

**Kajian Perubahan Tutupan Lahan terhadap Karakteristik Hidrologis di
Hutan Penelitian Gunung Dahu**
*(Study of Land Cover Change on Hydrological Characteristics in Gunung Dahu
Research Forest)*

**Nevky Emiraj Saputra^{*}, Cahyo Wibowo¹, Suria Darma Tarigan², dan/and
Yunita Lisnawati³**

¹Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat,
16680, Indonesia, (+62) 251 8622642

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat
16680, Indonesia, (+62) 251 8629360

³Pusat Penelitian Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional,
Jalan Raya Jakarta-Bogor Km.46, Cibinong 16911, Indonesia, (+62) 811 19333639

*E-mail : Nevkyemirajsaputra@apps.ipb.ac.id

Tanggal diterima: 28 November 2022; Tanggal disetujui: 2 Januari 2023; Tanggal direvisi: 1 Februari 2023

Abstract

The Gunung Dahu Research Forest Area was originally degraded land that was converted into forested land through a revegetation program with dipterocarp tree species in 1997. Intensive revegetation activities within the area have increased forest cover and increased water infiltration capacity. This study aims to determine the effect of changes in land cover and stand characteristics on hydrological characteristics in the Gunung Dahu Research Forest. The results showed that revegetation activities had increased forested land cover to 113.8%. This increase in forested area is supported by an increase in standing stock volume up to 276 m³/ha. This increase plays an important role, especially in increasing infiltration capacity due to the deeper tree roots. Changes in land cover were influenced by hydrological conditions with an increase in lateral flow of 127%, baseflow of 483.8%, and a decrease in surface runoff of 5.8%. Forested land cover is important so that water sources are maintained and can be sustainably utilized by the community.

Key words: Hydrological characteristics, land cover, stands, soil water

Abstrak

Kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu awalnya merupakan lahan terdegradasi yang diubah menjadi lahan berhutan melalui program revegetasi dengan jenis pohon dipterokarpa pada tahun 1997. Kegiatan revegetasi yang intensif di dalam kawasan telah meningkatkan tutupan hutan dan meningkatkan kapasitas infiltrasi air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan tutupan lahan dan karakteristik tegakan terhadap karakteristik hidrologi di Hutan Penelitian Gunung Dahu. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan data citra satelit *Landsat* tahun 1997, 2007, dan 2020. Citra ini kemudian dianalisis menggunakan metode klasifikasi terbimbing dan penentuan karakteristik hidrologi menggunakan *Soil and Water Assessment Tools*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan revegetasi telah meningkatkan tutupan lahan berhutan menjadi 113,8%. Peningkatan luas berhutan ini didukung dengan peningkatan volume *standing stock* sampai 276 m³/ha. Peningkatan tersebut telah meningkatkan kapasitas infiltrasi karena semakin dalamnya perakaran pohon. Perubahan tutupan lahan memengaruhi kondisi hidrologi, yaitu peningkatan aliran lateral 127%, aliran dasar 483,8%, dan penurunan limpasan permukaan 5,8%. Tutupan lahan berhutan menjadi penting agar sumber air tetap terjaga dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat secara lestari.

Kata kunci: Karakteristik hidrologis, tutupan lahan, tegakan, *soil water*

1. Pendahuluan

Hutan Penelitian Gunung Dahu merupakan hutan buatan seluas 250 ha yang ditanami dengan jenis pohon dipterokarpa (Rachmat et al., 2021). Kegiatan penanaman pohon dilakukan selama periode 1997 sampai 1999 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Indonesia yang bekerja sama dengan perusahaan multinasional Jepang-Komatsu. Penanaman ini mengubah lahan yang terdegradasi menjadi lahan berhutan (*Forest Research Development Center*, 2022). Lahan tersebut terbagi menjadi beberapa petak tanam, antara lain petak percobaan, petak koleksi spesies dipterokarpa dan petak non dipterokarpa (Subiakto et al., 2016)

