

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

22081a39e4836a10e861fc2909e8fe112b58035b4052b85cf86f11446da2b5c2

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

**PENGARUH PEMBANGUNAN HUTAN TANAMAN TERHADAP TATA AIR
(STUDI SIMULASI DI DAS CITANDUY HULU)**

(Effect of Plantation Forest Development on Water System, A Simulation study in Upper Citanduy Watershed)

Edy Junaidi¹

¹Pusat Riset Limnologi dan Sumberdaya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jalan Raya Bogor km 46, Cibinong, Bogor 16911
Alamat email : edy.junaidi@brin.go.id

Diterima: 07 April 2022, Direvisi : 01 Juli 2022, Disetujui : 15 Juli 2022

ABSTRACT

Plantation forest development was dominated by commercial timber-producing of tree species, coniferous and deciduous. Plantation forest development affects water yield in an area. Research on the effect of plantation forest development on water yield at the watershed scale has not been widely carried out. This study aimed to predict the environmental effect of plantation forests development three groups of commercial timber-producing groups, namely needle-leaf evergreens, broad-leaf deciduous, and broad-leaf evergreens, on water yield at the watershed scale. This research uses the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model to assess water yield. Plantations development of needle-leaf evergreens, broad-leaf deciduous and broad-leaf evergreens had no negative effect on water yield. Plantations development of needle-leaf evergreens, contributed maximum water from the base flow and lateral flow in a 60% forest area on a watershed area. A 40% increase in broad-leaf deciduous in the watershed contributes to an increase in water system from surface flow. The results of this study are expected to become a consideration in policy making related to the development of plantation forests at the watershed scale.

Keywords: *broad-leaf deciduous; broad-leaf evergreens; needle-leaf evergreens; water yield and SWAT model*

ABSTRAK

Pengembangan hutan tanaman didominasi oleh jenis-jenis pohon penghasil kayu komersial, yaitu pohon daun jarum dan pohon daun lebar. Pembangunan hutan tanaman mempengaruhi hasil air pada suatu wilayah. Penelitian pengaruh pembangunan hutan tanaman terhadap hasil air pada skala Daerah Aliran Sungai (DAS) belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh lingkungan pembangunan hutan tanaman tiga kelompok penghasil kayu komersial yaitu *evergreen* daun jarum, *deciduous* daun lebar, dan *evergreen* daun lebar, terhadap tata air pada skala DAS. Penelitian ini menggunakan model SWAT (*Soil and Water*

Assessment Tool) untuk menilai tata air DAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembangunan hutan tanaman *evergreen* daun jarum, *evergreen* daun lebar dan *deciduous* daun lebar tidak memberikan pengaruh negatif terhadap tata air DAS. Pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum, memberikan sumbangan air dari *base flow* dan *lateral flow* maksimum pada luas hutan 60 % dari luas DAS. Peningkatan 40 % luasan *Deciduous* daun lebar pada areal DAS memberikan sumbangan peningkatan tata air DAS dari aliran permukaan (*surface flow*). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam pengambilan kebijakan terkait pengembangan hutan tanaman pada skala DAS.

Kata kunci: *deciduous* daun lebar; *evergreen* daun jarum; *evergreen* daun lebar; hasil air dan model SWAT

I. PENDAHULUAN

Pengembangan hutan tanaman di Indonesia (hutan tanaman industri atau HTI, hutan tanaman rakyat atau hutan rakyat) merupakan kebijakan yang dicanangkan pemerintah melalui Peraturan Pemerintah (PP) No 7 tahun 1990 dan PP No. 34 tahun 2002. Peraturan tersebut merupakan kebijakan untuk mengatasi defisit bahan baku industri perkayuan (\pm 46 %) yang tidak dapat lagi dipenuhi oleh hutan (Eyes on the Forest *et al.*, 2015; IWGFF, 2010; Multilateral, 2015; Syahadat, 2013; Verchot *et al.*, 2010). Hutan tanaman di Indonesia umumnya didominasi oleh jenis-jenis pohon penghasil kayu komersial (Eyes on the Forest *et al.*, 2015; Muhdi, 2004). Terdapat dua kelompok pohon kayu komersial yaitu pohon daun jarum (*konifer*) dan pohon daun lebar (Haygreen & Bowyer, 1996). Pada masing-masing kelompok terbagi lagi menjadi *deciduous* (menggugurkan daun) dan *evergreen* (tidak menggugurkan daun) (Haygreen & Bowyer, 1982; Muhdi, 2004). Di Indonesia berkembang tiga kelompok pohon penghasil kayu komersial, yaitu daun jarum tidak menggugurkan daunnya, daun lebar tidak menggugurkan daunnya dan daun lebar menggugurkan daunnya.

Jenis vegetasi, kondisi iklim, karakteristik wilayah, dan geologi wilayah dapat berpengaruh pada sumberdaya air wilayah tersebut (Chakraborty *et al.*, 2020; Fox *et al.*, 2012; Greenwood, 2017; Junaidi & Tarigan, 2011a; Khan *et al.*, 2017; van Vliet *et al.*, 2012; Wilson, 2020). Pembangunan hutan (termasuk hutan tanaman) pada skala luas berpotensi menimbulkan dampak perubahan lingkungan khususnya sumberdaya air (Stanturf, Palik, & Dumroese, 2014). Hutan tanaman dengan tegakan yang sejenis (monokultur) akan memberikan respons yang berbeda terhadap hasil air pada suatu kawasan (Lisnawati, 2012; Mcguire & Likens, 2011; Shamsuddin, Yusop, & Noguchi, 2014). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi hutan sejenis misalnya *Pinus* sp. dan *Eucalyptus* sp. memiliki nilai evapotranspirasi yang besar sehingga menurunkan debit air sungai pada musim kemarau (Beltran *et al.*, 2010; del Campo, Fernandes, & Molina, 2014). Hasil penelitian yang lain menunjukkan pinus dan eukaliptus dapat menurunkan aliran permukaan pada musim penghujan (Ferraz *et al.*, 2013; González-Sanchis *et al.*, 2015; King *et al.*, 2013; Stanturf *et al.*, 2013; Vose *et al.*,

2014). Penelitian mengenai dampak tata air pembangunan hutan tanaman *evergreen* daun lebar (*Pinus sp.* dan *Eucalyptus sp.*) di Indonesia pada skala plot dan DAS, sudah banyak dilakukan (Ferraz *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2012; Lisnawati, 2012; Siswamartana *et al.*, 2002; Supangat *et al.*, 2016). Jenis hutan tanaman *deciduous* daun lebar dan *evergreen* daun jarum, penelitian masih terbatas baik skala plot dan DAS.

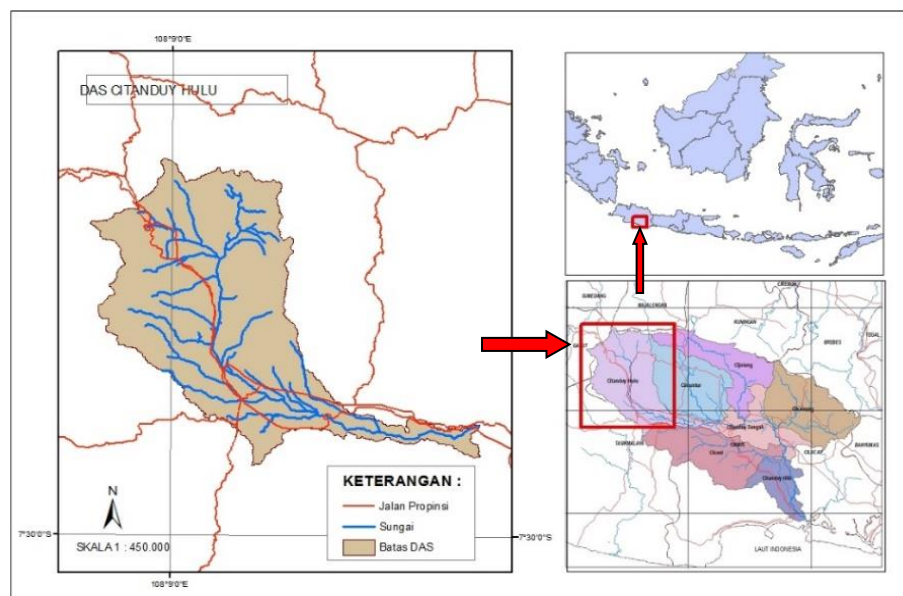
Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pembangunan hutan tanaman *evergreen* daun lebar (*Albasia sp.* serta *Acacia sp.*), *deciduous* daun lebar (*Gmelina sp.* dan *Tectano grandis sp.*) dan *evergreen* daun jarum (*Pinus sp.* dan *Eucalyptus sp.*) terhadap tata air DAS. Penelitian ini menggunakan model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) untuk menilai tata air DAS. Manfaat dari Penelitian ini diharapkan dapat memberi masukan pada pengambil kebijakan dalam pengelolaan pengembangan hutan tanaman.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan di DAS Citanduy Hulu, Jawa Barat. DAS Citanduy Hulu secara Geografi terletak pada $7^{\circ} 7' - 7^{\circ} 17'$ LS dan $108^{\circ} 4' - 108^{\circ} 24'$ BT (Gambar 1). Luas DAS sekitar 72.409,5 Ha, dengan panjang rata-rata sungai utama + 7,4 km dan gradien sungai 1,02 % masuk kriteria agak rendah. DAS Citanduy Hulu melewati 5 kabupaten dan 1 kabupaten kota, yaitu Kabupaten Majalengka, Kabupaten Garut, Kabupaten Ciamis, Kabupaten Tasikmalaya, Kabupaten Sumedang dan Kota Tasikmalaya. Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari 2019 – Desember 2020.

Wilayah DAS Citanduy Hulu menurut klasifikasi Mohr (1993) masuk Golongan iklim II (daerah agak basah) dan klasifikasi Schmidt – Fergusson (1951) tipe hujan golongan C (agak basah) (Junaidi *et al.*, 2014; Puspitodjati *et al.*, 2012a, 2012b).



Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian di DAS Ciatanduy Hulu (*The research location in the Upper Citanduy watershed*)

Sumber (Source): Junaidi & Handayani (2016b)

Curah hujan daerah penelitian berada pada kisaran curah hujan > 2000 mm/tahun, berada dalam kriteria tinggi. Wilayah DAS Citanduy Hulu, sebagian besar berada pada nilai aktual evapotranspirasi > 1000 mm/tahun, termasuk kriteria sedang (Junaidi & Maryani, 2013).

