242	523	1896	
2008	Cm	213	194	156	48	50	33	0	25	17	143	152	183	1213	0,09
	Md	236	158	154	35	0	38	0	11	20	116	152	168	1086	
2009	Cm	280	249	236	128	180	18	10	1	13	61	136	257	1571	0,46
	Md	190	241	298	99	207	18	16	0	0	100	83	212	1462	
2010	Cm	407	279	333	145	209	180	109	69	181	238	216	200	2566	0,40
	Md	417	266	291	114	201	175	115	50	198	242	206	230	2504	
2011	Cm	196	113	217	168	94	9	0	0	7	55	231	285	1376	0,09
	Md	244	125	205	182	111	16	0	0	8	31	268	322	1510	
2012	Cm	168	112	91	77	64	36	0	0	4	45	220	222	1030	0,11
	Md	145	103	78	40	73	5	0	0	8	18	170	258	897	
2013	Cm	201	144	170	272	76	120	13	0	1	9	163	322	1492	0,13
	Md	213	168	137	223	75	80	25	0	3	10	132	195	1258	
2014	Cm	195	168	189	123	79	57	5	0	2	30	144	197	1186	0,14
	Md	192	169	187	122	101	60	14	0	5	38	135	231	1243	
2015	Cm	165	240	202	248	36	8	0	0	2	2	81	326	1310	0,74
	Md	161	312	222	300	33	15	0	0	3	2	55	251	1353	

Keterangan (Remark): Cm = Cemoro
Md = Modang

B. Curah hujan, limpasan tahunan dan bulanan Sub DAS Cemoro dan Modang tahun 2001 sampai 2015

Limpasan tahunan (mm) Sub DAS Cemoro selama lima belas tahun penelitian selalu lebih tinggi daripada limpasan tahunan Sub DAS Modang seperti yang tercantum dalam Gambar 3. Jika dilihat data hujan dalam Tabel 3 atau Gambar 3, maka dengan curah hujan tahunan yang relatif sama, Sub DAS Cemoro lebih banyak menghasilkan air daripada Sub DAS Modang. Dengan kondisi biofisik lain, seperti kondisi hutan, bentuk DAS, struktur batuan, curah hujan yang mirip, maka perbedaan hasil air tersebut sangat mungkin disebabkan perbedaan luas Sub DAS Cemoro yang tiga kali lebih besar daripada Sub DAS Modang.

