

**PENDUGAAN INFILTRASI MENGGUNAKAN DATA NERACA AIR
DI SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI WATUJALI, GOMBONG**
(*Estimation of infiltration based on water balance method at Watujali
Sub Watershed, Gombong*)

Irfan Budi Pramono¹ dan Rahardyan Nugroho Adi¹

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

Diterima: 7 Oktober 2016; Selesai Direvisi: 6 Maret 2017; Disetujui: 7 Maret 2017

ABSTRACT

Infiltration rate in a watershed is very important for water management. There are many methods for estimating the rate of infiltration in a watershed. Among of them are direct measurements, hydrograph analysis and water balance calculation. The purpose of this study was to estimate infiltration in the sub watershed under pine forest. The method was based on a relationship between water balance and regression of monthly rainfall and discharge. The results showed that the infiltration rate of pine forest in Watujali Sub Watershed range from 125 mm/year up to 1,193 mm/year. The infiltration rate was highly depended on rainfall as the input. In 2010 with 5,826 mm rainfall, the infiltration rate reached 1,193 mm/year. Estimation of infiltration using water balance data was easy to implement because it only used data of streamflow, rainfall and evapotranspiration.

Key words: *infiltration; water balance; regression of rainfall and discharge; pine forest*

ABSTRAK

Tingkat infiltrasi sangat penting untuk mengetahui tata air dalam suatu DAS (Daerah Aliran Sungai). Ada banyak metode untuk mengestimasi tingkat infiltrasi dalam suatu DAS, diantaranya adalah dengan pengukuran langsung, perhitungan dengan unit hidrograf, dan perhitungan dengan neraca air. Tujuan dari penelitian ini adalah mengestimasi tingkat infiltrasi di sub DAS yang tertutup hutan pinus. Metode yang digunakan berdasarkan hubungan antara neraca air dan regresi antara hujan dan aliran bulanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat infiltrasi dari hutan pinus di Watujali berkisar antara 125 mm/tahun sampai dengan 1.193 mm/tahun. Tingkat infiltrasi sangat tergantung pada curah hujan sebagai input. Pada tahun 2010 dengan curah hujan 5.826 mm, tingkat infiltrasi mencapai 1.193 mm/tahun. Pendugaan infiltrasi dengan menggunakan data neraca air mudah diterapkan karena hanya menggunakan data aliran sungai, hujan, dan evapotranspirasi.

Kata kunci: infiltrasi; neraca air; regresi hujan dan aliran; hutan pinus

I. PENDAHULUAN

Setiap DAS mempunyai ciri-ciri dan watak tersendiri yang menggambarkan karakteristiknya. Informasi mengenai ciri, watak atau karakteristik suatu DAS diperlukan untuk memprediksi potensi maupun kerentanan DAS tersebut. Dalam perencanaan pengelolaan DAS salah satu hal penting yang perlu diketahui terlebih dahulu adalah kondisi hidrologi setempat. Salah satu data hidrologi yang diperlukan terutama untuk perencanaan pengelolaan DAS antara lain adalah data infiltrasi. Tingkat infiltrasi akan menentukan berapa air yang akan menjadi aliran permukaan dan berapa air yang akan masuk ke dalam tanah yang nantinya menjadi aliran bawah tanah (*sub surface flow* dan *base flow*). Selain itu, tingkat infiltrasi juga berperan dalam menentukan respon hidrologi seperti banjir dan kekeringan. Makin tinggi tingkat infiltrasi makin kecil banjir yang terjadi.

Besarnya infiltrasi tergantung pada jenis tanah (Chamizo, Canto, Lazaro, Sole-Benet & Domingo, 2012) dan jenis tanaman di atasnya (Robichaud et al., 2016). Infiltrasi pada tanah di bawah tanaman hutan lebih tinggi daripada pada tanah di bawah tanaman pertanian. Laju infiltrasi di bawah hutan pinus sangat bervariasi mulai dari 18,8 cm/jam sampai dengan 90 cm/jam. Laju infiltrasi di bawah *Pinus merkusii* di Wonogiri adalah 66 cm/jam (Budianto, P.T.H., Wirosodarmo, R., Suharto, 2014). Namun demikian, Ningtyas (2014) mendapatkan hasil infiltrasi yang lebih tinggi dalam penelitian yang dilakukan di Malang yakni dengan laju 24,96 cm/jam, sedangkan laju infiltrasi di bawah *Pinus*

roxburghii di Himalaya sebesar 51,2 cm/jam (Nazir & Sharma, 2015). Infiltrasi di bawah *Pinus canariensis* di Spanyol sebesar 18,8 cm/jam (Neris et.al., 2012). Tingkat infiltrasi di bawah pinus yang paling tinggi terjadi di China yaitu sebesar 90 cm/jam dengan jenis *Pinus tabulaeformis* (Chen, Yuan, Shao, Wang, & Mu, 2014).