B. Bahan dan Alat

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa data kondisi karakteristik tutupan lahan (karakteristik hutan tanaman perwakilan pada umur siap panen) yaitu *Pinus sp.* dan *Eucalyptus sp.* untuk kelompok *evergreen* daun jarum, *Gmelina sp.* dan *Tectano grandis sp.* untuk kelompok *deciduous* daun lebar serta *Albasia sp.* serta *Acacia sp.* untuk kelompok *evergreen* daun lebar, data jenis tanah dan data karakteristik sungai. Data sekunder yang diperlukan, yaitu peta jaringan sungai, peta DEM (*Digital Elevation Model*), peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, iklim dan karakteristik sungai. Alat yang digunakan komputer dengan *software ArcGIS 10*, *software ArcSWAT 10.1*, *software InVEST 3.2 (Scenario generator)*, GPS dan alat tulis menulis.

C. Metode Penelitian

1. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Penelitian ini dilaksanakan dengan memanfaatkan model SWAT. Pemanfaatan model SWAT dapat untuk menilai dan mengevaluasi perencanaan, salah satunya perubahan penggunaan lahan, yang akan dan telah dilaksanakan pada suatu DAS (Abbas *et al.*, 2015a; Panhalkar 2014; Shen *et al.*, 2015; Abbas *et al.*, 2015b;; Susanto *et al.*, 2017).

Model SWAT yang digunakan pada penelitian ini sudah terintegrasi dengan *Digital Elevation Model (DEM)* dan GIS berasal dari pengembangan beberapa model hidrologi (Junaidi & Handayani, 2016). Model ini mampu menggambarkan kondisi hidrologi, sedimen dan polutan pada suatu DAS, berdasarkan perubahan skenario-skenario yang diinginkan pada skala waktu harian. Pada model ini, simulasi proses hidrologi meliputi: infiltrasi, aliran bagian permukaan, aliran lateral, evaporasi, transpirasi, pergerakan air tanah dan *routing* perjalanan aliran (Cuceloglu, Abbaspour, and Ozturk, 2017; Francesconi *et al.*, 2016; Junaidi, 2016; Lu *et al.*, 2015; Motsinger, Kalita, & Bhattarai, 2016).

Model SWAT menggunakan tiga jenis data, yaitu data spasial, iklim dan hidrologi (Tabel 1.). Data iklim dan spasial sebagai input model. Data hidrologi diperlukan untuk proses kalibrasi dan verifikasi model.

Pada model SWAT, perhitungan neraca air yang digunakan mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t-1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots (1)$$

Di mana SW_t adalah kandungan akhir *soilwater* (mm H₂O), SW_0 adalah kandungan awal *soilwater* (mm H₂O), t adalah waktu (hari), R_{day} adalah jumlah curah hujan pada hari ke-i (mm H₂O), Q_{surf} adalah jumlah *surface runoff* hari ke-i (mm H₂O), E_a adalah jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mm H₂O), w_{seep} adalah jumlah yang memasuki *vadose zone* pada profil tanah pada hari ke-i (mm H₂O), dan Q_{gw} adalah jumlah air yang kembali ke

groundwater pada hari ke-i (mm H₂O) (Neitsch *et al.* 2011).

Model SWAT menyediakan 2 metode untuk memperkirakan nilai Q_{surf} , yaitu prosedur SCS kurva number (SCS, 1972) dan metode infiltrasi Green & Ampt (1911) (Neitsch *et al.*, 2011). Untuk penelitian ini metode yang digunakan adalah prosedur SCS kurva number.

Hasil air dalam model SWAT, merupakan total dari aliran hasil total dari aliran permukaan (Q_{surf}), kontribusi aliran lateral (Q_{lat}) dan kontribusi aliran tanah (Q_{gw}). Hasil ini kemudian dikurangi dengan nilai total air yang hilang dari anak sungai yang dikenal sebagai resapan air (TLoss) (Neitsch *et al.*, 2011).

Metode yang digunakan dalam model SWAT untuk menghitung evaporasi potensial menggunakan tiga metode, yaitu metode Penman-Monteith (Monteith, 1965; Allen, 1986; Allen *et al.*, 1989), metode Priestley-Taylor (Priestley & Taylor, 1972) dan metode Hargreaves (Hargreaves *et al.*, 1985). Pada kegiatan ini perhitungan evaporasi potensial menggunakan metode Penman-Monteith. Perhitungan evaporasi actual dalam SWAT memperhitungkan evaporasi potensial dan evaporasi tajuk tanaman. Perhitungan jumlah maksimum transpirasi dan jumlah maksimum sublimasi/penguapan tanah menggunakan pendekatan yang mirip dengan Richtie (1972) (Neitsch *et al.* 2011),

2. Perubahan tutupan lahan

Skenario simulasi perubahan tutupan lahan menggunakan software InVEST 3.2 (*Scenario generator*) (Sharp *et al.*, 2014). Skenario simulasi yang dilakukan dengan mengubah penggunaan lahan di DAS Citanduy Hulu (selain tutupan lahan

tambak, tubuh air dan rawa) dengan penggunaan lahan *evergreen* daun jarum (skenario 1), *deciduous* daun lebar (skenario 2) dan *evergreen* daun lebar (skenario 3). Perubahan tutupan lahan setiap skenario bertahap mulai dari 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % dan 100 % menjadi penggunaan lahan yang diinginkan untuk masing-masing skenario.

3. Analisis Data

3.1. Kalibrasi dan verifikasi model SWAT.

Proses kalibrasi bertujuan menentukan nilai beberapa parameter sehingga hasil simulasi model mendekati nilai aktual. Verifikasi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model. Evaluasi kemampuan model menggunakan kriteria statistik, yaitu koefisien determinasi (R^2) dan koefisien Nash-Sutcliffe (E_{NS}) (Arluis *et al.*, 2020). Hasil simulasi debit menunjukkan kriteria baik apabila nilai $ENS \geq 0,5$ dan $R^2 \geq 0,6$.

Data yang digunakan pada saat proses kalibrasi dan verifikasi adalah data aktual debit Sindangrasa. Proses kalibrasi menggunakan data tahun 2009, sedangkan verifikasi menggunakan data tahun 2010.

3.2. Analisis output tata air hasil simulasi model pada masing-masing skenario

Analisis output berupa data kompilasi yang dianalisis secara deskriptif dibandingkan antara perubahan tutupan lahan (masing-masing skenario) dengan penggunaan lahan saat ini dalam bentuk tabel dan grafik. Data *output* model yang dianalisis yaitu evapotranspirasi, aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dasar dan debit sungai. Hasil *output* model yang dianalisis dengan menggunakan data hujan dan temperatur tahun 2008-2017.

Tabel (Table) 1. Data spasial, iklim dan hidrologi di DAS Citanduy Hulu (*Spatial, climatic and hydrological data in the Citanduy Hulu watershed*)

No.	Tipe data (Data type)	Sumber data (Data source)	Keterangan (Note)
1	Peta Sungai (skala 1 : 50.000)	Bakosurtanal	Peta rupa bumi Indonesia
2	Digital elevasi model (DEM)	Web US Geological Survey	SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) untuk Z_59_14.tiff dengan resolusi spasial 90 x 90 m
3	Peta <i>landuse</i> (skala 1 : 250.000)	BP DAS Cimanuk – Citanduy	Klasifikasi citra Landsat TM tahun 2009
4	Peta jenis tanah (skala 1 : 250.000)	BP DAS Cimanuk- Citanduy	
5	Curah hujan harian	Balai Pengelolaan Sumberdaya air Citanduy, Balai besar wilayah sungai Citanduy	9 stasiun penakar curah hujan tahun 2008 - 2017
6	Temperatur harian	Balai Besar Wilayah sungai Citanduy	4 stasiun temperatur tahun 2008 - 2017
7	Iklim	Balai Besar Wilayah sungai Citanduy	2 stasiun klimatologi selama 10 tahun dari tahun 2008 - 2017 (data curah hujan, temperatur, kecepatan angin dan intensitas penyinaran)
8	Debit sungai	Balai Besar Wilayah sungai Citanduy	SPAS Sindangrasa pengamatan tahun 2009 - 2010

Sumber (Source): Junaidi and Handayani (2016a); Puspitodjati *et al.* (2012a) dan analisis (*analysis*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keadaan Penggunaan Lahan

Pada DAS Citanduy Hulu Hingga tahun 2009, kondisi penggunaan lahan didominasi oleh sawah (29 % luas DAS) dan kebun campuran (26 %). Luas lahan hutan, berupa hutan lindung, hutan produksi sedang dan hutan produksi terbatas, yang terdapat pada DAS Citanduy Hulu berada

pada kisaran 20,73 %. Perubahan penggunaan lahan pengembangan hutan tanaman terlihat pada Tabel 2. Pada Gambar 2 memperlihatkan sebaran spasial tahapan skenario perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan berdasarkan skenario pengembangan hutan tanaman dimulai pada penggunaan lahan yang berada pada hulu DAS.

Tabel (Table) 2. Kondisi penggunaan lahan eksisting DAS Citanduy hulu dan rencana perubahan berdasarkan skenario (The existing land use conditions of Upper Citanduy watershed and land cover change plan based on scenario)

No.	Tutupan Lahan (Land cover)	Luas (Area) (Ha)					
		Kondisi saat ini (Existing condition) (2009)	Skenario Luas Hutan tanaman (Forest plantation scenario)				
			20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
1	Semak belukar (<i>bush</i>)	553,8	553,8	553,8	-	-	-
2	Hutan produksi (<i>production forest</i>)	887,9	-	-	-	-	-
3	Hutan produksi terbatas (<i>limited production forest</i>)	4.974,3	-	-	-	-	-
4	Hutan lindung (<i>protected forest</i>)	9.146,7	-	-	-	-	-
5	Pemukiman (<i>settlement</i>)	7.730,3	7.730,3	7.730,3	7.730,3	7.730,3	-
6	Kebun campuran (<i>mix garden</i>)	18.543,3	18.543,3	-	-	-	-
7	Sawah (<i>paddy field</i>)	20.676,1	20.676,1	20.676,1	20.676,1	-	-
8	Tambak (<i>fishpond</i>)	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
9	Tubuh air (<i>water body</i>)	420,5	420,5	420,5	420,5	420,5	420,5
10	Pertanian lahan kering (<i>dryland farming</i>)	9.462,5	9.462,5	9.462,5	-	-	-
11	Rawa (<i>swamp</i>)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
12	Hutan tanaman monokultur (<i>monoculture plantation forest</i>)	-	15.008,9	33.552,2	43.014,7	64.244,6	71.974,9
Total		72.409,4	72.409,4	72.409,4	72.409,4	72.409,4	72.409,4