Kegiatan penanaman pohon di daerah kajian mengakibatkan perubahan bentang alam dari lahan gundul menjadi lahan berhutan (Rachmat et al., 2021). (Song et al., 2018) menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh kuat terhadap proses ekosistem seperti pengelolaan air. Selain itu, perbedaan penggunaan lahan dan tipe vegetasi yang ditanam akan menyebabkan variasi sifat fisik tanah dan mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air (Zhang et al., 2021). Jenis vegetasi akan menentukan kemampuan tanah untuk menstabilkan agregat tanah dan kemampuannya menahan erosi (Dou et al., 2020). Oleh karena itu tutupan vegetasi yang luas akan melindungi tanah dari erosi (Vásquez-Méndez et al., 2010). Saputra et al. (2021) melaporkan bahwa rata-rata laju infiltrasi kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu selama 23 tahun setelah program rehabilitasi mencapai 137,7 mm/jam dan laju infiltrasi ini tergolong cepat. Vásquez-Méndez et al. (2010) menjelaskan bahwa penanaman berdampak pada peningkatan kemampuan resapan, sehingga pasokan air bekerja dengan lancar dengan debit yang lebih besar dibandingkan sebelum kegiatan penanaman dilakukan. Pasokan air ini telah digunakan oleh masyarakat sebagai

sumber air untuk kegiatan rumah tangga dan keperluan lain seperti sawah dan sebagai objek wisata. Deng et al. (2016) menyebutkan bahwa tutupan vegetasi akan mempengaruhi siklus air, erosi tanah, limpasan dan proses lainnya antara vegetasi dan air tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tutupan hutan yang semakin meningkat menyebabkan penurunan limpasan permukaan, sedangkan aliran bawah tanah cenderung meningkat (Salim et al., 2019; Latuamury et al., 2012; Wibowo, 2005)

Pengukuran kuantitatif dampak revegetasi terhadap sistem hidrologi di Hutan Penelitian Gunung Dahu belum dipelajari secara intensif. Salah satu metode analisisnya ialah dengan menggunakan model hidrologi SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*). SWAT adalah model ekohidrologi untuk skala daerah aliran sungai/sungai yang telah dikembangkan selama 30 tahun oleh laboratorium Departemen Pertanian AS dan Universitas A & M Texas (Astuti et al., 2019). Model ini berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengkaji kondisi hidrologi suatu wilayah dan digunakan sebagai alat untuk menentukan tindakan pengelolaan berdasarkan kondisi hidrologi tersebut. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana perubahan tutupan lahan dan potensi tegakan berdampak pada karakteristik hidrologi kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu.

2. Metodologi

2.1. Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (06°36'30" - 06°37'00" LS dan 106°34'00" - 106°35'30" BT), pada ketinggian 550-900 m (Gambar 1). Kondisi iklim lokasi termasuk tipe iklim B (Schmidt & Ferguson, 1951) dengan nilai Q sebesar 0,215. Jenis tanah yang dominan, adalah Inceptisol, dan 44% dari total luas hutan seluas 261,58 ha

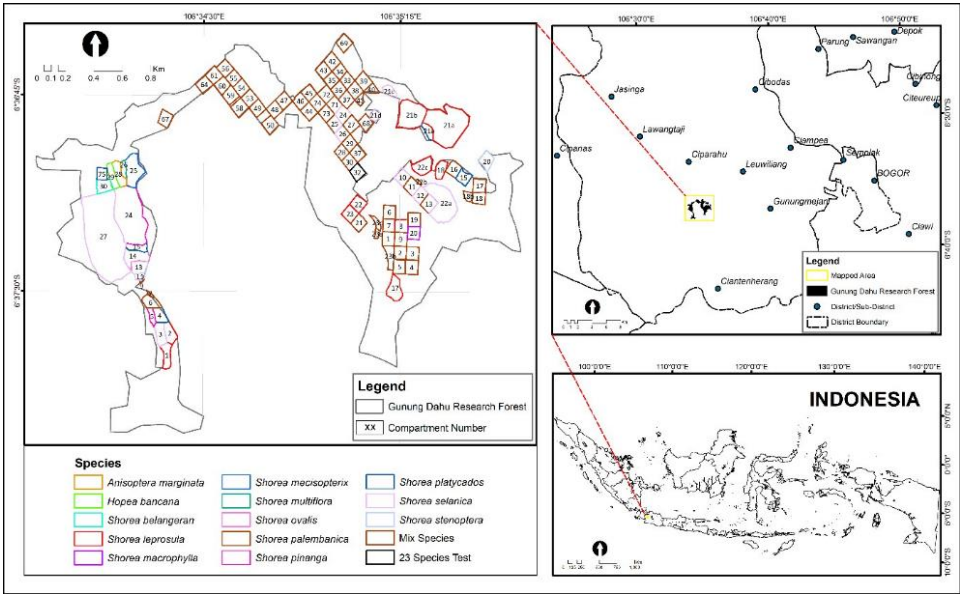
merupakan areal dengan lereng yang curam (Rachmat et al., 2021).