Tingkat infiltrasi dapat diukur dan diprediksi dengan berbagai cara. Masing-masing metode pengukuran infiltrasi mempunyai kelebihan dan kelemahan. Pengukuran secara langsung dapat menggambarkan tingkat infiltrasi di suatu titik namun tidak dapat menggambarkan tingkat infiltrasi seluruh DAS. Metode penaksiran infiltrasi dengan analisis unit hidrograf dapat menggambarkan tingkat infiltrasi dalam suatu DAS namun hanya dalam satu kejadian hujan, sehingga perlu dicari metode penaksiran infiltrasi untuk satu DAS namun dalam satuan waktu bulanan.

Dalam penelitian ini dicoba metode penaksiran infiltrasi dengan pendekatan neraca air dan hubungan antara hujan dan debit bulanan. Model ini pertama kali diterapkan di Portugal oleh Alenção & Pacheco (2017). Neraca air merupakan hasil perhitungan antara masukan air dan keluaran air di suatu daerah dalam suatu periode tertentu. Ada beberapa metode untuk menghitung neraca air. Salah satu metode yang sederhana adalah metode Thornthwaite & Mather (1957) yang pernah diaplikasikan oleh Bhagat, Arts, & Ahmednagar (2014) pada tingkat mikro DAS. Komponen-komponen dalam neraca air yang digunakan dalam metode tersebut antara

lain adalah curah hujan, debit aliran sungai, evapotranspirasi, simpanan air dan periode waktu. Metode ini hanya menggunakan suhu udara untuk menghitung evapotranspirasi (Suryatmojo, Fujimoto, Yamakawa, Kosugi, & Takahisa, 2013).

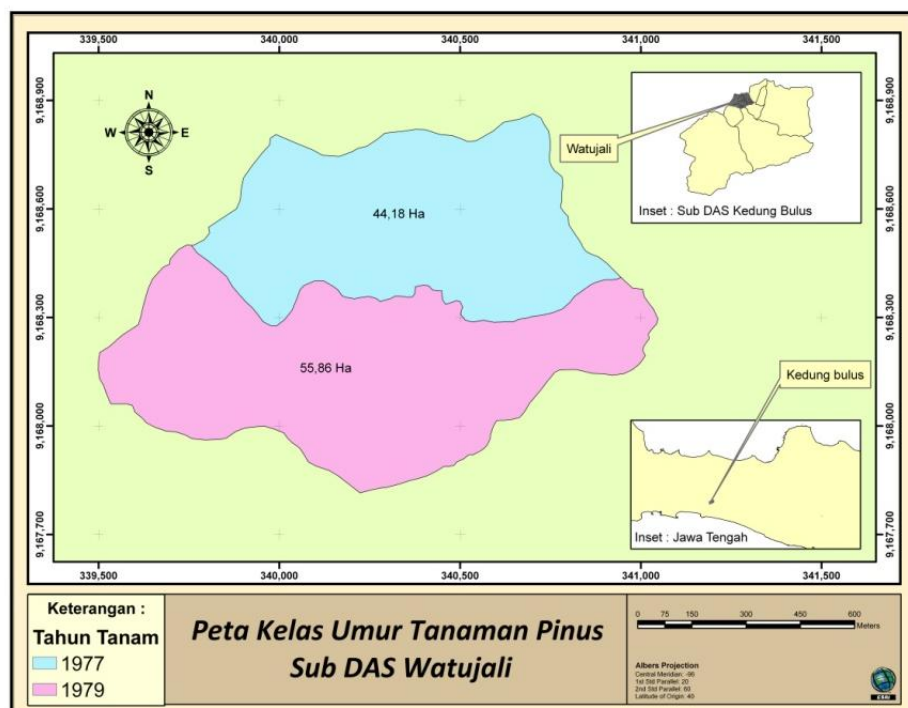
II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Pengecekan lapangan untuk validasi data kelas umur tanaman pinus di Sub DAS Watujali yang terletak di Desa Somagede, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen dilaksanakan pada tahun 2013. Data pengamatan yang digunakan adalah data hujan, data aliran sungai dan data temperatur bulanan mulai tahun 2007 sampai dengan tahun 2011.

Berdasarkan peta penutupan lahan dan hasil validasi, Sub DAS Watujali didominasi oleh hutan pinus dengan tahun tanam 1977 (44,2 ha) dan tahun 1979 (55,9 ha). Peta penutupan lahan Sub DAS Watujali disajikan pada Gambar 1.

Sebagian besar DAS di Indonesia mempunyai data debit dan curah hujan. Data suhu udara juga tersedia dari stasiun klimatologi yang dikelola oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sehingga untuk memperkirakan besarnya infiltrasi dapat dilakukan tanpa membutuhkan data yang kompleks. Tujuan dari penelitian ini adalah memprediksi tingkat infiltrasi di Sub DAS Watujali yang tertutup hutan pinus dengan metode neraca air dan hubungan antara hujan dan debit bulanan.