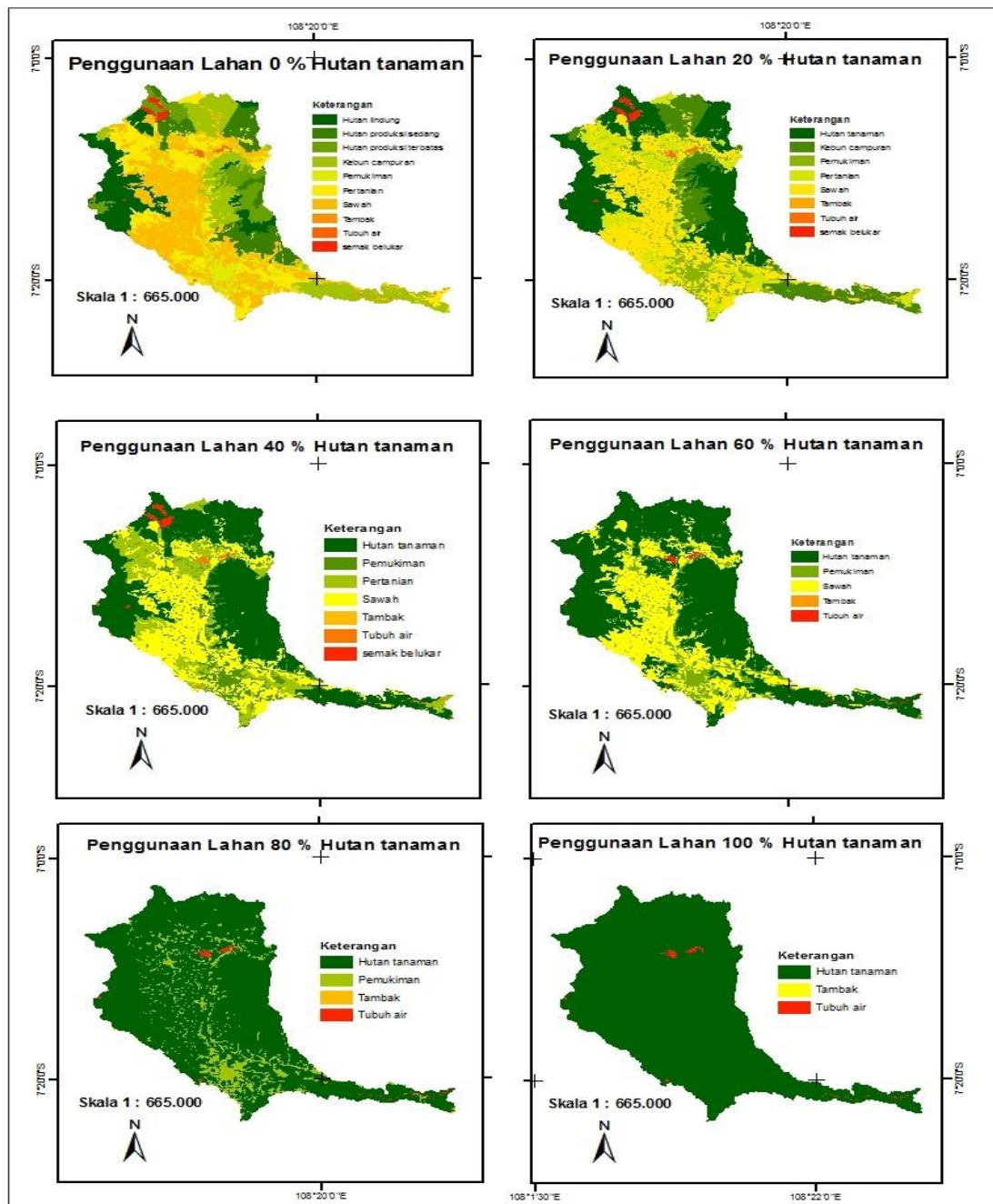
Sumber (Source) : Puspitodjati *et al.* (2012a) dan hasil analisis (*and analyses*)

B. Kalibrasi Model

Hasil analisis untuk kalibrasi, nilai rata-rata debit harian hasil observasi dan hasil prediksi adalah 30,07 m³/dt dan 30,92 m³/dt. Hasil perhitungan untuk koefisien Nash-Sutcliffe (ENS) antara data debit harian observasi dan prediksi yaitu 0,87.

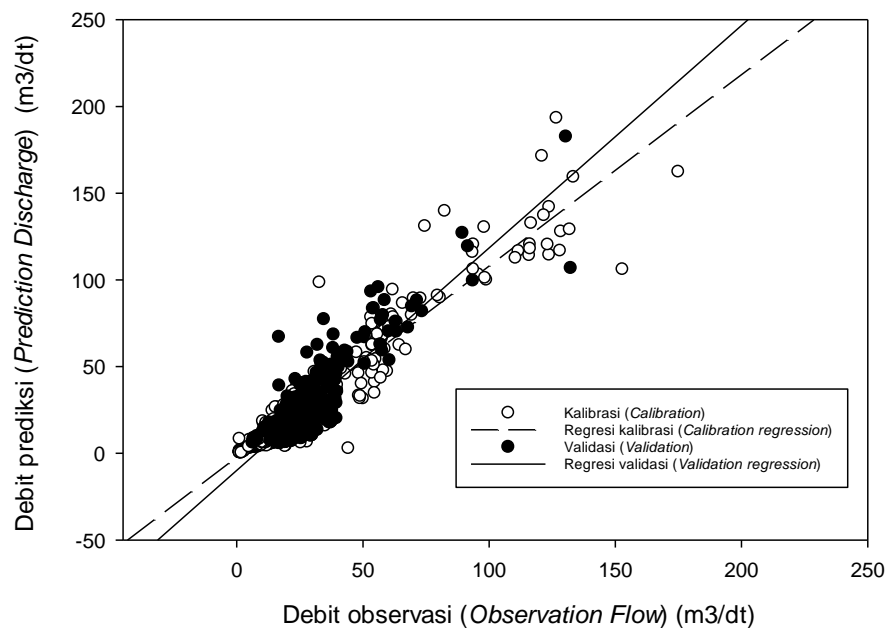
Hasil validasi model menunjukkan rata-rata debit harian hasil observasi dan rata-rata debit harian hasil prediksi yaitu 22,97 m³/dt dan 23,56 m³/dt. Nilai koefisien

Nash-Sutcliffe (ENS) antara data debit bulanan observasi dan prediksi adalah 0,69. Grafik XY *scatter* validasi untuk hubungan debit bulanan prediksi (nilai X) dan debit bulanan observasi (nilai Y) dilihat pada Gambar 3. Hasil analisa berdasarkan kriteria Arlius *et al.* (2020), sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, sehingga model SWAT dapat digunakan untuk memprediksi hidrologi DAS Citanduy Hulu.



Gambar (Figure) 2. Sebaran spasial tahapan perubahan penggunaan lahan pengembangan hutan tanaman di DAS Citanduy Hulu (*Spatial distribution of land use change stages for plantation forest development in the Upper Citanduy watershed*)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis) tahun 2022



Gambar (Figure) 3. Grafik XY scatter debit harian prediksi dan debit harian observasi (XY scatter graph of daily discharge prediction and observation)

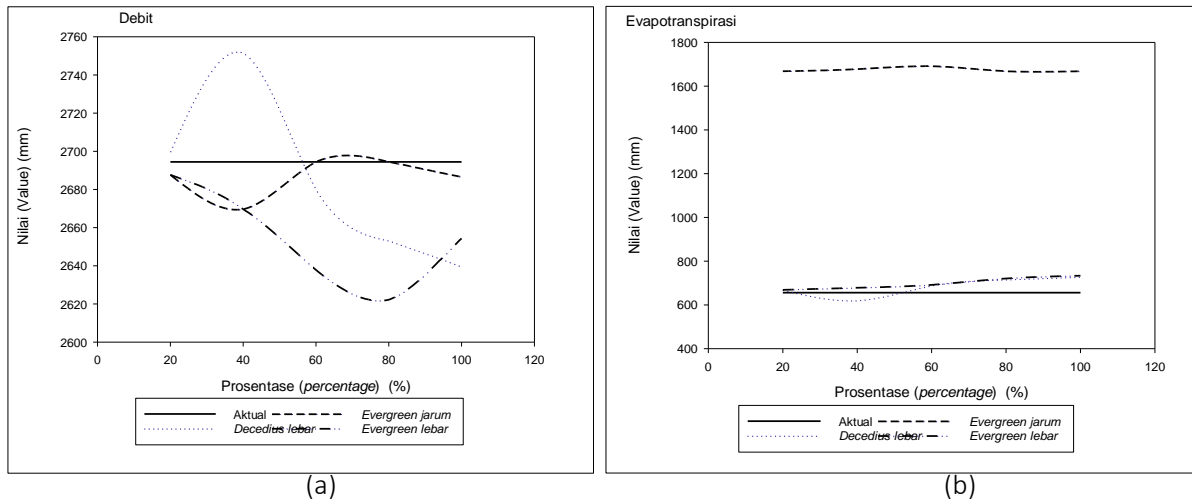
Sumber (Source): Analisa data (Data analysis) 2022

C. Kajian Tata Air Perubahan Tutupan Lahan Pembangunan Hutan Tanaman

Perubahan tutupan lahan hutan tanaman yang berbeda akan menghasilkan kondisi tata air (debit) yang berbeda-beda pada suatu DAS (Gambar 4a). Hal ini dipengaruhi oleh kebutuhan air untuk evapotranspirasinya (Gambar 4b). Hasil analisis secara umum, menunjukkan penambahan luas *Deciduous* daun lebar, *Evergreen* daun jarum dan *Evergreen* daun lebar tidak mempengaruhi kenaikan debit jika dibandingkan kondisi penggunaan lahan aktual. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Pramono (2020) bahwa semakin luas hutan maka hasil airnya makin menurun dibandingkan dengan tutupan lahan non hutan. Beberapa hasil kajian yang disampaikan oleh Pudjiharta (2008) menunjukkan bahwa penanaman hutan tanaman menurunkan hasil air. Kondisi evapotranspirasi, hasil kajian

menunjukkan penambahan luasan pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum terjadi peningkatan evapotranspirasi sekitar 1500 – 2000 mm dibandingkan kondisi penggunaan lahan aktual. Tanaman *Pinus merkusii* membutuhkan air untuk evapotranspirasi berkisar antara 1000 – 2500 mm/tahun, tergantung pada kondisi curah hujan daerahnya (Siswamartana *et al.*, 2002).