2.2. Metode
2.2.1. Tahapan pelaksanaan

Pengumpulan data untuk melihat perubahan tutupan lahan di Hutan Penelitian Gunung Dahu dilakukan dengan mengunduh citra dari satelit Landsat untuk tahun 1997, 2007, dan 2020. Data ini kemudian dibandingkan dengan pengecekan lapangan untuk memvalidasi data hasil olahan citra satelit.

Pengumpulan data untuk mengetahui potensi tegakan dilakukan melalui sumber sekunder (Subiakto et al. 2016; Rachmat et al., 2020; Rachmat et al., 2021).

Pengumpulan data untuk mengetahui karakteristik hidrologis dilakukan dengan mengunduh peta DEM, peta tanah, hasil analisis kelerengan lahan dan tutupan lahan. Data ini kemudian dianalisis menggunakan *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT). Hasil data pemodelan SWAT, kemudian dibandingkan dengan data hasil observasi lapang. Observasi lapang yang dilakukan, ialah mengukur debit aliran secara manual (*velocity area methods*) pada aliran yang ada di Hutan Penelitian Gunung Dahu (Gambar. 2). Data hasil observasi digunakan untuk melakukan uji kalibrasi dan validasi. Pengujian kalibrasi dan validasi dilakukan untuk mengetahui keberhasilan penerapan model hidrologi SWAT.

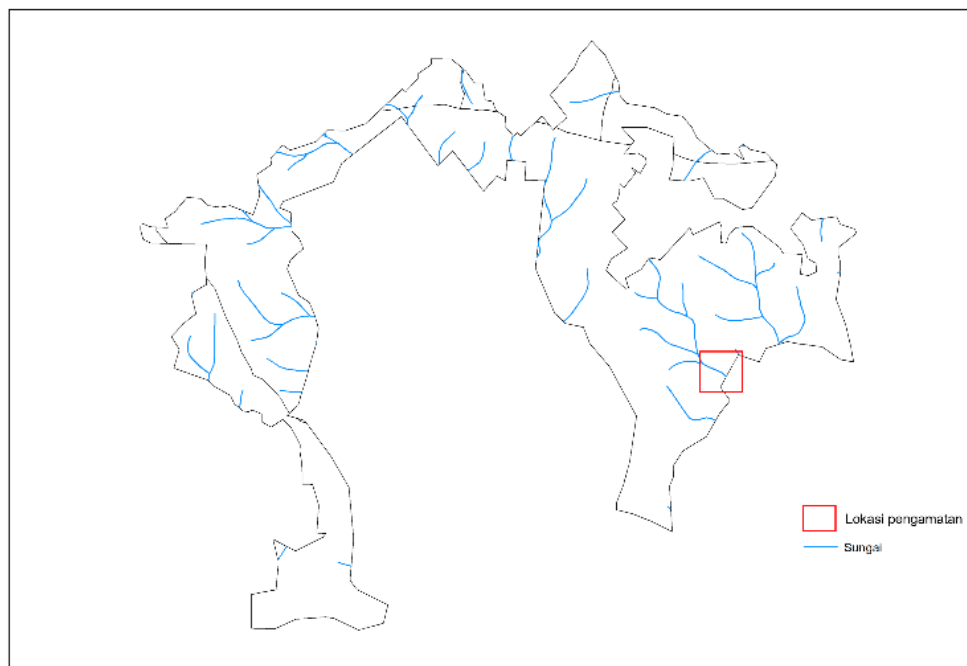


Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian (Research sites) (Rachmat et al., 2021)

Tabel (Table) 1. Pelaksanaan penelitian (Research implementation)

Tujuan (Goal)	Data (Data)	Sumber data (Data source)	Metode pengumpulan data (Data interpretation)
Menganalisis perubahan tutupan lahan di Hutan Penelitian Gunung Dahu (Analyzing land cover change in Gunung Dahu Research Forest)	Peta batas Hutan Penelitian Gunung Dahu (Gunung Dahu Research Forest boundary map) Citra Satelit Landsat 4-5,7, dan 8, tahun 1997, 2007 dan 2020 (Landsat Satellite Images 4-5,7, and 8, years 1997, 2007 and 2020)	Puslitbang Hutan (Forest Research and Development Center) Earthexplore USGS (Earthexplore USGS)	Intrepretasi data (Data interpretation)