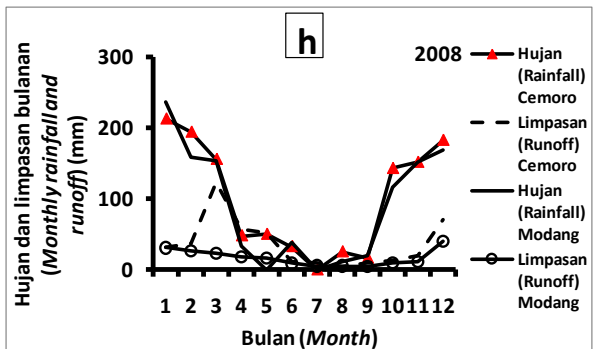
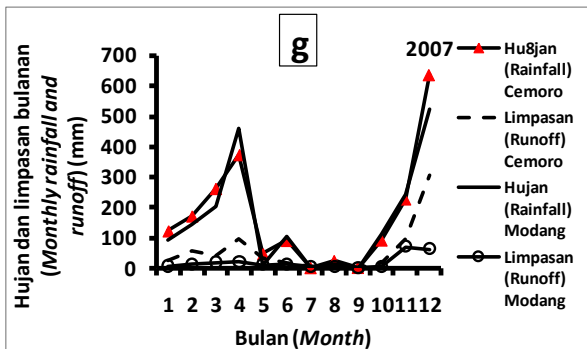
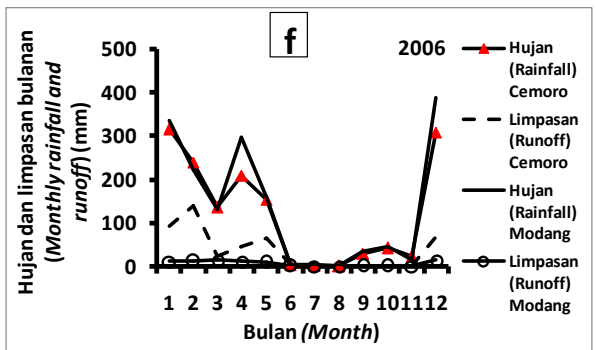
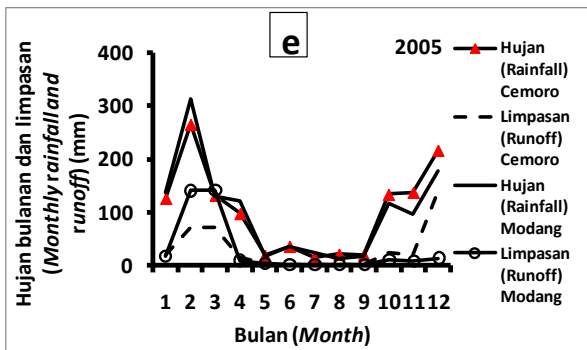
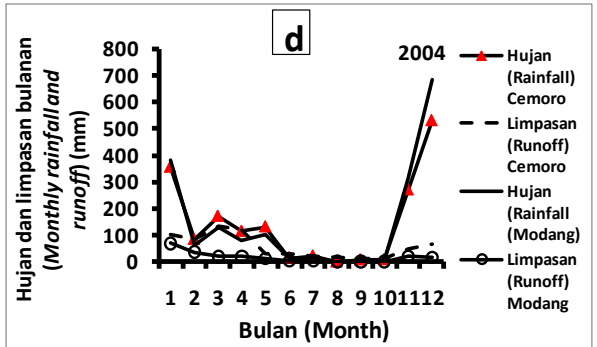
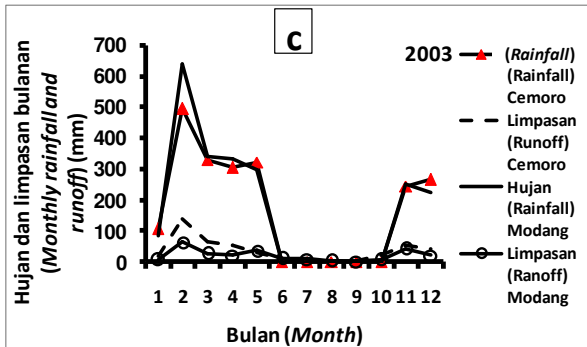
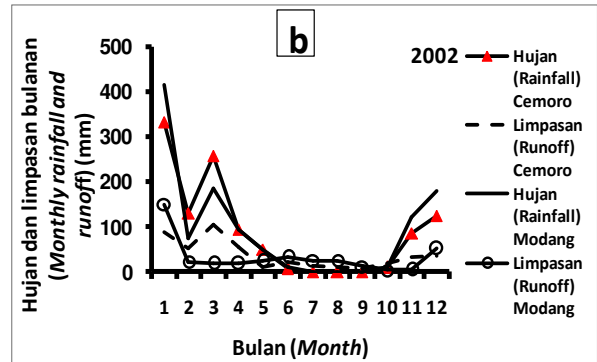
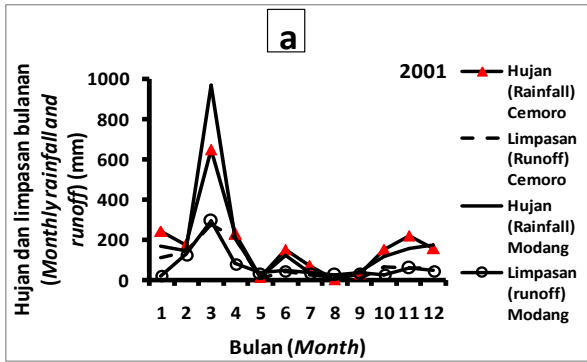


Gambar (Figure) 3. Hujan dan limpasan tahunan Sub DAS Cemoro dan Modang dari 2001 hingga 2015 (Annual rainfall and runoff Cemoro and Modang catchments from 2001 to 2015)