Penambahan luas hutan tanaman *Deciduous* daun lebar sampai 40 % terjadi peningkatan debit, tetapi dengan semakin meningkatnya penambahan luas hutan > 40 % menunjukkan penurunan debit yang dihasilkan. Hasil sebaliknya ditunjukkan oleh jenis *Evergreen* daun jarum. Penambahan luas hutan jenis ini menunjukkan kecenderungan peningkatan debit yang dihasilkan.



Gambar (Figure) 4. perubahan debit (a) dan evapotranspirasi (b) di DAS Citanduy Hulu (*Changes of discharge (a) and evapotranspiration (b) in the Upper Citanduy watershed*)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2022

Hasil menunjukkan, penambahan luasan sampai 60 %, debit yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan penurunan, tetapi dengan meningkatnya penambahan luasan (di atas 60 %) debit yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan meningkat.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pramono & Wijaya (2012) di Sub DAS Kedung bulus, menunjukkan secara umum pada DAS yang persen luas hutan pinusnya tinggi, debit yang dihasilkan cenderung tinggi juga. Namun pada DAS yang mempunyai luasan hutan pinus 20% dan 31%, debit yang dihasilkan mengalami penurunan. Untuk jenis *Evergreen* daun lebar, penambahan luasan pengembangan hutan tanaman jenis ini, menunjukkan kecenderungan penurunan debit yang dihasilkan dengan semakin bertambah luasannya.

Secara umum, hasil evapotranspirasi tutupan lahan jenis *Evergreen* daun jarum lebih besar dibandingkan jenis tutupan lahan *Deciduous* daun lebar dan *Evergreen* daun lebar. Hasil Analisis menunjukkan

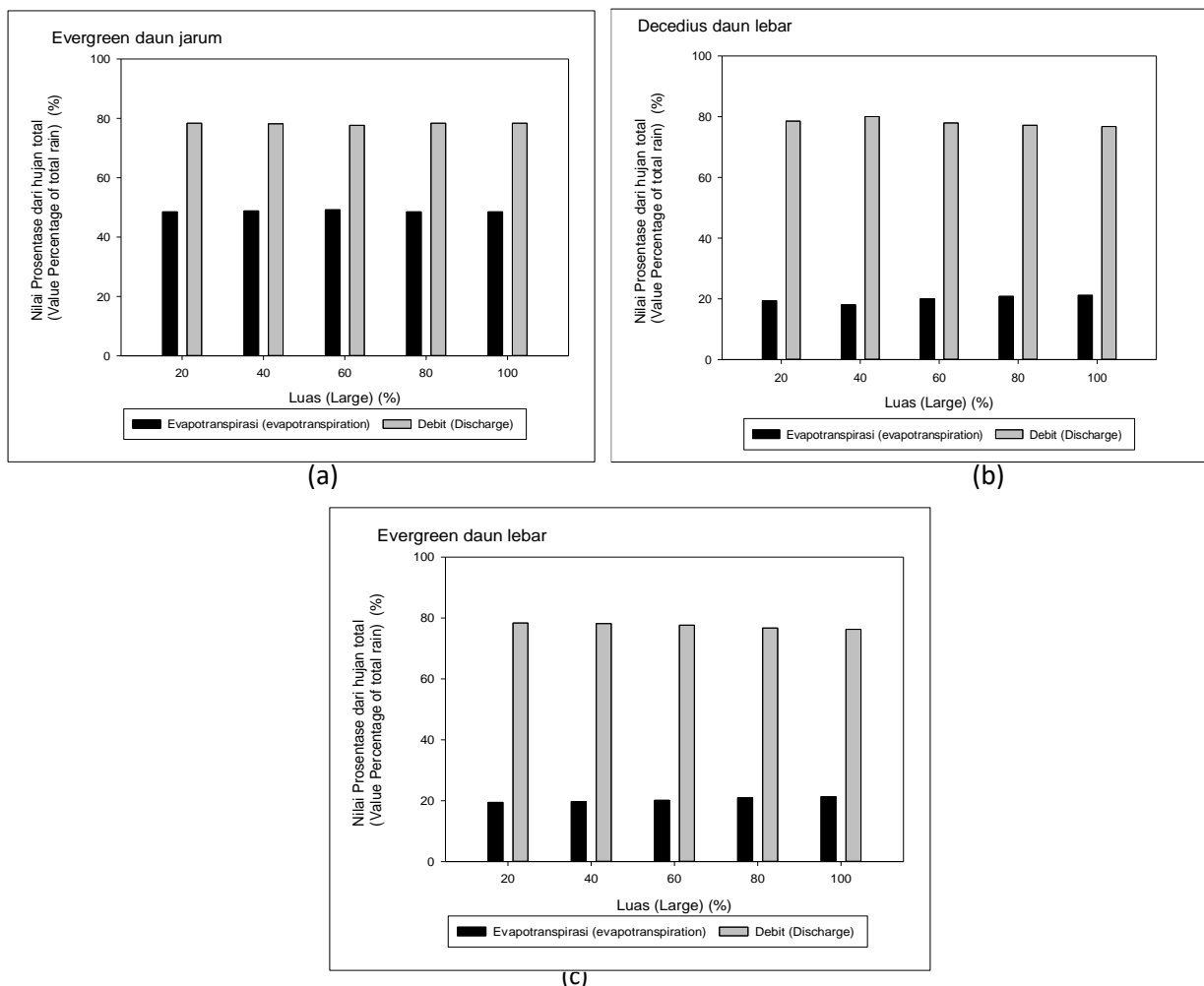
rata-rata evapotranspirasi yang dihasilkan pada tutupan lahan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar berkisar antara 1.500 – 2.000 mm/ tahun. Tutupan lahan hutan *Deciduous* daun lebar dan *Evergreen* daun lebar menghasilkan nilai evapotranspirasi berkisar antara 500 – 1.000 mm/tahun. Hasil kajian yang dilakukan oleh Asdak (2002) dan Dumairi (1992) menyimpulkan kira-kira kebutuhan air pada hutan yang bertipe daun lebar sekitar 1.000 mm/tahun sedangkan untuk hutan bertipe daun jarum kebutuhan air sebesar 1.250 mm/tahun (Asdak 2002). Beberapa hasil kajian di Australian, New Zeland dan Afrika selatan menunjukkan hasil evapotranspirasi hutan tanaman pinus lebih tinggi dibandingkan hutan tanaman ekaliptus dan hutan tanaman jenis lain (Scott *et al.*, 2004).

1. Hutan Tanaman Jenis *Evergreen* daun jarum

Perubahan kondisi evapotranspirasi dan debit akibat pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum dapat dilihat pada Gambar 5a. Hasil menunjukkan rata-

rata evapotranspirasi tahunan dengan bertambahnya luasan hutan tanaman jenis ini berkisar antara 48,54 % - 49,21 % dari total curah hujan. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan nilai evapotranspirasi tahunan kondisi tutupan lahan saat ini DAS Citanduy (19,13 % dari curah hujan). Jenis tanaman *Evergreen* daun jarum membutuhkan air yang besar selama masa pertumbuhannya. Hasil kajian sejalan dengan penelitian Soedjoko, Suyono, & Darmadi (1998), pada hutan pinus di KPH Banyumas Timur, bahwa nilai

evapotranspirasi yang terjadi berada dikisaran 1002-1253 mm/tahun atau 29 – 69 % dari hujan tahunan yang jatuh. Penelitian di Coban Rondo, Pujn KPH Malang tahun 1992-1993 oleh Sulistyari & Utomo (2002) menunjukkan bahwa tanaman pinus mempunyai evapotranspirasi sebesar 1.355 mm/tahun. Besarnya evapotranspirasi tersebut mencapai 69% dari total hujan (Siswamartana et al. 2002). Kajian tahun 2013 di Provinsi Riau menunjukkan nilai dugaan evapotranspirasi (ETp) pada hutan



Gambar (Figure) 5. Perubahan evapotranspirasi dan debit pembangunan hutan tanaman jenis Evergreen daun jarum (a), *Deciduous* daun lebar (b) dan *Evergreen* daun lebar (c) di DAS Citanduy Hulu (*Changes of discharge and evapotranspiration of needle leaf Evergreen plantations (a), broad-leaf deciduous plantations (b) and broad-leaf evergreens plantations (c) in the Upper Citanduy watershed*)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis) 2022

E. pellita sebesar 4,49 mm/hari, dengan nilai volume tahunan sebesar 1.637,8 mm atau 73,1% dari curah hujan (Supangat 2016).

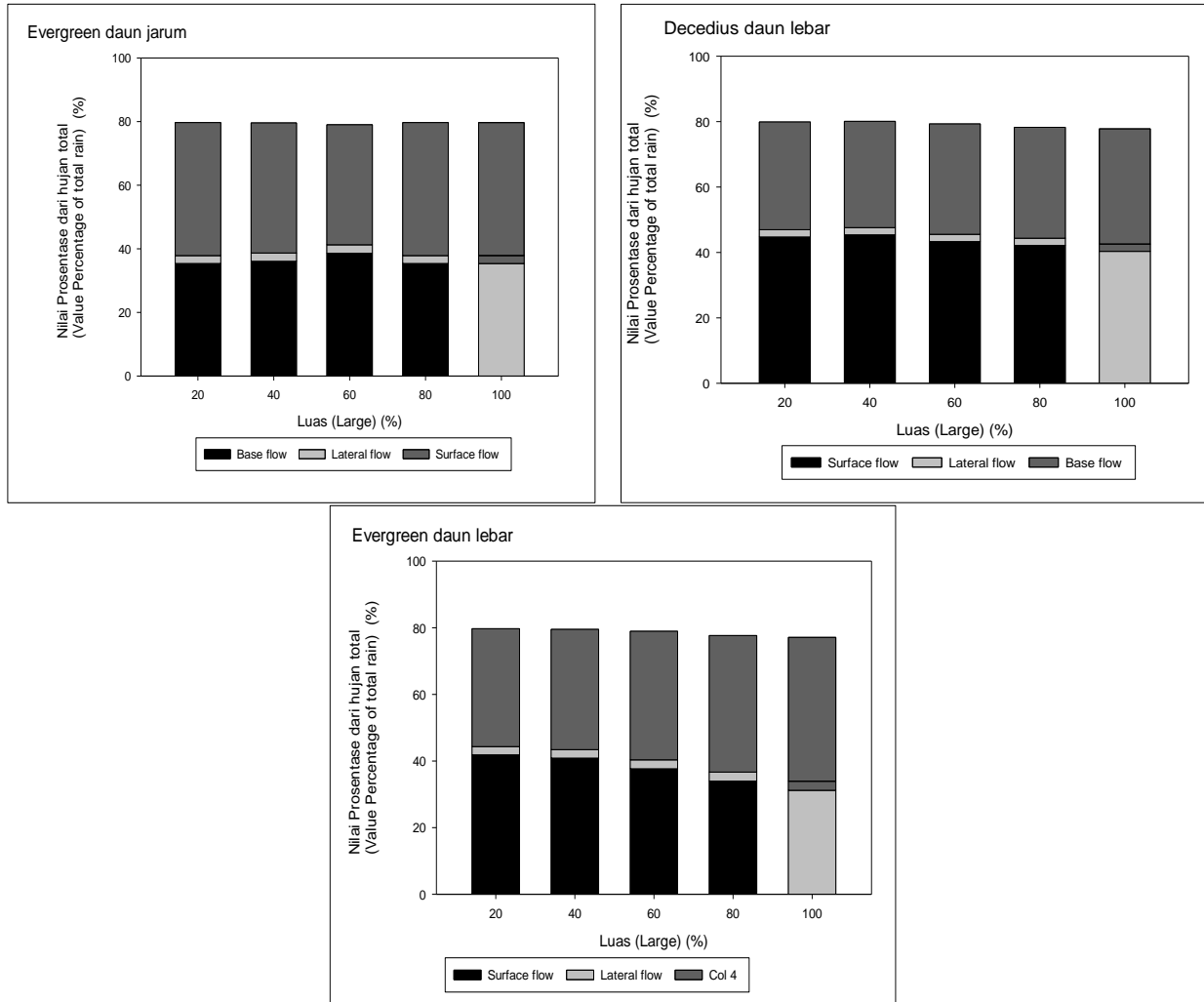
Hasil rata-rata debit tahunan pengembangan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum, berkisar antara 77,67% - 78,93% dari total curah hujan. Nilai ini lebih kecil jika dibandingkan rata-rata nilai debit yang dihasilkan pada kondisi saat ini yaitu sebesar 79,95%. Pembangunan hutan tanaman jenis tanaman *Evergreen* daun jarum dapat menurunkan hasil air DAS. Hasil Analisis menunjukkan, adanya penambahan 20% luas hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum, akan menurunkan debit sebesar 0,36% dan akan meningkatkan evapotranspirasi sebesar 0,34 %.