Menganalisis karakteristik tegakan (<i>Analyzing stand characteristic</i>)	Jenis dipterokarpa (<i>Dipterocarp type</i>) Kerapatan tegakan (<i>Stand density</i>) Volume tegakan (<i>Stand volume</i>)	Subiakto et al., 2016; Rachmat et al., 2020; Rachmat et al., 2021; Nugraha Ariansyah 2020; Rachmat 2020	Sumber sekunder (<i>Secondary source</i>)
Menganalisis hubungan perubahan pada tutupan lahan dan iklim terhadap fungsi hidrologi Hutan Penelitian Gunung Dahu (<i>Analyzing the relationship of changes in land cover and climate to the hydrological function of the Gunung Dahu Research Forest</i>)	Peta Digital Elevation Model (DEM) (<i>Digital elevation model</i>)	Badan Informasi Geospasial (BIG) (<i>Geospatial Information Agency</i>)	Interpretasi data (<i>Data interpretation</i>)
	Peta Aliran Sungai (<i>River flow map</i>)	Badan Informasi Geospasial (BIG) (<i>Geospatial Information Agency</i>)	Interpretasi data (<i>Data interpretation</i>)
	Peta tutupan lahan tahun 2020 (<i>Land Cover map 2020</i>)	Badan Informasi Geospasial (BIG) (<i>Geospatial Information Agency</i>)	
	Peta karakteristik tanah skala 1:100.000 (<i>Soil characteristics map scale 1:100.000</i>)	Balai Besar Litbang Sumber daya Lahan Pertanian (BBSDLP) (<i>Center for Research and Development of Agricultural Land Resources</i>)	
	Outlet dan data debit aliran (<i>Outlet and flow discharge data</i>) Stasiun dan data harian klimatologi dalam 1997-2020 (<i>Climatology stations and daily data in 1997-2020</i>)	Survei lapang (<i>Field survey</i>) Stasiun klimatologi Bogor (<i>Bogor climatology station</i>)	



Gambar (Figure) 2. Lokasi pengukuran debit aliran (*Location of discharge flow measurement*)

2.2.2. Analisis data

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan klasifikasi terbimbing pada perangkat lunak ArcGIS 10.5. Citra tersebut berasal dari satelit *Landsat* tahun 1997, 2007, dan 2020. Klasifikasi terbimbing diterapkan dengan mengklasifikasikan citra berdasarkan identifikasi spektral (nilai refleksi) yang diperoleh dari piksel sampel (Al-Doski et al., 2013). Metode yang digunakan, antara lain *mahalanobis distance*, *maximum like lihood*, *support vector machine (SVM)*, *parallelepiped*, and *minimum distance* (Setyawan, et al., 2014). Penelitian ini menggunakan metode klasifikasi kemungkinan maksimum untuk analisis. Alat ini mengasumsikan bahwa sel-sel pada setiap sampel kelas dalam ruang multi dimensi berdistribusi normal. Metode ini digunakan untuk mengklasifikasikan citra dan mengidentifikasi pola yang berbeda di daerah perkotaan, vegetasi, gurun, perbukitan, dan badan air (Sisodia et al., 2014). Hasilnya berupa citra yang telah dikoreksi dan dibagi menjadi beberapa tutupan lahan, kemudian dihitung dan dibandingkan dengan perubahan penggunaan lahan tahun 1997, 2007, dan 2020. Perubahan tutupan lahan disajikan per ha.

Analisis karakteristik tegakan dilakukan dengan menyusun dan memilih data dari beberapa sumber sekunder untuk menentukan karakteristik tegakan yang meliputi kerapatan tegakan (individu/ha) dan volume tegakan (m^3/ha).

Analisis SWAT dilakukan untuk mengestimasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap respon hidrologi. Langkah-langkahnya meliputi penyiapan data sesuai format yang telah ditentukan sebagai *input file*, delineasi wilayah penelitian (batas DAS), pembentukan

HRU (*Hydrological Response Unit*), *running* SWAT, kalibrasi dan validasi model, dan simulasi model. SWAT digunakan untuk memperkirakan dampak penggunaan dan pengelolaan lahan terhadap sedimen, air dan bahan kimia yang mengalir ke sungai atau badan air dalam jangka waktu yang lama (Neitsch et al., 2011). Proses pemodelan pada skala DAS ini didasarkan pada neraca air (Bo et al., 2020).