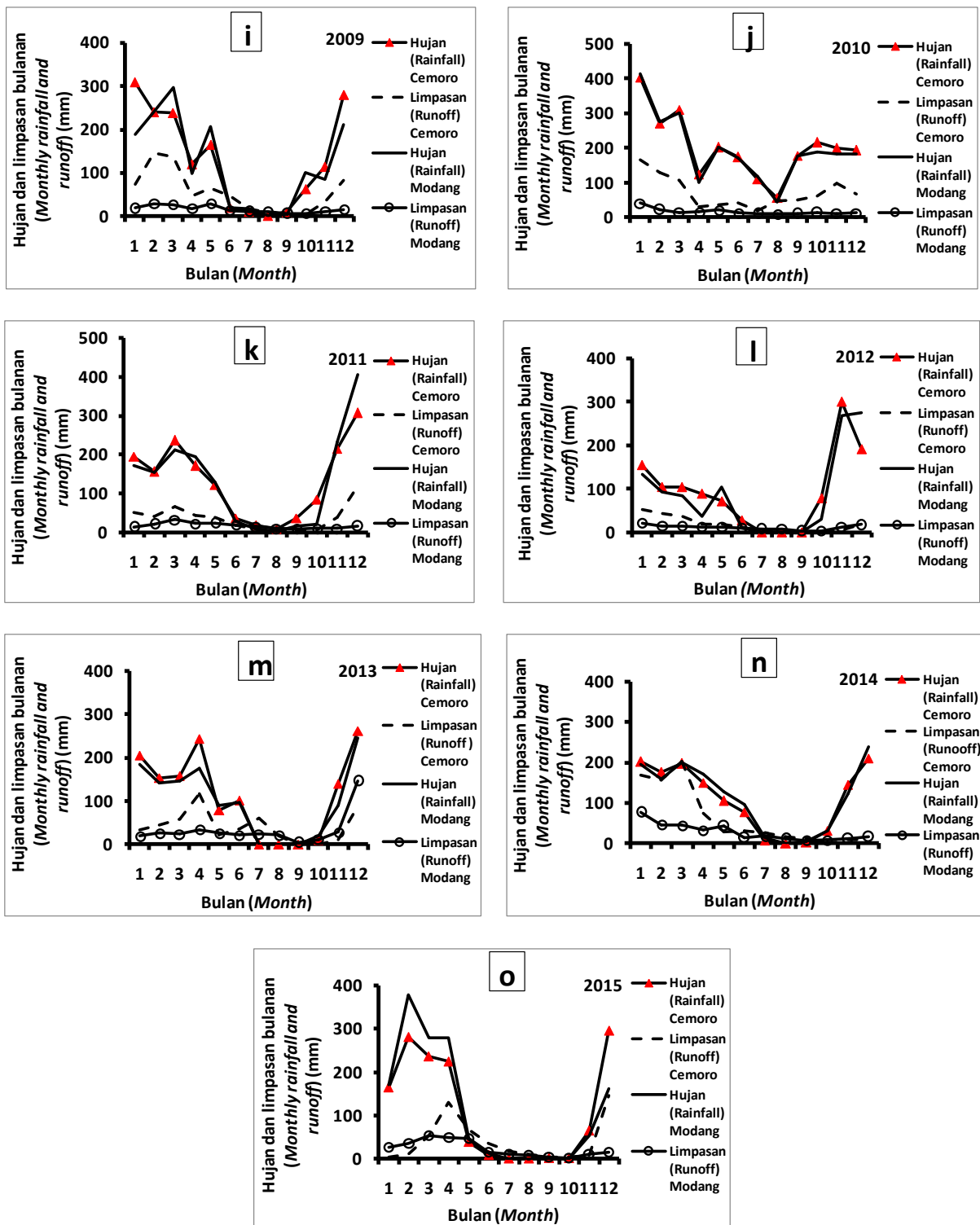
Perbandingan limpasan bulanan tiap tahun untuk kedua sub DAS yang diteliti dapat dilihat dalam Gambar 4. Pada musim penghujan sekitar Nopember sampai April umumnya limpasan bulanan selalu lebih tinggi di Sub DAS Cemoro daripada Modang, kecuali pada awal tahun 2005,

akhir tahun 2013 dan awal tahun 2015. Sama halnya dengan musim penghujan, pada musim kemarau limpasan bulanan Sub DAS Cemoro lebih tinggi daripada Sub DAS Modang kecuali pada tahun-tahun tertentu. Pada tahun 2001 dan 2002 pada bulan Mei hingga September limpasan bulanan Sub DAS Cemoro lebih tinggi daripada Sub DAS Modang (Gambar 4a dan 4b). Limpasan yang sedikit lebih tinggi di Sub DAS Modang daripada Sub DAS Cemoro juga terjadi pada tahun 2011 dan 2012, yakni bulan Juli hingga Oktober (Gambar 4k dan 4l).