Gambar (Figure) 1. Peta umur tanaman pinus Sub DAS Watujali (Map of Pine trees according to their age on Watujali Sub Watershed)

B. Bahan dan Alat

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu: peralatan untuk monitoring hujan dan iklim, peralatan untuk monitoring debit dengan menggunakan Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS), peta-peta dasar (topografi, tanah, peta geologi, penggunaan lahan) serta perangkat lunak pengolah data *Microsoft Excel*.

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk mengestimasi infiltrasi di Sub DAS Watujali adalah mengkombinasi antara neraca air dan regresi hubungan antara hujan dan aliran bulanan. Konsep neraca air adalah keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke sistem, yang tersedia di sistem, dan yang keluar dari sistem (sub sistem) tertentu. Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan (Sri Harto, 2000):

$$I = O \pm \Delta S \quad (1)$$

dimana:

- I = masukan (*inflow*)
- O = keluaran (*outflow*)
- ΔS = perubahan nilai cadangan/
simpanan air (Δ *Storage*)

Masukan (*inflow*) adalah semua air yang masuk ke dalam sistem, sedangkan keluaran (*outflow*) adalah semua air yang keluar dari sistem. Perubahan tampungan adalah perbedaan antara jumlah semua kandungan air (dalam berbagai sub sistem) dalam satu unit waktu yang ditinjau, yaitu antara waktu terjadinya masukan dan waktu terjadinya keluaran.

Persamaan ini tidak dapat dipisahkan dari konsep dasar siklus hidrologi karena pada hakikatnya, masukan ke dalam sub sistem yang ada, adalah keluaran dari sub sistem yang lain dalam siklus tersebut (Sri Harto, 2000). Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan air cadangan (*change in storage*). Nilai perubahan air cadangan ini dapat bertanda positif atau negatif (Soewarno, 2000).

Neraca air DAS merupakan hubungan antara masukan air total dan keluaran air total yang terjadi pada suatu DAS. Dalam neraca air tersebut didalamnya terkandung komponen-komponen seperti debit aliran sungai, curah hujan, evapotranspirasi, perkolasi, kelembaban tanah, dan periode waktu. Secara teoritis neraca air DAS dapat dirumuskan dengan (Baumgartner, A & Reichel, 1975):

$$P = E + D + R + U \quad (2)$$

Dalam kurun waktu yang lama dapat diasumsikan tampungan dan penggunaan konsumtif adalah tetap dan fluktuasinya tidak signifikan. Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$P = E + D \quad (3)$$

dimana:

- P = curah hujan (*Precipitation*)
(mm/tahun)
- E = Evaporasi (*Evaporation*)
(mm/tahun)
- D = Debit (*Discharge*) (m^3 /detik)
- R = Tampungan (*Volume*) (m^3)
- U = Kebutuhan untuk konsumsi air
(*Water Consumption*) (m^3 /detik)

Sumber air pada suatu DAS adalah curah hujan, yang sebagian hilang langsung sebagai evaporasi (Ep) atau limpasan permukaan (*overland flow*) (Qs), sebelum masuk ke simpanan bawah tanah sebagai infiltrasi (I). Sebagian air yg mengalami infiltrasi kembali ke udara sebagai evapotranspirasi (ETm), sementara bagian lainnya keluar sebagai aliran dasar (*baseflow*) (Qg). Aliran sungai yang juga dikenal sebagai *runoff* (Qr) merupakan jumlah dari air permukaan dan bawah tanah yang mengalami evaporasi langsung (Er) dan dikurangi dengan perubahan yang terjadi pada simpanan air permukaan (Δs) (Alencoaco & Pacheco, 2006).

D. Pengumpulan dan Analisis Data

1. Perhitungan Curah Hujan

Data hujan harian diperoleh dari stasiun penakar curah hujan yang terdapat di stasiun klimatologi Silengkong dan penakar hujan otomatis di Kedunglaban. Data hujan dari kedua penakar tersebut kemudian dianalisis menjadi data curah hujan rerata.

2. Perhitungan Debit Sungai

Data dasar yang digunakan untuk perhitungan debit pada penelitian ini adalah volume air per satuan waktu pada aliran sungai. Untuk memudahkan analisis, maka analisis data debit (Q) tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk persamaan:

$$Q \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Debit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{\text{Luas} \left(\text{m}^2 \right)} \times 1000 \text{ m/m} \quad (4)$$

$$Q \text{ (mm)} = Q \frac{\text{mm}}{\text{dtk}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}} \times 60 \frac{\text{dtk}}{\text{menit}} \times 1 \text{ hari} \quad (5)$$

3. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial dengan Thornthwaite & Mather

Pendugaan ETP dilakukan dengan menggunakan metode Thornthwaite & Mather. Metode ini hanya menggunakan masukan data temperatur rata-rata. Untuk menghitung besarnya evapotranspirasi dengan metode Thornthwaite & Mather bisa menggunakan rumus empiris. Rumus ini berlaku untuk suhu udara rata-rata bulanan (t di bawah $26,5^\circ\text{C}$), yaitu:

$$\text{ETP} = 1,6 (10 t/I)^a \quad (6)$$

dimana:

ETP = evaporasi potensial bulanan (*Monthly Potential Evaporation*) (cm/bulan)

T = suhu rata-rata bulanan ($^\circ\text{C}$) (*Monthly Average Temperature*)

I = akumulasi indeks panas dalam setahun (*Accumulated Heat Index in a Year*), diperoleh dengan rumus :

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (7)$$

$$a = \frac{0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239}{1} \quad (8)$$

Data suhu $t \geq 26,5^\circ\text{C}$, digunakan rumus:

$$\text{ETP} (t \geq 26,5^\circ\text{C}) = - 0,0433 t^2 + 3,2244t - 41.545 \quad (9)$$

Nilai yang didapatkan dari perhitungan di atas harus dikoreksi dengan nilai tertentu. Nilai faktor koreksi tersebut diperoleh berdasarkan Tabel 7 yang tercantum dalam buku Thornthwaite & Mather (1957). Dasar penentuan faktor koreksi tersebut adalah letak lintang lokasi penelitian, dalam hal ini letak lintang lokasi penelitian adalah 7° LS. Sehingga nilai evapotranspirasi yang terkoreksi adalah :

$$ETp \text{ (terkoreksi)} = ETp \times F \quad (10)$$

dimana:

F = faktor koreksi terhadap panjang hari dari letak lintang (*Latitude Correction Factor*)

4. Analisis Infiltrasi dengan Neraca Air

Untuk memperoleh nilai infiltrasi di lokasi kajian dilakukan dengan membuat persamaan regresi antara curah hujan (P mm) sebagai variable bebas dengan debit aliran (Qr mm) sebagai variable tidak bebas dengan menggunakan bantuan program excel. Dari persamaan tersebut diperoleh nilai R² yang menggambarkan keterkaitan hubungan antara kedua variable tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Curah Hujan

Perhitungan curah hujan dilakukan berdasarkan data curah hujan tahunan dari stasiun klimatologi Silengkong. Berdasarkan hasil pengamatan di stasiun klimatologi Silengkong tahun 2007-2011, di Sub DAS Watujali curah hujannya berkisar antara 2.782-5.826 mm/tahun. Data hujan selama 5 tahun di Sub DAS Watujali disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa jumlah curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2010 (5.826 mm) dan terendah terjadi pada tahun 2008 (2.782 mm). Rata-rata jumlah hujan tahunannya adalah sebesar 3.873,8 mm.

B. Debit Aliran

Perhitungan debit aliran dilakukan dengan menggunakan data dari stasiun pengamat arus sungai Watujali. Data debit aliran selama tahun 2007-2011 disajikan pada Tabel 2 yang menunjukkan bahwa debit aliran tertinggi di Sub DAS Watujali terjadi pada tahun 2007 yaitu sebesar 50,27 m³/dtk dan terkecil terjadi pada tahun 2009 yaitu sebesar 22,676 m³/dtk. Selaras dengan besarnya debit aliran maka hasil air tertinggi Sub DAS Watujali juga pada tahun 2007 yaitu sebesar 4.216,82 mm dan yang terendah terjadi pada tahun 2009 yaitu sebesar 1.902,14 mm.

C. Evapotranspirasi Potensial Berdasarkan Metode Thornthwaite & Mather

Data temperatur bulanan stasiun klimatologi Silengkong tahun 2007-2011 disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 tersebut terlihat bahwa rata-rata temperatur tahunan tertinggi di stasiun klimatologi Silengkong terjadi pada tahun 2008 yaitu sebesar 28,9 °C dan terendah terjadi pada tahun 2007 yaitu sebesar 26,07 °C.

Tabel (Table) 1. Curah hujan bulanan tahun 2007-2011 Sub DAS Watujali (Monthly rainfall at Watujali Sub Watershed in 2007-2011)

Bulan/Tahun (Month/year)	2007	2008	2009	2010	2011
Januari	27,3	26,6	27,4	27,8	27,4
Februari	26,5	26,9	27,2	28,3	27,4
Maret	26,5	26,5	28,2	28,6	26,8
April	26,6	26,0	27,6	28,2	27,3
Mei	26,6	34,5	27,9	28,4	27,6
Juni	26,0	33,1	28,2	28,4	28,4
Juli	25,7	30,5	28,3	27,4	28,1
Agustus	23,8	28,5	28,0	27,6	28,3
September	25,4	29,0	28,0	27,3	28,0
Oktober	26,1	29,7	27,8	26,9	28,4
November	26,0	28,1	27,7	26,1	27,3
Desember	26,3	27,4	28,4	26,6	27,3
Rata-rata	26,1	28,9	27,9	27,6	27,7

Tabel (Table) 2. Debit bulanan tahun 2007-2011 Sub DAS Watujali (Monthly discharge at Watujali Sub Watershed on 2007-2011)