3. Hasil dan Pembahasan

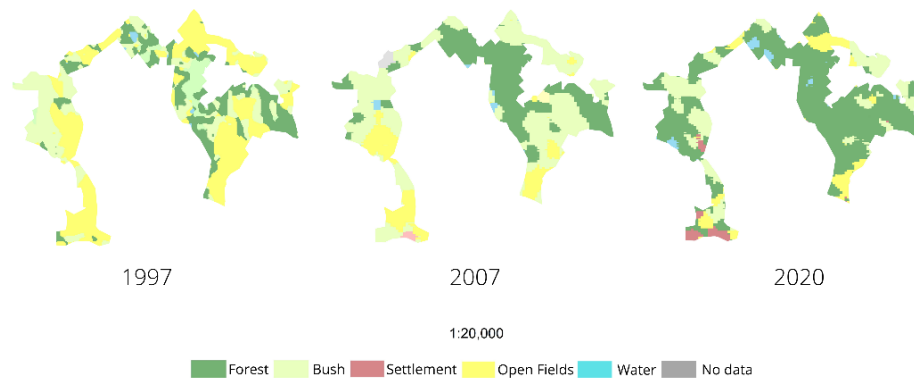
3.1. Hasil

Perubahan tutupan lahan Hutan Penelitian Gunung Dahu menunjukkan adanya perluasan kawasan hutan pada periode 1997-2020 (Tabel 2). Seiring dengan bertambahnya tutupan lahan berhutan, luas badan air juga meningkat menjadi 81,18%. Sementara itu, luas lahan kosong semakin berkurang. Tutupan semak belukar tidak mengalami pertumbuhan yang berarti meskipun mengalami peningkatan sebesar 4,96% pada tahun 2007 atau sekitar 13 ha. Namun, turun hingga 7,85% pada tahun 2020 dibandingkan tutupan lahan tahun 2007.

Secara visual, perubahan tutupan lahan tersebut dapat dilihat pada Gambar. 2. Pada tahun 2007, perluasan tutupan hutan lebih banyak terjadi di bagian utara dan tengah, menggantikan lahan kosong dan semak belukar. Di sisi lain, sebagian tanah kosong berubah menjadi semak belukar. Pada tahun 2020, perluasan hutan dapat ditemukan di bagian barat, menggantikan lahan kosong dan semak belukar. Sementara itu, perluasan hutan terutama menggantikan semak belukar di bagian timur dan tenggara.

Tabel (Table) 2. Tutupan lahan Hutan Penelitian Gunung Dahu selama 1997-2020 (*Land cover of Gunung Dahu Research Forest during 1997-2020*)

Tutupan lahan (<i>Land cover</i>)	(Luas) Area (ha)			Perubahan (<i>Changes</i>) (%)
	1997	2007	2020	
1. Hutan (<i>Forest</i>)	75,25	103,62	160,89	+113,80
2. Lahan terbuka (<i>Bareland</i>)	112,15	45,15	25,35	-77,42
3. Semak (<i>Shrubs</i>)	72,19	99,92	52,38	-27,44
4. Perumahan (<i>Settlement</i>)	-	2,51	11,68	-
5. Air (<i>Waterbody</i>)	1,83	8,34	10,66	+482,51
6. Awan/tidak teridentifikasi (<i>Cloud/unidentified</i>)	-	2,77	-	-



Gambar (Figure) 3. Perubahan tutupan lahan selama periode 1997-2020 (*Changes in land cover during the period 1997-2020*)

Perubahan tutupan lahan terjadi karena adanya perubahan pada kerapatan tegakan dan volume tegakan. Pada tahun 2016, Subiakto et al. (2016) melakukan evaluasi pasca penanaman pada jenis *S. selanica* dan *S. leprosula* pasca 17 tahun penanaman secara sampling (Tabel 3).

Terjadi peningkatan rata-rata volume *standing stock* sampai 179,6 m³/ha pada jenis hutan tanaman *S. leprosula* pada jarak tanam yang berbeda. Pada hutan tanaman *S. selanica*, terjadi peningkatan rata-rata volume *standing stock* sampai 124,5 m³/ha.

Tabel (Table) 3. Evaluasi pasca penanaman jenis *S. leprosula* dan *S. selanica* umur 17 tahun secara sampling (*Post-planting evaluation of S. leprosula and S. selanica aged 17 years by sampling*)

Spesies (<i>Species</i>)	Luas (<i>Area</i>) (ha)	Jarak (<i>Spacing</i>) (m x m)	Persen hidup (<i>Survival rate</i>) (%)	Kerapatan (<i>Density</i>) (Ind/ha)	Volume tegakan (<i>Stand volumes</i>) (m ³ /ha)
<i>S. leprosula</i>	2	2 x 2	66	1.650	195,9
	2	3 x 3	69	767	215,4
	2	4 x 4	36	225	127,6
Rata-rata (<i>Mean</i>)			57	881	179,6
<i>S. selanica</i>	2	2 x 2	58	1450	181,4
	2	3 x 3	77	855	106
	2	4 x 4	45	281	86
Rata-rata (<i>Mean</i>)			60	862	124,5