Kondisi dimana sub DAS yang lebih besar tidak selalu memberikan hasil air yang lebih banyak daripada sub DAS dengan luasan yang lebih kecil juga terjadi dalam penelitian di New Zealand yang dilakukan oleh (McGlynn, 2004). Hasil penelitian (McGlynn, 2004) menunjukkan bahwa pada ukuran sub DAS 2,6 ha dan 280 ha tidak ada hubungan yang jelas antara hasil air dalam hal ini limpasan dengan ukuran sub DAS. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pada sub DAS kecil di bagian hulu, limpasan lebih dipengaruhi oleh kondisi kelembaban tanah sebelumnya dan jumlah curah hujan yang jatuh saat itu. Hal demikian terlihat pada Gambar 4n, pada bulan Januari, Februari, dan Maret limpasan bulanan yang tinggi disebabkan kondisi tanah yang telah dijenuhi air hujan yang jatuh pada bulan-bulan sebelumnya.



Lanjutan (continued)



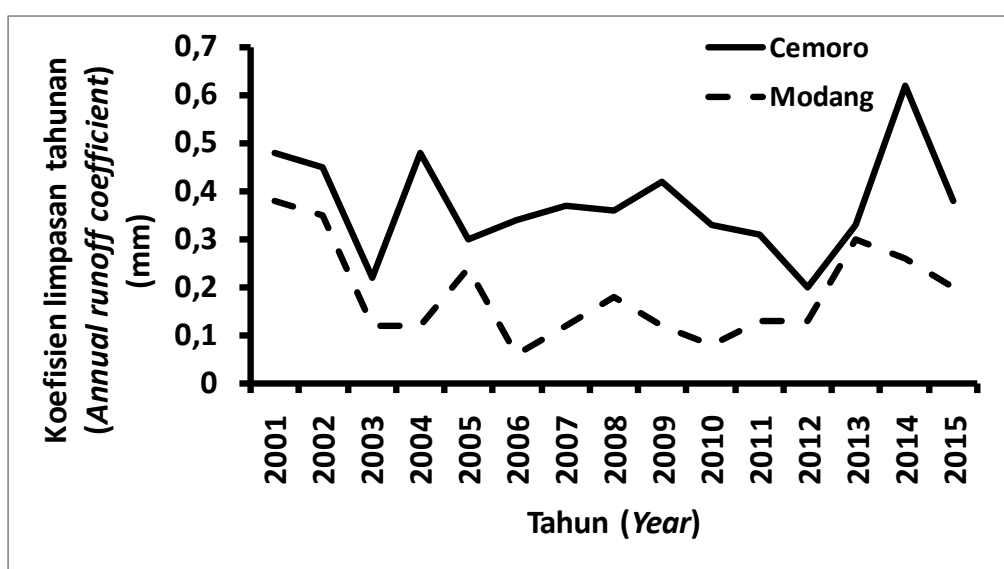
Gambar (Figure) 4. Perbandingan distribusi hujan dan limpasan bulanan Sub DAS Cemoro dan Modang tahun 2001 sampai 2015 (*The comparison of monthly rainfall and runoff distribution of Cemoro and Modang catchments from 2001 to 2015*)

C. Koefisien limpasan Sub DAS Cemoro dan Modang

Koefisien limpasan merupakan perbandingan debit aliran langsung dibagi dengan input hujan. Koefisien yang dihitung dalam penelitian ini merupakan nilai tahunan karena jika dihitung berdasarkan nilai bulanan maka akan terjadi nilai koefisien limpasan tak terhingga disebabkan oleh musim kemarau yang panjang yang menyebabkan tidak ada hujan sama sekali. Hasil analisis selama lima belas tahun menunjukkan Sub DAS Cemoro selalu mempunyai koefisien limpasan yang lebih tinggi daripada Sub DAS Modang seperti yang terlihat dalam Gambar 5. Walaupun koefisien limpasan tahunan Sub DAS Cemoro selalu lebih tinggi daripada Sub DAS Modang, namun ada kemiripan pola. Kondisi demikian disebabkan areal Sub DAS Cemoro yang lebih luas daripada Sub DAS Modang.