Bulan/ Tahun (Month/year)	2007		2008		2009		2010		2011	
	m ³ /dtk	mm	m ³ /dtk	mm	m ³ /dtk	mm	m ³ /dtk	mm	m ³ /dtk	mm
Januari	2,6	220	3,3	277	3,8	315	4,1	346	3,7	308
Februari	6,2	516	3,7	312	4,1	344	5,2	433	3,6	305
Maret	5,9	495	3,6	304	1,7	147	5,7	475	5,5	462
April	8,6	721	1,5	125	4,1	346	3,5	294	6,6	554
Mei	5,4	452	0,4	29	2,3	195	3,8	315	2,0	167
Juni	1,4	116	0,1	8	1,1	96	3,4	282	0,3	27
Juli	0,3	24	0,1	6	0,2	14	2,9	241	0,2	17
Agustus	0,1	7	0,0	4	0,0	3	0,9	76	0,0	3
September	0,1	6	0,3	24	0,1	8	4,2	352	0,0	3
Oktober	6,0	500	1,4	121	1,0	85	5,6	469	0,2	20
November	3,5	290	10,1	846	1,6	137	4,7	397	5,3	446
Desember	10,4	871	3,0	255	2,5	212	5,0	416	5,2	437
Jumlah	50,3	4217	27,5	2311	22,7	1902	48,8	4095	32,8	2749

Selanjutnya berdasarkan Tabel 3, dilakukan perhitungan nilai I (akumulasi indeks panas tahunan) dan nilai a. Hasil perhitungan nilai I dan a disajikan pada Tabel 4. Setelah nilai I (akumulasi indeks panas tahunan) dan nilai a diperoleh, selanjutnya digunakan untuk perhitungan nilai evapotranspirasi potensial. Perhitungan nilai evapotranspirasi potensial dilakukan dengan menggunakan Tabel 4 dan 5 dari Thornwhaite & Mather (1957) dalam bukunya *Instructions and Tables for Computing Potential*

Evapotranspiration and The Water Balance. Hasil perhitungan nilai evapotranspirasi potensial juga disajikan pada Tabel 4. Hasil perhitungan nilai evapotranspirasi potensial terkoreksi disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 terlihat nilai evapotranspirasi potensial tertinggi di sub DAS Watujali terjadi pada tahun 2008 yaitu sebesar 1.873 mm/tahun, sedangkan nilai evapotranspirasi potensial terendah terjadi pada tahun 2007 yaitu sebesar 1.553 mm/tahun.

Tabel (Table) 3. Temperatur (°C) bulanan tahun 2007-2011 Sub DAS Watujali (Monthly temperature at Watujali Sub Watershed in 2007-2011)

Bulan/Tahun (Month/year)	2007	2008	2009	2010	2011
Januari	27.3	26.6	27.4	27.8	27.4
Februari	26.5	26.9	27.2	28.3	27.4
Maret	26.5	26.5	28.2	28.6	26.8
April	26.6	26.0	27.6	28.2	27.3
Mei	26.6	34.5	27.9	28.4	27.6
Juni	26.0	33.1	28.2	28.4	28.4
Juli	25.7	30.5	28.3	27.4	28.1
Agustus	23.8	28.5	28.0	27.6	28.3
September	25.4	29.0	28.0	27.3	28.0
Oktober	26.1	29.7	27.8	26.9	28.4
November	26.0	28.1	27.7	26.1	27.3
Desember	26.3	27.4	28.4	26.6	27.3
Rata-rata	26.1	28.9	27.9	27.6	27.7

Tabel (Table) 4. Perhitungan nilai I, a, dan evapotranspirasi potensial bulanan (mm) berdasarkan nilai temperatur Sub DAS Watujali Tahun 2007-2011 (The calculation of I, a, and monthly potential evapotranspiration based on monthly temperature value in Watujali Sub Watershed on 2007-2011)

Bulan/Tahun (Month/year)	2007	i	ETP	2008	i	ETP	2009	i	ETP
Januari	27	13	5	27	13	5	27	13	5
Februari	27	12	5	27	13	5	27	13	5
Maret	27	12	5	27	12	5	28	14	6
April	27	13	5	26	12	4	28	13	5
Mei	27	13	5	34	19	6	28	13	5
Juni	26	12	4	33	17	6	28	14	6
Juli	26	12	4	31	15	6	28	14	6
Agustus	24	11	3	29	14	5	28	14	5
September	25	12	4	29	14	5	28	14	5
Oktober	26	12	4	30	15	5	28	13	5
November	26	12	4	28	14	6	28	13	5
Desember	26	12	4	27	13	5	28	14	5
Rata-rata	26			29			28		
I		146			171			162	
a		4			5			4	

Tabel (Table) 4. Lanjutan (continued)

Bulan/Tahun (Month/year)	2010	i	ETP	2011	i	ETP
Januari	28	13	5	27	13	5
Februari	28	14	5	27	13	5
Maret	29	14	5	27	13	5
April	28	14	5	27	13	5
Mei	28	14	5	28	13	5
Juni	28	14	5	28	14	5
Juli	27	13	5	28	14	6
Agustus	28	13	5	28	14	5
September	27	13	5	28	14	5
Oktober	27	13	5	28	14	5
November	26	12	4	27	13	5
Desember	27	13	5	27	13	5
Rata-rata	28			28		
I		160			160	
A		4			4	