Sumber (*Sources*): Subiakto et al. (2016); Puslitbang Hutan (2020)

Kegiatan penanaman 31 jenis spesies dipterokarpa dengan menggunakan teknik *Line planting*, *Total planting* dan *Mix planting* telah dilakukan dengan hasil dapat meningkatkan volume *standing stock* sampai 276 m³/ha (Tabel 4). Jenis yang memiliki *standing stock* tertinggi ialah *S. platyclados* dengan nilai 220,8 m³/ha dan nilai MAI (*Mean annual increment*) 2,15 cm/tahun.

Data tutupan lahan ini kemudian digunakan untuk melakukan analisis karakteristik hidrologi. Hal pertama yang dilakukan ialah deliniasi DAS (Gambar 3). Deliniasi DAS dilakukan pada salah satu sumber daya air, yaitu di Dusun Cilame. Sumber air ini dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air rumah tangga maupun untuk irigasi sawah.

Hasil deliniasi DAS digunakan untuk menentukan lokasi pengamatan

debit aliran. Data debit aliran telah dibandingkan dengan simulasi untuk tahapan kalibrasi dan validasi.

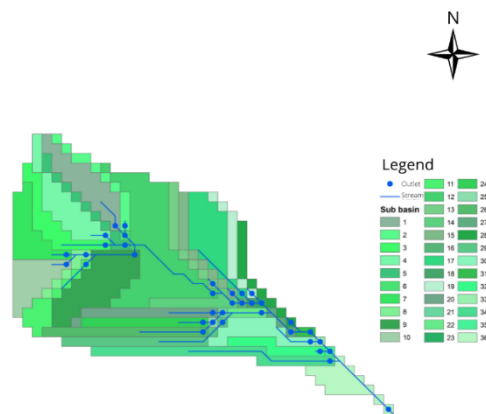
Pada Gambar 4 menunjukkan hasil kalibrasi model SWAT. Hasil kalibrasi menghasilkan nilai R² (koefisien determinasi) dan NSE (*nash-sutcliffe efficiency*) masing-masing sebesar 0,95 dan 0,80 (Gambar 5). Nilai NSE sebesar 0,80 berada pada kategori sangat baik yang berarti model SWAT dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi hidrologi suatu daerah.

Kecenderungan yang sama diamati dalam analisis validasi model yang memiliki nilai R² dan NSE masing-masing sebesar 0,94 dan 0,81 (kategori “sangat baik”) (Gambar 6 dan 7). Berdasarkan hasil tersebut, model SWAT dianggap konsisten dan dapat dilanjutkan untuk melakukan simulasi model.

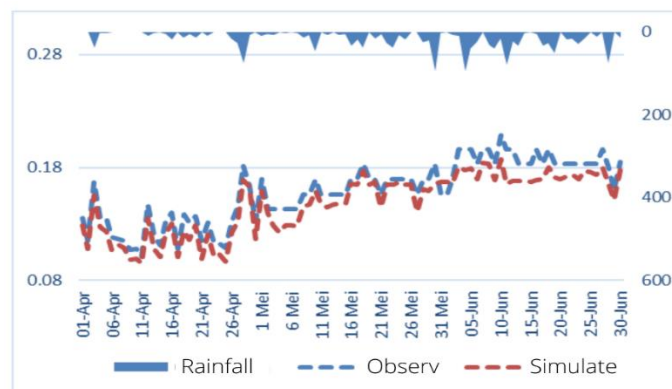
Tabel (Table) 4. Volume stok tegakan dipterokarpa berdasarkan teknik penanaman (*Growth performance of dipterocarp species*)

Tahun (Years)	Teknik penanaman (Planting technique)	Jumlah spesies (Number of species)	Rata-rata volume stok tegakan (Average dipterocarp stock volume based on planting technique) (m ³ /ha)	Rata-rata MAI (MAI average) (cm/year)
1997	Mix	0	0	0
	Total	0	0	0
	Line	0	0	0
2007	Mix	28	31,0	1,08
	Total	2	137,0	1,01
	Line	1	66,5	1,11
Jumlah (Total)		31	234,5	-
2020	Mix	28	45,0	1,08
	Total	2	150,0	1,01
	Line	1	80,9	1,11
Jumlah (Total)		31	276,0	-