Penelitian kehilangan air dilakukan oleh Soelistyari dan W H Utomo (2002) pada 5 Sub DAS (Coban Rondo, Manting, Sereng, Sayang dan Kwayangan) di Jawa Timur selama kurun waktu 1996-1999, menunjukkan kehilangan hasil air hutan Pinus mencapai 2060 mm atau sekitar 87% dari total curah hujan (Siswamartana *et al.*, 2002).

Perbandingan komponen penyusun debit sungai akibat peningkatan persentase pengembangan jenis tanaman *Evergreen* daun jarum menunjukkan dengan semakin meningkatnya luasan jenis tanaman ini pada areal DAS sampai luasan 60 % terjadi penurunan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran permukaan (*surface flow*) dan sebaliknya terjadi peningkatan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran dasar (*base flow*) dan aliran lambat (*lateral flow*) (Gambar 6a).

Kondisi fluktuasi debit sungai meningkat setelah terjadi penambahan luasan jenis tanaman ini 60% ke atas. Hal ini disebabkan komponen sumbangan debit yang berasal dari *surface flow* meningkat, sedangkan komponen penyumbang debit yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* mengalami penurunan. Kondisi ini dipertegas melalui grafik hubungan fraksi hujan dan fraksi debit (Gambar 7), terlihat hasil *surface flow* terkecil dan *base flow* serta *lateral flow* terbesar dihasilkan pada luasan jenis tanaman *Evergreen* daun jarum 60%. Hasil kajian ini tidak jauh berbeda dengan kajian sumbangan hasil air dari hutan pinus, yang berasal dari aliran dasar mencapai maksimum terjadi pada luas hutan sekitar 52% dari luas DAS (Pramono 2020; Pramono *et al.* 2012).

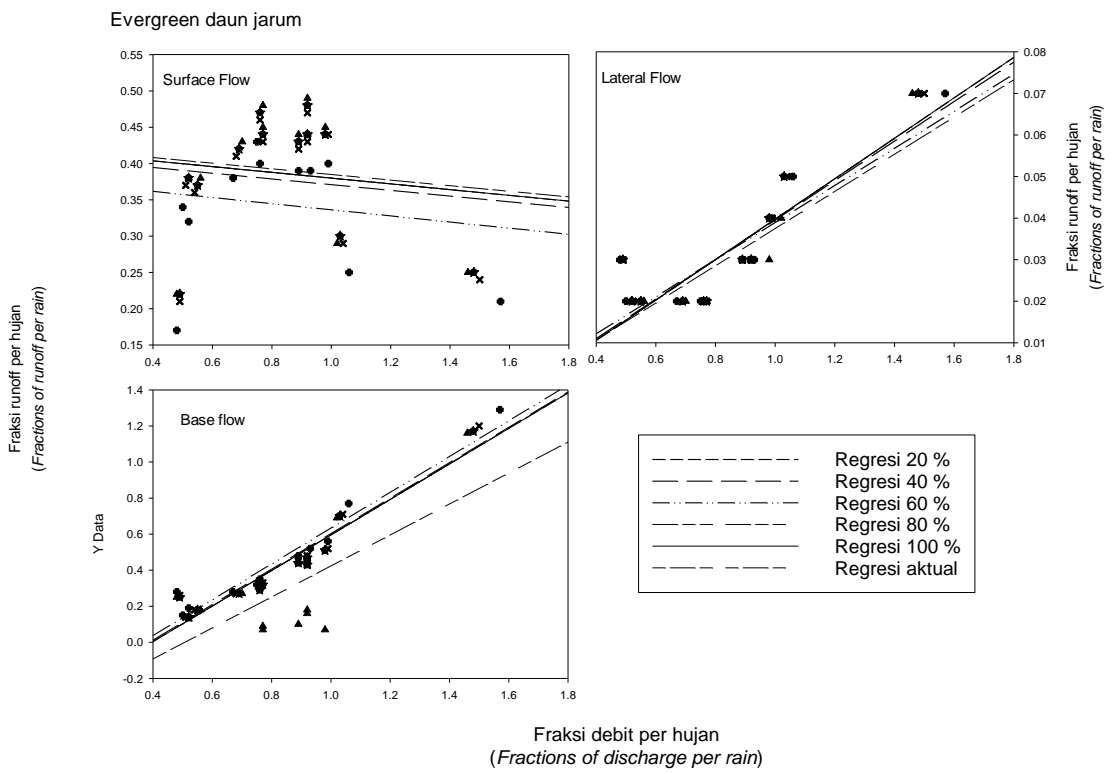
Secara umum, pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum tidak memberikan pengaruh negatif terhadap tata air DAS (Gambar 7a). Hal ini disebabkan sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* cenderung menurun dengan meningkatnya curah hujan meskipun luasan tanaman jenis ini bertambah. Sebaliknya sumbangan debit sungai yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* cenderung meningkat dengan bertambahnya curah hujan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembangunan hutan tanaman jenis ini menghasilkan rata-rata sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* berada di bawah nilai *surface flow* pada kondisi saat ini (42,53 % dari curah hujan) dan sumbangan yang berasal dari aliran lainnya (*lateral flow* dan *base flow*) lebih besar dari nilai pada kondisi saat ini (37,42 % dari curah hujan).



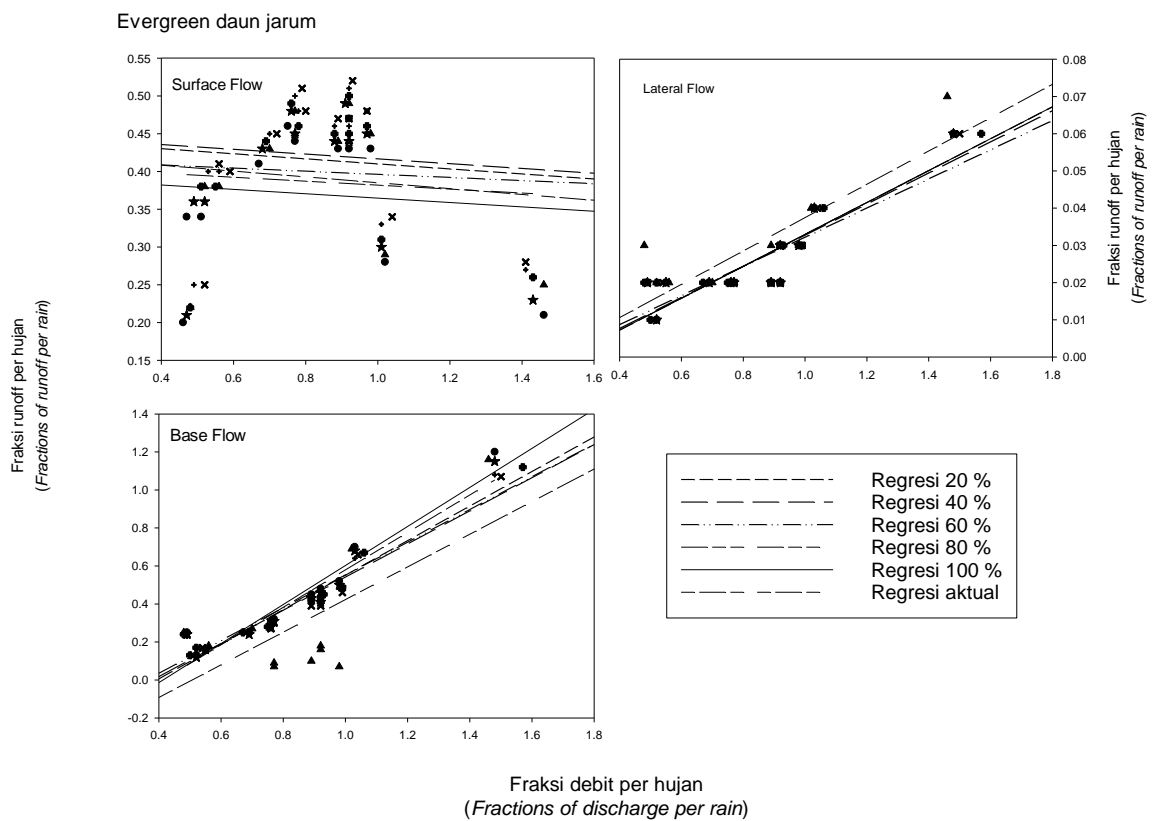
(c)