Sumber (Source): Thornwhaite & Mather (1957) dan hasil analisis data (Thornthwaite and Mather (1957) and analysed data)

Tabel (Table) 5. Perhitungan nilai evapotranspirasi bulanan terkoreksi (mm) (The Calculation of corrected monthly evapotranspiration value (mm))

Bulan/ Tahun (Month/year)	2007			2008			2009		
	ETP	F	Etp (Terkoreksi) (Corrected Etp)	ETP	F	Etp (Terkoreksi) (Corrected Etp)	ETP	F	Etp (Terkoreksi) (Corrected Etp)
Januari	5	32	151	5	32	144	5	32	148
Februari	5	29	129	5	29	132	5	29	134
Maret	5	31	140	5	31	140	6	31	187
April	5	30	135	4	30	126	5	30	144
Mei	5	31	138	6	31	187	5	31	147
Juni	4	29	123	6	29	165	6	29	176
Juli	4	30	124	6	30	167	6	30	182
Agustus	3	31	95	5	31	156	5	31	147
September	4	30	117	5	30	156	5	30	144
Oktober	4	32	132	5	32	167	5	32	151
November	4	31	129	6	31	185	5	31	148
Desember	4	32	139	5	32	149	5	32	162
Jumlah			1553			1873			1870

Tabel (Table) 5. Lanjutan (continued)

Bulan/ Tahun (Month/year)	2010			2011		
	ETP	F	Etp (Terkoreksi) (Corrected Etp)	ETP	F	Etp (Terkoreksi) (Corrected Etp)
Januari	5	32	154	5	32	148
Februari	5	29	143	5	29	132
Maret	5	31	159	5	31	144
April	5	30	150	5	30	141
Mei	5	31	153	5	31	147
Juni	5	29	147	5	29	147
Juli	5	30	145	6	30	182
Agustus	5	31	147	5	31	153
September	5	30	141	5	30	147
Oktober	5	32	145	5	32	158
November	4	31	129	5	31	145
Desember	5	32	149	5	32	152
Jumlah			1763			1794

D. Perhitungan Infiltrasi dengan Neraca Air

Hasil analisis regresi hubungan antara curah hujan bulanan dan debit aliran bulanan rata-rata di Sub DAS Watujali untuk Bulan Januari-Desember (2007-2011) disampaikan dalam Tabel 6.

Tabel (Table) 6. Nilai koefisien a, b dan R² (The Value of a, b, and R² coefficients)

Bulan (Month)	a	b	R ²
Januari	156.6	0.4	0.9
Februari	258.1	0.2	1.0
Maret	-12.8	0.8	0.9
April	-60.0	1.0	0.9
Mei	-5.5	0.7	1.0
Juni	13.4	0.9	1.0
Juli	5.5	0.6	1.0
Agustus	2.7	1.0	1.0
September	-7.8	0.6	1.0
Oktober	-169.1	0.9	1.0
November	-128.7	1.0	1.0
Desember	-126.1	1.2	0.9

Berdasarkan Tabel 6 tersebut diketahui bahwa nilai R² yang diperoleh dari bulan Januari sampai dengan Desember adalah berkisar antara 0,87 sampai dengan 0,99.

Secara umum nilai R² yang diperoleh adalah 0,90 dan hanya pada bulan Desember saja yang nilai R² nya sebesar 0,87 sehingga secara umum terjadi korelasi yang nyata antara curah hujan dan debit aliran di Sub DAS Watujali. Jika dicermati lebih jauh nilai R² tertinggi terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 0,99, sedangkan nilai R² terkecil terjadi pada bulan Desember yaitu sebesar 0,87.

Selanjutnya berdasarkan nilai a, b, dan R² seperti tersebut pada Tabel 6, dilakukan perhitungan besarnya infiltrasi di bawah hutan pinus di Sub DAS Watujali bulan Januari sampai dengan Desember. Rekapitulasi hasil perhitungan infiltrasi di sub DAS Watujali tahun 2007-2011 disajikan dalam Tabel 7.

Tabel (Table) 7. Infiltrasi tahunan Sub DAS Watujali tahun 2007-2011.
 (The annual Infiltration in Watujali Sub Watershed 2007-2011)

Tahun (Year)	Infiltrasi (Infiltration) (mm)
2007	367
2008	125
2009	386
2010	1193
2011	457

Tabel 7 menunjukkan bahwa infiltrasi terbesar terjadi pada tahun 2010 yaitu sebesar 1.192,6 mm/tahun, sedangkan yang terkecil terjadi pada tahun 2008 yaitu sebesar 124,5 mm/tahun. Selanjutnya hasil perhitungan infiltrasi tersebut dihubungkan dengan masukan hujan, hasil air, limpasan permukaan dan juga nilai evapotranspirasinya. Hasil analisis tersebut disajikan dalam Tabel 8.