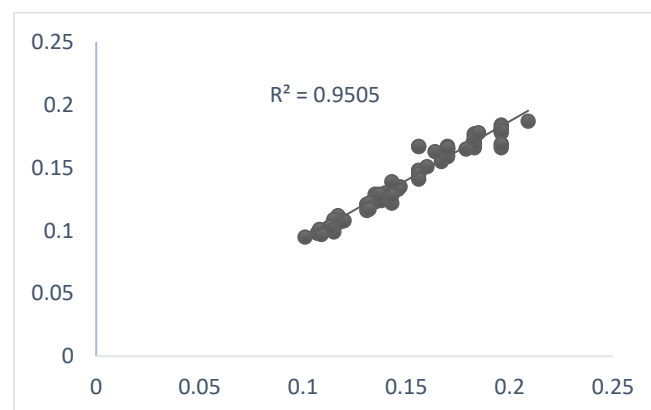
Sumber (Sources): Rachmat et al. (2021)



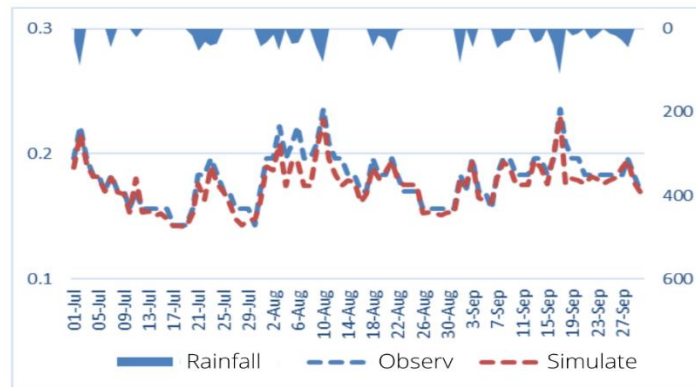
Gambar (Figure) 4. Hasil delineasi Sub-DAS menggunakan model SWAT (*The results of the Sub-DAS delineation use the SWAT model*)



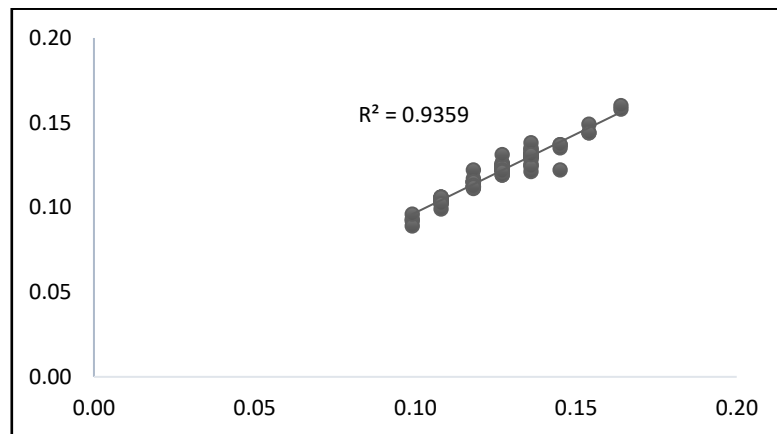
Gambar (Figure) 5. Perbandingan antara debit yang teramati dengan hasil simulasi kalibrasi model SWAT (*Comparison between observed discharge and SWAT model calibration simulation results*)



Gambar (Figure) 6. Scatter plot simulasi model debit aliran dan observasi pada proses kalibrasi (*Scatter plot simulation of the flow rate model and observations during the calibration process*)



Gambar (Figure) 7. Perbandingan antara observasi debit yang teramati dengan simulasi validasi model SWAT (*Comparison between observed discharge observations with SWAT model validation simulations*)



Gambar (Figure) 8. Scatter plot simulasi model debit aliran dan pengamatan pada proses validasi (*Scatter plot simulation of the flow discharge model and observations on the validation process*)

Kemudian dilakukan tahapan selanjutnya untuk mengetahui karakteristik hidrologis pasca perubahan tutupan lahan. Karakteristik hidrologi kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu seperti yang ditunjukkan melalui beberapa variabel hidrologi pada Tabel 5.

Penanaman yang dilakukan di kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu pada tahun 1997 mempengaruhi peningkatan total air (*water yield*) dan aliran lateral sedangkan aliran permukaan semakin menurun.