Gambar (Figure) 6. Perubahan debit pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum (a), *Deciduous* daun lebar (b) dan *Evergreen* daun lebar (c) di DAS Citanduy Hulu (*Changes of discharge of needle leaf Evergreen plantations (a), broad-leaf deciduous plantations (b) and broad-leaf evergreens plantations (c) in the Upper Citanduy watershed*)

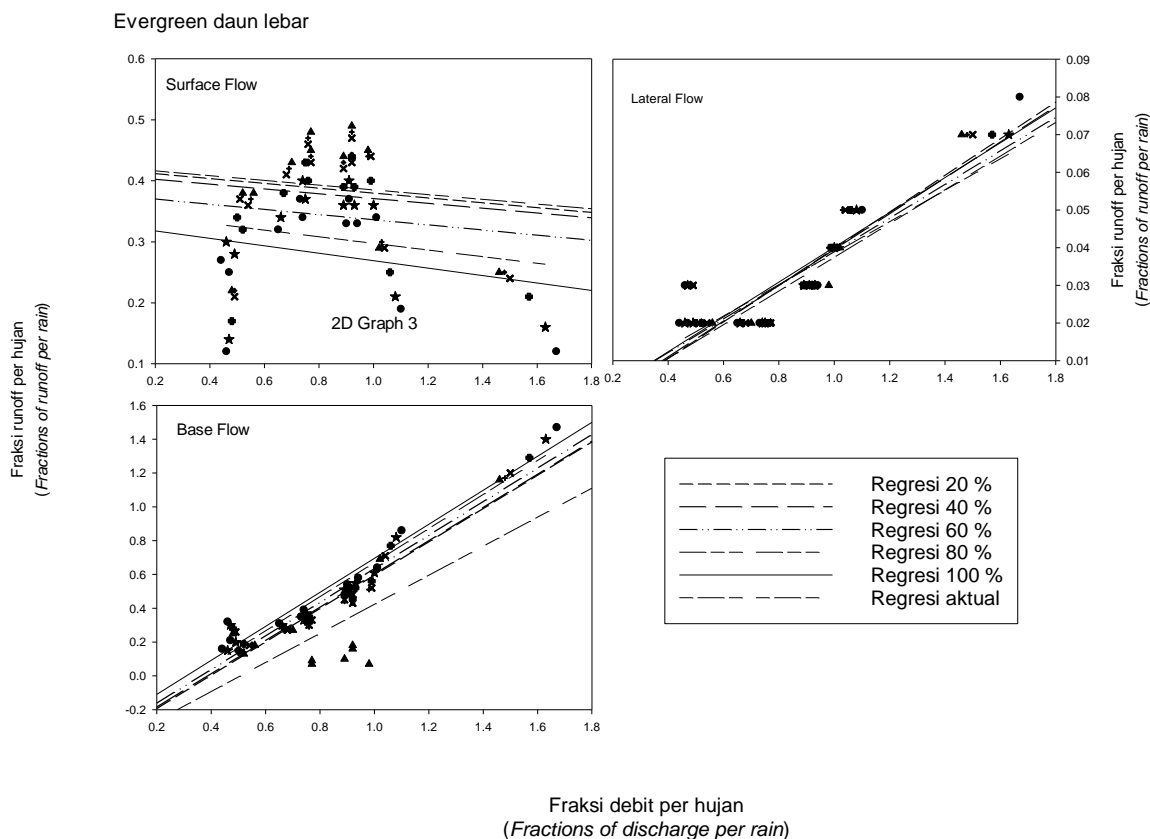
Sumber (Source): Analisa data (Data analysis) 2022



(a)



(b)



(c)

Gambar (Figure) 7. Grafik hubungan hujan dan debit akibat pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum), *Evergreen* daun jarum (b) dan *Evergreen* daun lebar (c) di DAS Citanduy Hulu (Graph of relationship between rain and discharge of needle leaf *Evergreen* plantations (a), broad-leaf deciduous plantations (b) and broad-leaf evergreens plantations (c) in the Upper Citanduy watershed)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis) 2022

2. Hutan Tanaman Jenis *Deciduous* daun lebar

Gambar 5b menunjukkan perubahan kondisi evapotranspirasi dan debit akibat pembangunan hutan tanaman *Deciduous* daun lebar. Rata-rata evapotranspirasi tahunan dengan semakin bertambahnya luasan hutan tanaman jenis ini, berkisar antara 18,03% - 21,15 % dari total curah hujan. Nilai ini tidak jauh berbeda dibandingkan nilai evapotranspirasi tahunan pada kondisi saat ini yaitu 19,13%.

Hasil rata-rata debit tahunan pengembangan hutan tanaman jenis ini berkisar antara 77,19 % - 80,05 % dari total curah hujan. Nilai kisaran debit yang dihasilkan tidak jauh berbeda jika dibandingkan rata-rata nilai debit yang dihasilkan pada kondisi saat ini yaitu 79,95%.

Hasil analisis menunjukkan, penambahan 20% jenis *Deciduous* daun lebar meningkatkan debit sebesar 1,43% dan menurunkan evapotranspirasi sebesar

1,39%. Pembangunan hutan tanaman *Deciduous* daun lebar mempengaruhi hasil air DAS ke arah negatif pada luasan di bawah 40%. Perbandingan komponen penyusun debit sungai akibat peningkatan prosentase pengembangan jenis tanaman *Deciduous* daun lebar menunjukkan dengan semakin meningkatnya luasan jenis tanaman ini pada areal DAS sampai luasan 40% terjadi peningkatan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran permukaan (*surface flow*) dan sebaliknya terjadi penurunan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran dasar (*base flow*) dan aliran lambat (*lateral flow*) (Gambar 6b). Kondisi fluktuasi debit sungai menurun setelah terjadi penambahan luasan jenis tanaman ini 40% ke atas. Hal ini disebabkan komponen sumbangan debit yang berasal dari *surface flow* menurun, sedangkan komponen penyumbang debit yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* mengalami peningkatan. Kondisi ini dipertegas melalui grafik hubungan fraksi hujan dan fraksi debit (Gambar 7b), terlihat hasil *surface flow* terkecil dan *base flow* serta *lateral flow* terbesar dihasilkan pada luasan jenis tanaman *Deciduous* daun lebar 40% ke atas. Penambahan 20% luas hutan tanaman jenis *Deciduous* daun lebar, akan menurunkan *surface flow* sebesar 1,63% dan meningkatkan *lateral flow* serta *base flow* berturut turut sebesar 0,01% dan 0,7%.

Pembangunan hutan tanaman jenis *Deciduous* daun lebar tidak berpengaruh negatif terhadap tata air DAS. Sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* menunjukkan kecenderungan yang menurun dengan semakin meningkatnya curah hujan yang terjadi meskipun luasan

tanaman jenis ini meningkat pada lahan DAS. Sebaliknya sumbangan debit sungai yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* menunjukkan kecenderungan yang meningkat dengan bertambahnya curah hujan yang jatuh di DAS (Gambar 7b).

Hasil Analisis menunjukkan bahwa nilai *surface flow* pada kondisi saat ini yaitu 42,53% dari curah hujan berada pada kisaran 40,33% - 45,41% sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* akibat pembangunan hutan tanaman jenis ini. Nilai *lateral flow* serta *base flow* pada kondisi saat ini yaitu 37,42% dari curah hujan berada pada kisaran 34,7% - 37,47% sumbangan yang berasal dari aliran lainnya akibat pembangunan hutan tanaman. Pembangunan hutan tanaman jenis *Deciduous* daun lebar memberikan pengaruh positif terhadap tata air DAS pada luasan 40% ke atas, di mana debit sungai yang berasal dari *lateral flow* dan *base flow* lebih besar dibandingkan yang berasal dari *surface flow*. Hasil kajian yang dilakukan oleh Basuki et al. (2017), pada 2 sub DAS yaitu sub DAS Kejalen (81% tutupan lahan jati) dan sub DAS Gagakan (47% tutupan lahan, menunjukkan debit puncak sub DAS Gagakan lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan sub DAS Kejalen. Simpanan air tanah terbesar pada DAS yang mempunyai luasan hutan tanaman jati 70-74% (Basuki et al., 2019).

3. Hutan Tanaman Jenis *Evergreen* daun lebar

Pada Gambar 5c. menunjukkan perubahan kondisi evapotranspirasi dan debit akibat pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar pada DAS Citanduy Hulu, rata-rata evapotranspirasi tahunan dengan bertambahnya luasan

hutan tanaman jenis ini berkisar antara 19,45% - 21,34% dari total curah hujan. Nilai ini tidak jauh berbeda dibandingkan nilai evapotranspirasi tahunan pada kondisi saat ini yaitu 19,13%. Hasil rata-rata debit tahunan pengembangan hutan tanaman jenis ini berkisar antara 76,29% - 78,39% dari total curah hujan. Nilai kisaran debit yang dihasilkan berada di bawah rata-rata nilai debit yang dihasilkan pada kondisi saat ini yaitu 79,95%, sehingga dapat disimpulkan, pembangunan hutan tanaman jenis tanaman *Evergreen* daun lebar mempengaruhi hasil air DAS ke arah positif.

Hasil analisis menunjukkan, dengan penambahan 20% luas hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar, akan menurunkan debit sebesar 0,53% dan akan meningkatkan evapotranspirasi sebesar 0,47%. Perbandingan komponen penyusun debit sungai akibat peningkatan persentase pembangunan jenis tanaman *Evergreen* daun lebar menunjukkan dengan semakin meningkatnya luasan jenis tanaman ini pada areal DAS terjadi penurunan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran permukaan dan sebaliknya terjadi peningkatan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran dasar dan aliran lambat (*lateral flow*) (Gambar 6b). Kondisi ini dipertegas melalui grafik hubungan fraksi hujan dan fraksi debit (Gambar 7c), terlihat hasil *surface flow* semakin mengecil dan *base flow* serta *lateral flow* semakin membesar dengan semakin bertambah luasan jenis tanaman *Evergreen* daun lebar. Penurunan *surface flow* dan peningkatan *base flow* serta *lateral flow* semakin terlihat pada penambahan luasan jenis ini. Penambahan

20% luas hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar, akan menurunkan *surface flow* sebesar 1,95% dan meningkatkan *lateral flow* serta *base flow* berturut turut sebesar 0,05% dan 2,66%.

Pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar tidak berpengaruh negatif terhadap tata air DAS. Hal ini disebabkan sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* menunjukkan kecenderungan yang menurun dengan semakin meningkatnya curah hujan yang terjadi meskipun luasan tanaman jenis ini meningkat pada lahan DAS. Sebaliknya sumbangan debit sungai yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* menunjukkan kecenderungan yang meningkat dengan bertambahnya curah hujan yang jatuh di DAS.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *surface flow* pada kondisi saat ini yaitu 42,53% dari curah hujan berada di bawah nilai sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* akibat pembangunan hutan tanaman jenis ini, yaitu nilainya pada kisaran 31,21% - 41,85%. Sedangkan nilai *lateral flow* serta *base flow* pada kondisi aktual yaitu 37,42% dan dari curah hujan berada di bawah kisaran 37,9% - 45,9% sumbangan yang berasal dari aliran lainnya akibat pembangunan hutan tanaman. Semakin bertambah luas untuk pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun lebar memberikan pengaruh positif terhadap tata air DAS, di mana debit sungai yang berasal dari *lateral flow* dan *base flow* lebih besar dibandingkan yang berasal dari *surface flow*.

IV. KESIMPULAN

Secara umum, pembangunan hutan tanaman *Evergreen* daun jarum, *Evergreen* daun lebar dan *Deciduous* daun lebar tidak memberikan pengaruh negatif terhadap tata air DAS. Sumbangan debit sungai yang berasal dari *surface flow* menunjukkan kecenderungan yang menurun dengan semakin meningkatnya curah hujan yang terjadi meskipun luasan pembangunan hutan tanaman meningkat dalam DAS. Sebaliknya sumbangan debit sungai yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* menunjukkan kecenderungan yang meningkat dengan bertambahnya curah hujan yang jatuh di DAS. Sumbangan hasil air dari pembangunan hutan tanaman jenis *Evergreen* daun jarum, yang berasal dari *base flow* dan *lateral flow* mencapai maksimum terjadi pada luas hutan sekitar 60 % dari luas DAS. Semakin meningkatnya luasan jenis tanaman *Deciduous* daun lebar pada areal DAS sampai luasan 40 % terjadi peningkatan sumbangan tata air DAS yang berasal dari aliran permukaan (*surface flow*). Pembangunan hutan tanaman selain berdampak terhadap kondisi kuantitas sungai pada DAS, berpengaruh juga terhadap kualitas sungai, sehingga perlu adanya pengkajian nilai erosi dan sedimentasi dampak pengembangan hutan tanaman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestri, Badan Litbang dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang telah memberikan dukungan dana sehingga terlaksananya penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Tanveer, Ghulam Nabi, Muhammad Waseem Boota, Fiaz Hussain, Muhammad Faisal, Haseeb Ahsan, Technology Lahore, and Technology Lahore. (2015). "Impacts of Landuse Changes on Runoff Generation in Simly." *Lahore* 27(4):3185–91.
- Amatya, D. M., and R. W. Skaggs. (2001). "Hydrologic Modeling of a Drained Pine Plantation on Poorly Drained Soils." *Forest Science* 47(1):103–14.
- Arluis, F., I. Berd, and F. Setyawan. (2020). "Calibration and Validation of the SWAT Hydrological Model for the Air Dingin Watershed." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 515(1). doi: 10.1088/1755-1315/515/1/012043.
- Asdak, Chay. (2002). *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Basuki, Tyas Mutiara, Rahardyan Nugroho Adi, and Wahyu Wisnu Wijaya. (2017). "Specific Peak Discharge of Two Catchments Covered by Teak Forest with Different Area Percentages." *Forum Geografi* 31(1):118–27. doi: 10.23917/forge.v31i1.3236.
- Basuki, Tyas Mutiara, Esa Bagus Nugrahanto, and Irfan Budi Pramono. (2019). "Baseflow and Lowflow of Catchments Covered by Various Old Teak Forest Areas." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 6(2):1609–16. doi: 10.15243/jdmlm.
- Beltran, Bray J., Devendra M. Amatya, Mohamed Youssef, Martin Jones, Timothy J. Callahan, R. Wayne Skaggs, and Jami E. Nettles. (2010). "Impacts of Fertilization on Water Quality of a Drained Pine Plantation: A Worst Case Scenario." *Journal of Environmental Quality* 39(1):293–303. doi: 10.2134/jeq2008.0506.

- Beschta, R. L., M. R. Pyles, A. E. Skaugset, and C. G. Surfleet. (2000). "Peakflow Responses to Forest Practices in the Western Cascades of Oregon, USA." *Journal of Hydrology* 233(1-4):102-20. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00231-6.
- Bruijnzeel, L. A. (2004). "Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Trees?" *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104(1):185-228. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.015.
- del Campo, Antonio D., Tarcísio J. G. Fernandes, and Antonio J. Molina. (2014). "Hydrology-Oriented (Adaptive) Silviculture in a Semiarid Pine Plantation: How Much Can Be Modified the Water Cycle through Forest Management?" *European Journal of Forest Research* 133(5):879-94. doi: 10.1007/s10342-014-0805-7.
- Chakraborty, Ananya, Sritama Biswas, and Pintoo Bandopadhyay. (2020). "Sustainable Management of Watershed Areas." *Biotica Research Today* 2(2):27-29.
- Cuceloglu, Gokhan, Karim C. Abbaspour, and Izzet Ozturk. (2017). "Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model." *Water (Switzerland)* 9(10). doi: 10.3390/w9100814.
- Eyes on the Forest, GAPETA Borneo, Indonesian Corruption Watch, Indonesia Working Group on Forest Finance, Jikalahari, RPHK, Auriga, Transparency International Indonesia, Walhi, and WWF. (2015). *Kesenjangan Persediaan Kayu Legal Dan Implikasinya Terhadap Peningkatan Kapasitas Industri Kehutanan Di Indonesia : Sebuah Kajian Peta Jalan Revitalisasi Industri Kehutanan, Fase* 1. Jakarta: Yauriga, Eyes on The Forest, ICW, IWGFF, Jikalahari, Transparency Internasional, Walhi dan WWF.
- Ferraz, Silvio F B, Walter de Paula Lima, and C. B. Rodrigues. (2013). "Managing Forest Plantation Landscapes for Water Conservation." *Forest Ecology and Management* 301(March 2014):58-66. doi: 10.1016/j.foreco.2012.10.015.
- Ferraz, Silvio F.B., Walter de Paula Lima, and Carolina Bozetti Rodrigues. (2013). "Managing Forest Plantation Landscapes for Water Conservation." *Forest Ecology and Management* 301(August):58-66. doi: 10.1016/j.foreco.2012.10.015.
- Fox, Jefferson, John B Vogler, Omer L. Sen, Thomas W. Giambelluca, and Alan D. Ziegler. (2012). "Simulating Land-Cover Change in Montane Mainland Southeast Asia." *Environmental Management* 49(5):968-79. doi: 10.1007/s00267-012-9828-3.
- Fox, Jefferson, John B. Vogler, Omer L. Sen, Thomas W. Giambelluca, and Alan D. Ziegler. (2012). "Simulating Land-Cover Change in Montane Mainland Southeast Asia." *Environmental Management* 49(5):968-79. doi: 10.1007/s00267-012-9828-3.
- Francesconi, Wendy, Raghavan Srinivasan, Elena Pérez-Miñana, Simon P. Willcock, and Marcela Quintero. (2016). "Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to Model Ecosystem Services: A Systematic Review." *Journal of Hydrology* 535:625-36. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.034.
- González-Sanchis, Marí a., Antonio D. Del Campo, Antonio J. Molina, and Tarcísio J. G. Fernandes. (2015). "Modeling Adaptive Forest Management of a Semi-Arid Mediterranean Aleppo Pine

- Plantation.” *Ecological Modelling* 308:34–44. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2015.04.002.
- Greenwood, Ashley J. (2017). “Assessing Hydrological Interception by Plantation Forestry for Application in Water Resources Management.” University of Melbourne.
- Haygreen, G. J., and J. L. Bowyer. (1996). *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. USA: Forest Products Management Development Institute, Department of Forest Products, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108,.
- Haygreen, J. G., and J. I. Bowyer. (1982). *Forest Product and Wood Science an Introduction*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- IWGFF. (2010). *Perkiraan Penggunaan Sumber Bahan Baku Industri Pulp Dan Paper. Studi Advokasi PT. RAPP Dan PT. IKPP Di Povinsi Riau*. Jakarta.
- Junaidi, Edy, and Wuri Handayani. (2016a). “70% Agroforestry Land Cover Is Able to Replace 30% Forest Land Cover in Hydrology Function of Watershed.” Pp. 654–62 in *The International Conference of Indonesia Forestry Researchers III, Forestry research to support sustainable timber production and self-sufficiency in food, energy, and water*, edited by C. A. Siregar, Pratiwi, N. Mindawati, G. Pari, M. Turjaman, H. L. Tata, H. Krisnawati, T. Setyawati, Krisdianto, N. Sakuntaladewi, Z. Muttaqiem, and J. Balfas. Republic of Indonesia: Research, Development and Innovation Agency Ministry of Environment and Forestry.
- Junaidi, Edy, and Wuri Handayani. (2016b). “Kajian Prosentase Tutupan Lahan Agroforestri Yang Mampu Menjaga Tata Air Das (Studi Kasus Das Citanduy Hulu, Jawa Barat).” Pp. 406–14 in *Prosiding Seminar Nasional Agroforestry 2015 tanggal 19 Nopember 2015 di Bandung*. Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestry bekerjasama dengan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, World Agroforestry Centre (ICRAF), Fakultas Kehutanan Universitas Winaya Mukti, Masyarakat Agroforestri Indonesia, dan Perum Perhutani.
- Junaidi, Edy, and Maryani. (2013). “Pengaruh Dinamika Spasial Sosial Ekonomi Pada Suatu Lasnkap.” *Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan* 10(2):122–39.
- Junaidi, Edy, M. Siarudin, Yonky Indrajaya, Ary Widiyanto, Lisa Tanika, Betha Lusiana, and Harry Budi Santoso. (2014). “Dampak Sistem Agroforestry Di Hutan Rakyat Terhadap Kondisi Hidrologi DAS Balangtieng, Bulukumba, Sulawesi Selatan.” Pp. 251–59 in *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri ke-5 tanggal 21 Nopember 2014 di Ambon*. Balai Penelitian Teknologi Agroforestry bekerjasama dengan Fakultas Pertanian Universitas Pattimura, World Agroforestry Centre (ICRAF), Indonesia Network for Agroforestry Education, dan Masyarakat Agroforestri Indonesia. Ciamis.
- Khan, Hassaan Furqan, Y. C. Etha. Yang, Hua Xie, and Claudia Ringler. (2017). “A Coupled Modeling Framework for Sustainable Watershed Management in Transboundary River Basins.” *Hydrology and Earth System Sciences* 21(12):6275–88. doi: 10.5194/hess-21-6275-2017.
- King, John S., Reinhart Ceulemans, Janine M. Albaugh, Sophie Y. Dillen, and Jean-christophe Domec. (2013). “The Challenge of Lignocellulosic Bioenergy