Pada Tabel 8 terlihat bahwa besar infiltrasi berbanding lurus dengan jumlah curah hujan, hasil air dan limpasan permukaan yang terjadi, semakin besar masukan hujan, hasil air, dan limpasan permukaan maka semakin besar infiltrasi yang terjadi. Jika dihubungkan antara hasil

perhitungan infiltrasi dengan nilai evapotranspirasi potensial ternyata menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar nilai infiltrasi maka semakin kecil nilai evapotranspirasi potensial. Lebih lanjut, berdasarkan prinsip imbang air, jika masukan hujan dibandingkan dengan hasil penjumlahan antara limpasan permukaan (Qs), nilai evapotranspirasi (ETP), dan nilai infiltrasi maka hasilnya seperti disajikan dalam Tabel 9.

Lebih lanjut, berdasarkan prinsip imbang air, jika masukan hujan dibandingkan dengan hasil penjumlahan antara limpasan permukaan (Qs), dan nilai infiltrasi maka hasilnya seperti disajikan pada Tabel 9. Dalam Tabel 9 tersebut menggambarkan prinsip imbang air yang terjadi pada Sub DAS Watujali tahun 2007-2011. Dalam hal ini curah hujan merupakan masukan (*input*) dan hasil penjumlahan limpasan permukaan, evapotranspirasi potensial dan infiltrasi merupakan luaran (*output*)

Tabel (Table) 8. Hubungan CH, debit Aliran, limpasan permukaan, ETP dan infiltrasi (The relationship between precipitation, discharge, surface runoff and infiltration)

Tahun (Year)	P (mm)	Qr (mm)	Qs (mm)	ETP (mm)	I (mm)
2007	3488	4217	1887	1553	367
2008	2782	2311	1262	1873	125
2009	3079	1902	967	1870	386
2010	5826	4095	2871	1763	1193
2011	4194	2749	1804	1794	457

Tabel (Table) 9. Perbandingan nilai curah hujan dan hasil penjumlahan nilai evapotranspirasi (ETP), (*The comparison of precipitation and the sum of evapotranspiration values*)

Tahun (Year)	P(mm)	Qs+ETP+I (mm)
2007	3.488	3.808
2008	2.782	3.259
2009	3.079	3.224
2010	5.826	5.826
2011	4.194	4.055

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa pada tahun 2007-2009 besar masukan berupa curah hujan tahunan di Sub DAS Watujali lebih kecil dari pada besarnya luaran yang berupa total penjumlahan nilai limpasan permukaan, nilai evapotranspirasi potensial dan nilai infiltrasinya. Hal ini menunjukkan bahwa pada kisaran tahun 2007-2009 terjadi ketidakseimbangan antara masukan dan luaran di Sub DAS Watujali. Namun demikian hal tersebut belum dapat dikatakan terjadi defisit air di Sub DAS Watujali karena hal ini tergantung pada kondisi lengas tanah maupun simpanan air tanahnya.

Selanjutnya jika dicermati pada tahun 2010 dan 2011, besarnya masukan berupa curah hujan tahunan di Sub DAS Watujali sama atau lebih besar dari pada besarnya luaran yang berupa total penjumlahan nilai limpasan permukaan, nilai evapotranspirasi potensial dan nilai infiltrasinya. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahun tersebut terjadi surplus masukan hujan. Surplus masukan hujan akan berpengaruh pada limpasan permukaan dan infiltrasinya, namun demikian terdapat faktor lain yang mempengaruhinya yaitu kondisi

penutupan lahan dan juga sifat fisik tanahnya (J. Neris, C. Jimenez, J.Juantes , G. Morillas, 2012; Rodríguez-Suárez, Soto, Perez, & Diaz-Fierros, 2011; Wu et al., 2016). Dengan demikian maka surplus masukan hujan tidak secara langsung berdampak pada meningkatnya limpasan permukaan maupun infiltrasinya.

Penutupan lahan di DAS Watujali yang dominan adalah tanaman pinus tua (tahun tanam 1977 dan 1979) sehingga kondisi penutupannya relatif cukup rapat. Kerapatan penutupan oleh tajuk tanaman pinus akan berpengaruh terhadap besarnya curah hujan yang sampai pada permukaan tanah. Disamping itu bentuk daun pinus yang menyerupai jarum juga mempengaruhi besarnya curah hujan untuk sampai pada permukaan tanah. Selain itu kondisi lain hutan yang dicerminkan ketebalan seresah juga berpengaruh terhadap infiltrasi (Neris, Tejedor, Rodriguez, Fuentes, 2013). Dalam penelitian ini ketebalan seresah daun di bawah tanaman pinus juga berpengaruh terhadap besarnya curah hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah, semakin tebal seresah yang telah terdekomposisi maka semakin banyak air yang dapat ditahan pada lantai hutan dan dapat masuk ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam.