Hasil penelitian tersebut di atas sejalan dengan hasil penelitian (Brown, *et. al.*,

1999) yang mendapatkan bahwa pada kondisi tanah yang jenuh air, koefisien limpasan bertambah lebih besar dengan bertambahnya luas sub DAS. Penelitian tersebut dilakukan pada tujuh sub DAS dengan variasi ukuran dari 8 hingga 161 ha. Namun, menurut (Bi, Bi, Sun, Chang, & Gao, 2014) yang menggunakan 67 DAS dalam penelitiannya mendapatkan bahwa untuk DAS yang luasnya kurang dari 50 km² maka koefisien limpasan lebih dipengaruhi oleh perbedaan topografi lokal, intensitas hujan, perbedaan sifat tanah, dan struktur tegakan, namun bukan penutupan hutan secara umum. Kedua penelitian tersebut terletak pada sub DAS yang mempunyai tipe batuan sedimen yang didominasi oleh batuan pasir (*Sandstone*). Pengaruh perbedaan mikro topografi yang lebih dominan terhadap limpasan pada areal yang kecil juga dikemukakan oleh (Peñuela, Javaux, & Biielders, 2013).



Gambar (Figure) 5. Koefisien limpasan tahunan Sub DAS Cemoro dan Modang dari tahun 2001 sampai 2015 (Annual runoff coefficient of Cemoro and Modang catchments from 2001 to 2015)

IV. KESIMPULAN

Hasil analisis data tahun 2001 sampai 2015 menunjukkan bahwa Sub DAS Cemoro yang lebih luas, yakni 13,5 km² selalu mempunyai limpasan tahunan lebih tinggi daripada Sub DAS Modang yang berukuran 3,4 km². Limpasan bulanan yang dihasilkan Sub DAS Cemoro umumnya lebih tinggi daripada Sub DAS Modang, hanya pada beberapa tahun saja terjadi limpasan bulanan lebih tinggi di Sub DAS Modang daripada Sub DAS Cemoro. Dengan curah hujan yang tidak berbeda nyata secara statistik, koefisien limpasan tahunan Sub DAS Cemoro selalu lebih tinggi daripada Sub DAS Modang selama tahun 2001 hingga 2015. Untuk kedepannya, penelitian pengaruh luas DAS terhadap tata air disarankan untuk menggunakan jumlah DAS yang lebih banyak dan variasi luas DAS yang lebih besar agar diperoleh secara jelas sampai seberapa jauh luas DAS berpengaruh terhadap tata air dan juga parameter hidrologi apa saja yang dipengaruhi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Pengelolaan DAS, Surakarta. Ucapan terimakasih ditujukan untuk semua peneliti, teknisi, pihak manajemen, bagian administrasi keuangan yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (1st ed.). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Awotwi, A., Yeboah, F., & Kumi, M. (2015). Assessing the impact of land cover changes on water balance components of White Volta Basin in West Africa. *Water and Environment Journal*, 29(2), 259–267. <https://doi.org/10.1111/wej.12100>
- Ayalew, T. B., Krajewski, W. F., & Mantilla, R. (2014). Connecting the power-law scaling structure of peak-discharges to spatially variable rainfall and catchment physical properties. *Advances in Water Resources*, 71(September), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.05.009>
- Beck, H. E., Bruijnzeel, L. A., M. Van Dijk, A. I. J., McVicar, T. R., Scatena, F. N., & Schellekens, J. (2013). The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2613–2635. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2613-2013>
- Bi, C., Bi, H., Sun, G., Chang, Y., & Gao, L. (2014). Scale effects and variability of forest – water yield relationships on the Loess Plateau, China. *The Forestry Chronicle*, 90(2), 184–191.
- Blöschl, G., Ardoin-Bardin, S., Bonell, M., Dorninger, M., Goodrich, D., Gutknecht, D., Szolgay, J. (2007). At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows? *Hydrological Processes*, 21(9), 1241–1247. <https://doi.org/10.1002/hyp.6669>. Accepted