- in a Water-Limited World.” *BioScience* 63(2):102–17. doi: 10.1525/bio.2013.63.2.6.
- Lima, W. P., R. Laprovitera, S. F. B. Ferraz, C. B. Rodrigues, and M. M. Silva. (2012). “Forest Plantations and Water Consumption: A Strategy for Hydrosolidarity.” *International Journal of Forestry Research* 2012(February):1–8. doi: 10.1155/2012/908465.
- Lipu, S. (2010). “Analisis Pengaruh Konversi Hutan Terhadap Larian Permukaan Dan Debit Sungai Bulili, Kabupaten Sigi.” *Media Litbang Sulteng* 1(III):44–50.
- Lisnawati, Yunita. (2012). “Perubahan Hutan Alam Menjadi Hutan Tanaman Dan Pengaruhnya Terhadap Siklus Hara Dan Air.” *Jurnal Tekno Hutan Tanaman* 5(2):61–71.
- Lu, Zhixiang, Songbing Zou, Honglang Xiao, Chunmiao Zheng, Zhenliang Yin, and Weihua Wang. (2015). “Comprehensive Hydrologic Calibration of SWAT and Water Balance Analysis in Mountainous Watersheds in Northwest China.” *Physics and Chemistry of the Earth* 79–82:76–85. doi: 10.1016/j.pce.2014.11.003.
- Mcguire, Kevin J., and Gene E. Likens. (2011). *Forest Hydrology and Biogeochemistry*. Vol. 216.
- Motsinger, Jason, Prasanta Kalita, and Rabin Bhattarai. (2016). “Analysis of Best Management Practices Implementation on Water Quality Using the Soil and Water Assessment Tool.” *Water (Switzerland)* 8(4). doi: 10.3390/w8040145.
- Muhdi. (2004). *Riap Pohon Jenis Daun Jarum Dan Pohon Jenis Daun Lebar*. Program Ilmu Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Multilateral, Pusat Kebijakan Pembiayaan Perubahan Iklim. (2015). *Kerangka Kebijakan Fiskal Untuk Pembangunan Ramah Lingkungan Di Sektor Berbasis Lahan (KKF-PRLSBL)*. edited by Badan Kebijakan Fiskal. Jakarta, Indonesia: Kementerian Keuangan.
- Neitsch, S. ..., J. .. Arnold, J. .. Kiniry, and J. .. Williams. (2011). “Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009.” *Texas Water Resources Institute, TR-406* 1–647. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.063.
- Pramono, Irfan Budi. (2020). *Peningkatan Peran Hutan Dalam Mengendalikan Hasil Air Untuk Mitigasi Banjir Dan Kekeringan*. Jakarta, Indonesia: Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Pramono, Irfan Budi, and Wahyu Wisnu Wijaya. (2012). “Hubungan Antara Luas Hutan Pinus Dan Airan Dasar Di SUB DAS Kedung Bulus, Kebumen.” Pp. 18–37 in *Seminar Nasional Hasil Penelitian Teknologi Pengelolaan Das*. Vol. 3, edited by Pratiwi, I. W. Dharmawan, and I. Heriansyah. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi (P3KR).
- Pudjiharta, A. (2008). “Pengaruh Pengelolaan Hutan Pada Hidrologi (Influences of Forest Management on Hydrology).” *Info Hutan* V(2):141–50.
- Puspitodjati, T., E. Junaidi, Sanudin, I. S. Ruhimat, D. P. Kuswantoro, A. Winara, Y. Indrajaya, A. Widiyanto, N. Sutrisna, D. Priono, and U. Saepudin. (2012a). *Kajian Lanskap Agroforestry Pada DAS Prioritas. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Teknologi Agroforestry*. Ciamis: Badan Litbang Kehutanan.

- Puspitodjati, T., E. Junaidi, Sanudin, I. S. Ruhimat, D. P. Kuswanto, A. Winara, Y. Indrajaya, A. Widiyanto, N. Sutrisna, D. Priono, and U. Saepudin. (2012b). *Kajian Lanskap Agroforestry Pada DAS Prioritas*. Ciamis.
- Scott, D. F., L. A. Bruijnzeel, R. A. Vertessy, and I. R. Calder. (2004). "Impacts of Forest Plantations on Streamflow." *Encyclopedia of Forest Sciences* (December):367–77. doi: 10.1016/b0-12-145160-7/00272-6.
- Series, I. O. P. Conference, and Materials Science. (2020). "Prediction of Reservoir Sedimentation Using Soil Water Assessment Tool (SWAT) towards Development of Sustainable Catchment Management Prediction of Reservoir Sedimentation Using Soil Water Assessment Tool (SWAT) towards Development of Sustainable Catc." doi: 10.1088/1757-899X/736/2/022041.
- Shamsuddin, Siti Aisah, Zulkifli Yusop, and Shoji Noguchi. (2014). "Influence of Plantation Establishment on Discharge Characteristics in a Small Catchment of Tropical Forest." *International Journal of Forestry Research* 1–10. doi: 10.1155/2014/408409.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., A. D. Guerry, S. A. Wood, E. Chaplin-Kramer, R., Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, K. Vigerstol, D. Pennington, G. Mendoza, J. Aukema, J. Foster, D. Cameron, K. Arkema, E. Lonsdorf, C. Kennedy, G. Verutes, C. K. Kim, G. Guannel, M. Papenfus, J. Toft, M. Marsik, J. Bernhardt, R. Griffin, K. Glowinski, N. Chaumont, A. Perelman, M. Lacayo, L. Mandle, R. Griffin, and P. Hamel. (2014). *In VEST Tip User's Guide. The Natural Capital Project*. Stanford.
- Siswamartana, Sadhardjo, Wani Hadi Utomo, Sri Astuti Soedjoko, C. Nugroho Sulistyono Priyono, Nana M. Mulyana, Omo Rusdiana, and Irfan Budi Pramono. (2002). *Hutan Pinus Dan Hasil Air*. edited by C. N. S. Priyono. Bogor, Indonesia.
- Skaggs, R. Wayne, D. M. Amatya, G. M. Chescheir, C. D. Blanton, and J. W. Gilliam. (2006). "Effect of Drainage and Management Practices on Hydrology of Pine Plantation." *Hydrology and Management of Forested Wetlands - Proceeding of the International Conference* (March 2016):3–14. doi: 10.13031/2013.20292.
- Soedjoko, Sri Astuti, Suyono, and Darmadi. (1998). *Kajian Neraca Air Di Hutan Pinus, Di KPH Banyumas Timur*. Yogyakarta: Laporan Final Hasil Penelitian Kerjasama antar Perum Perhutani dengan Fakultas Kehutanan UGM.
- Stanturf, J. A., E. D. Vance, T. R. Fox, and M. Kirstd. (2013). "Eucalyptus beyond Its Native Range: Environmental Issues in Exotic Bioenergy Plantations." *Int. J. For. Res* 2013:46303.
- Stanturf, John A., Brian J. Palik, and R. Kasten Dumroese. (2014). "Contemporary Forest Restoration: A Review Emphasizing Function." *Forest Ecology and Management* 331:292–323. doi: 10.1016/j.foreco.2014.07.029.
- Sulistyari, H. T., and W. H. Utomo. (2002). "Pengelolaan Hutan Pinus (Kajian Aspek Hidrologi)." in *Prosiding Workshop Aplikasi Hasil-hasil Penelitian Bidang Hidrologi untuk Penyempurnaan Pengelolaan Hutan Berbasis Ekosistem*. Yogyakarta.
- Supangat, Agung Budi. (2016). "Analisis Perubahan Nilai Pendugaan Evapotranspirasi Potensial Akibat Perubahan Iklim Di Kawasan Hutan

- Tanaman Eucalyptus Pellita." *Seminar Nasional Geografi UMS 2016* 112–22.
- Supangat, Agung Budi, Putu Sudira, and Erny Poedjirahajoe. (2016). "Pengaruh Penebangan Hutan Tanaman Eucalyptus Pellita F . Muell Terhadap Peningkatan Aliran Sungai Dan Sedimen." 13(2):113–22.
- Susanto, Edi, Budi India Setiavvan, Yuli Suharnoto, and Liyantono. (2017). "Evaluation of Water Debit in Oil Palm Plantation Watershed Using the Soil Water Assessment Tool (Swat)." *International Journal of Civil Engineering and Technology* 8(6):332–41.
- Syahadat, Epi. (2013). "Strategi Pembangunan Hutan Di Provinsi Kalimantan Timur." *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan* 10(1):33–47.
- Verchot, Louis V, Elena Petkova, Krystof Obidzinski, Stibniati Atmadja, Elizabeth L. Yuliani, Ahmad Dermawan, Daniel Murdiyarso, and Salwa Amira. (2010). "Mengurangi Emisi Kehutanan Di Indonesia." *Center for International Forestry Research* 20(1):1–14.
- van Vliet, Nathalie, Ole Mertz, Andreas Heinemann, Tobias Langanke, Unai Pascual, Birgit Schmook, Cristina Adams, Dietrich Schmidt-Vogt, Peter Messerli, Stephen Leisz, Jean Christophe Castella, Lars Jorgensen, Torben Birch-Thomsen, Cornelia Hett, Thilde Bech-Bruun, Amy Ickowitz, Kim Chi Vu, Kono Yasuyuki, Jefferson Fox, Christine Padoch, Wolfram Dressler, and Alan D. Ziegler. (2012). "Trends, Drivers and Impacts of Changes in Swidden Cultivation in Tropical Forest-Agriculture Frontiers: A Global Assessment." *Global Environmental Change* 22(2):418–29. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009.
- Vose, James M., Chelcy F. Miniati, Ge Sun, and Peter V Caldwell. (2015). "Potential Implications for Expansion of Freeze Tolerant Eucalyptus Plantations on Water Resources in the Southern United States." *Forest Science* 61(3):509–21.
- Weber, B. C., and Steve W. Wilson. (2020). "Planthoppers in a Black Walnut Plantation." *The Great Lakes Entomologist* 14(2):71–75.
- Ziegler, Alan D., Junjiro N. Negishi, Roy C. Sidle, Shoji Noguchi, and Abdul Rahim Nik. (2006). "Impacts of Logging Disturbance on Hillslope Saturated Hydraulic Conductivity in a Tropical Forest in Peninsular Malaysia." *Catena* 67(2):89–104. doi: 10.1016/j.catena.2006.02.008.

Halaman ini sengaja dibiarkan kosong