Selain penutupan lahan, jenis tanah juga berpengaruh terhadap besarnya limpasan permukaan dan infiltrasi. Di Sub DAS Watujali, jenis tanahnya sebagian besar adalah Inceptisol dengan ketebalan solum sekitar 100 cm dan tekstur berupa debu, lempung (*clay*) berdebu bahkan lempung. Dengan kondisi solum tanah agak tebal maka memungkinkan infiltrasi

yang besar, namun demikian dengan kondisi tekstur tanah yang dominan lempung maka akan mengurangi kapasitas infiltrasi terutama pada saat kondisi lengas tanah tinggi dan bahkan mungkin tidak dapat meresapkan air lagi pada saat kondisi tanah telah jenuh oleh air.

IV. KESIMPULAN

Tingkat infiltrasi di sub DAS Watujali periode tahun 2007-2011 berkisar antara 125 mm/tahun sampai dengan 1.193 mm/tahun atau rata-rata sebesar 414 mm/tahun. Tingkat infiltrasi sangat tergantung pada curah hujan sebagai masukan (*input*), penutupan lahan dan juga jenis tanah. Pada kondisi tertentu semakin tinggi curah hujan akan meningkatkan volume infiltrasi tanah, namun di kondisi yang lain makin tinggi curah hujan belum tentu berpengaruh terhadap meningkatnya volume infiltrasi. Pendugaan infiltrasi dengan menggunakan pendekatan hubungan antara hujan dan debit serta besarnya evapotranspirasi lebih mudah dilakukan karena data yang diperlukan sederhana dan mudah diperoleh. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk membandingkan hasil infiltrasi yang diperoleh dengan metode Thorwaite & Mather dengan pengukuran langsung pada berbagai kondisi tanah, lereng, dan ketebalan serasah lantai hutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alencoaco, A. M. ., & Pacheco, F. A. . (2006). Infiltration in the Corgo River basin (northern Portugal): coupling water balances with rainfall-runoff regression on a monthly basis. *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 989–1005.
- Baumgartner, A & Reichel, E. (1975). *The world water balance: mean annual global, continental and maritime precipitation and run-off*. New York: Elsevier.
- Bhagat, V., Arts, A., & Ahmednagar, D.-. (2014). Agriculture Water Balance of Micro-Watershed Using GIS Techniques Agriculture Water Balance of Micro-Watershed Using GIS Techniques, (July). <https://doi.org/10.18005/JESR0201001>
- Budianto, P.T.H., Wirosodarmo, R., Suharto, E. (2014). Perbedaan Laju Infiltrasi pada Lahan Hutan Tanaman Industri Pinus, Jati, dan Mahoni. *Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1(2), 15–24.
- Chen, L., Yuan, Z., Shao, H., Wang, D., & Mu, X. (2014). Effects of thinning intensities on soil infiltration and water storage capacity in a Chinese pine-oak mixed forest. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/268157>
- J. Neris, C. Jimenez, J.Juente, G. Morillas, & M. T. (2012). Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands , Spain). *Catena*, 98(December 2014), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.006>

- J. Neris, M. Tejedor, M. Rodriguez, J. Fuentes, C. J. (2013). Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife ... *Catena*, 108(January 2015), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.011>
- La, R., Sole, A., Chamizo, S., Canto, Y., & Domingo, F. (2012). Crust Composition and Disturbance Drive Infiltration Through Biological Soil Crusts in Semiarid Ecosystems, 148–161. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9499-6>
- Maria, A. N. A., Alenção, P., António, F., & Pacheco, L. (2017). Infiltration in the Corgo River basin (northern Portugal): coupling water balances with rainfall – runoff regressions on a monthly basis Infiltration in the Corgo River basin (northern Portugal): coupling water balances with rainfall – runoff regressi, 6667 (February).
- Ningtyas, L. S. . (2014). *Infiltrasi Pada Kawasan Hutan Pinus Campuran Berumur 15 Tahun Di DTA Gajah Mungkur*. UGM.
- Robichaud, P. R., Wagenbrenner, J. W., Pierson, F. B., Spaeth, K. E., Ashmun, L. E., & Moffet, C. A. (2016). Catena Infiltration and interrill erosion rates after a wild fire in western, 142, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.027>
- Rodríguez-Suárez, J. A., Soto, B., Perez, R., & Diaz-Fierros, F. (2011). Influence of Eucalyptus globulus plantation growth on water table levels and low flows in a small catchment. *Journal of Hydrology*, 396(3), 321–326.
- Soewarno. (2000). *Hidrometri*. Bandung: Citra Aditya Bakti.
- Sri Harto, B. (2000). *Hidrologi: Teori, Masalah, dan Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Suryatmojo, H., Fujimoto, M., Yamakawa, Y., Kosugi, K., & Takahisa, M. (2013). Water balance changes in the tropical rainforest with intensive forest management system. *International Journal of Sustainable Future for Human Security J-Sustain*, 1(2), 56–62.
- Thornwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). *Instruction and Tables for Computing Evapotranspiration and Water Balance*.
- Wu, G., Yang, Z., Cui, Z., Liu, Y., Fang, N., & Shi, Z. (2016). Mixed artificial grasslands with more roots improved mine soil infiltration capacity. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, 535(February), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.059>