- Brown, V.A., McDonnella, J.J., Burnsb, D.A., & Kendall, C. (1999). The role of event water, a rapid shallow flow component, and catchment size in summer stormflow. *Journal of Hydrology*, 217, 171–190. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00247-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00247-9)
- Dixon, B., & Earls, J. (2012). Effects of urbanization on streamflow using SWAT with real and simulated meteorological data. *Applied Geography*, 35(1–2), 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.010>
- El-Khoury, A., Seidou, O., Lapen, D. R. L., Que, Z., Mohammadian, M., Sunohara, M., & Bahram, D. (2015). Combined impacts of future climate and land use changes on discharge, nitrogen and phosphorus loads for a Canadian river basin. *Journal of Environmental Management*, 151, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.012>
- Gallo, E.L. Meixner, T. Aoubid, H. Lohse, K.A. Brooks, P. D. (2015). Combined impact of catchment size, land cover, and precipitation on streamflow and total dissolved nitrogen: A global comparative analysis. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 1109–1121. <https://doi.org/10.1002/2015GB005154>
- Gallo, E. L., Brooks, P. D., Lohse, K. A., & Mclain, J. E. T. (2013). Temporal patterns and controls on runoff magnitude and solution chemistry of urban catchments in the semiarid southwestern United States. *Hydrological Processes*, 27(7), 995–1010. <https://doi.org/10.1002/hyp.9199>
- Geris, J., Tetzlaff, D., McDonnell, J., & Soulsby, C. (2015). The relative role of soil type and tree cover on water storage and transmission in northern headwater catchments. *Hydrological Processes*, 29(7), 1844–1860. <https://doi.org/10.1002/hyp.10289>
- Harder, P., Pomeroy, J. W., & Westbrook, C. J. (2015). Hydrological resilience of a Canadian Rockies headwaters basin subject to changing climate, extreme weather, and forest management. *Hydrological Processes*, 29(18), 3905–3924. <https://doi.org/10.1002/hyp.10596>
- Kretzschmar, A., Tych, W., & Chappell, N. A. (2014). Reversing hydrology: Estimation of sub-hourly rainfall time-series from streamflow. *Environmental Modelling and Software*, 60, 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.017>
- Krishnaswamy, J., Bonell, M., Venkatesh, B., Purandara, B. K., Rakesh, K. N., Lele, S., ... Badiger, S. (2013). The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the “infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis. *Journal of Hydrology*, 498, 191–209. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.034>
- McGlynn, B. L. (2004). Scale effects on headwater catchment runoff timing, flow sources, and groundwater-streamflow relations. *Water Resources Research*, 40(7), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2003WR002494>
- Muñoz-Villers, L. E., & McDonnell, J. J. (2013). Land use change effects on runoff generation in a humid tropical montane cloud forest region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(9), 3543–3560. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3543-2013>

- Ohana-Levi, N., Karnieli, A., Egozi, R., Givati, A., & Peeters, A. (2015). Modeling the Effects of Land-Cover Change on Rainfall-Runoff Relationships in a Semiarid, Eastern Mediterranean Watershed. *Advances in Meteorology*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/838070>
- Peleg, N., Shamir, E., Georgakakos, K. P., & Morin, E. (2015). A framework for assessing hydrological regime sensitivity to climate change in a convective rainfall environment: A case study of two medium-sized eastern Mediterranean catchments, Israel. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 567–581. <https://doi.org/10.5194/hess-19-567-2015>
- Peñuela, A., Javaux, M., & Bielders, C. L. (2013). Scale effect on overland flow connectivity at the plot scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 87–101. <https://doi.org/10.5194/hess-17-87-2013>
- Pramono, I.B. & Wahyuningrum, N. (2010). Luas optimal hutan jati sebagai pengatur tata air di daerah aliran sungai (das) berbahan induk kapur (. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, VII(5), 459–467.
- Shamsuddin, S. A., Yusop, Z., & Noguchi, S. (2014). Influence of Plantation Establishment on Discharge Characteristics in a Small Catchment of Tropical Forest. *International Journal of Forestry Research*, 2014, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/408409>
- Stoelzle, M., Stahl, K., Morhard, A., & Weiler, M. (2014). Streamflow sensitivity to drought scenarios in catchments with different geology. *Geophysical Research Letters*, 41(17), 6174–6183. <https://doi.org/10.1002/2014GL061344>
- Vannier, O., Braud, I., & Anquetin, S. (2014). Regional estimation of catchment-scale soil properties by means of streamflow recession analysis for use in distributed hydrological models. *Hydrological Processes*, 28(26), 6276–6291. <https://doi.org/10.1002/hyp.10101>
- Wijesekara, G. N., Gupta, A., Valeo, C., Hasbani, J. G., Qiao, Y., Delaney, P., & Marceau, D. J. (2012). Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada. *Journal of Hydrology*, 412–413, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.018>
- Zhang, L., Podlasly, C., Ren, Y., Feger, K., & Wang, Y., & Schwärzel, K. (2012). Separating the effects of changes in land management and climatic conditions on long-term streamflow trends analyzed for a small catchment in the Loess Plateau region, NW China. *Hydrological Processes*, 28(3), 1284–1293. <https://doi.org/10.1002/hyp.9663>