Tabel (Table) 5. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu (*The effect of land use change on the hydrological characteristics of Gunung Dahu Research Forest area*)

Tahun (Year)	Curah hujan (Rainfall) (mm/year)	Aliran permukaan (Surface flow) (mm)	Aliran lateral (Lateral flow) (mm)	Aliran dasar (Base flow) (mm)	Total air (Water yield) (mm)
1997	2.848	2.159	125	213	2.508
2007	3.772	2.052	209	905	3.203
2020	4.082	2.032	284	1.246	3.615

3.2. Pembahasan

Sebagian besar peningkatan tutupan hutan di Hutan Penelitian Gunung Dahu dihasilkan dari penanaman tahun 1997-1999. Terdapat banyak dampak positif yang telah diidentifikasi dari transformasi lahan terdegradasi menjadi tutupan hutan (Rachmat et al., 2021), sehingga berimplikasi pada peningkatan luas badan air. Fenomena ini dapat disebabkan oleh kondisi hutan yang lebih baik dengan tutupan hutan yang meningkat, sehingga kehilangan air lebih sedikit. Tutupan hutan mempengaruhi kondisi penyimpanan air di daerah aliran sungai dan berdampak pada ketersediaan dan variabilitas air (Gebrehiwot et al., 2021). Pepohonan dan kerapatan tajuknya menyebabkan intersepsi pada kawasan relatif besar (Maisaroh, 2013). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari tahun 1997-2020 luas hutan mengalami peningkatan sebesar 37,7 % dengan rata-rata potensi tegakan $234,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ pada tahun 2007. Kemudian pada tahun 2020 luas hutan meningkat 113,8% dengan rata-rata potensi tegakan $276 \text{ m}^3/\text{ha}$. Hal ini diikuti dengan peningkatan hasil air sebesar 127,7% pada tahun 2007 dan 144.1% pada tahun 2020. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin luas lahan berhutan akan diikuti dengan peningkatan hasil air. Salim et al. (2019) menyebutkan bahwa peningkatan tutupan hutan akan meningkatkan infiltrasi dan evapotranspirasi tanah, sedangkan penurunan luas hutan dapat meningkatkan debit dan limpasan permukaan. Perluasan tutupan hutan ini dapat meningkatkan hasil air dan berperan sangat penting dalam pengendalian erosi (Kim et al., 2017).

Peningkatan diameter dan tinggi yang ditunjukkan melalui peningkatan volume *standing stock* (Tabel 4) memegang peranan penting terutama dalam peningkatan kapasitas infiltrasi (Rachmat et al., 2021). Kapasitas infiltrasi umumnya meningkat dengan meningkatnya umur tegakan (Samsu et al., 2010), dan pengaruh vegetasi terhadap kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh sistem perakaran tanaman yang berbeda-beda (Stothoff et al., 1999). Kapasitas infiltrasi pada rumput maupun lahan tegalan memiliki nilai yang cenderung rendah karena kedua jenis ini memiliki akar serabut. Sedangkan, pada semak belukar yang komposisinya cukup bervariasi, seperti gulma, semak dan tumbuhan berkayu memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih tinggi. Begitupun dengan hutan tanaman yang memiliki perakaran lebih dalam, tergantung jenisnya akan lebih baik dalam konteks infiltrasi dibandingkan dengan tanaman semusim (David et al., 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Saputra et al. (2021) meneliti sifat fisik tanah seperti *bulk density*, porositas, kelembapan, pori drainase, dan permeabilitas pada tegakan *S. leprosula* dan *S. selanica* di Hutan Penelitian Gunung Dahu. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai porositas pada kedua tegakan tergolong baik. Hal ini berimplikasi langsung pada laju infiltrasi pada tegakan *S. selanica* yang tergolong cepat ($155,3 \text{ mm/jam}$) dan pada tegakan *S. leprosula* agak cepat (120 mm/jam).

Penanaman yang dilakukan di kawasan Hutan Penelitian Gunung Dahu pada tahun 1997 juga mempengaruhi total air yang dihitung pada tahun 1997, 2007, dan 2020 dengan nilai masing-masing secara berurutan 2,508 mm, 3,203 mm, dan 3,615 mm (Tabel 2). Hasil analisis menunjukkan bahwa akumulasi hasil air berbanding lurus dengan pertambahan tutupan lahan berhutan. Menurut Maisaroh (2013) tutupan lahan, khususnya hutan, berperan penting dalam pengendalian limpasan permukaan, terutama dengan meningkatkan infiltrasi dan intersepsi. Sebuah studi jangka panjang empat dekade di Korea Selatan menunjukkan bahwa perluasan tutupan hutan sebanyak lima kali lipat dapat memberikan hasil air hampir sebanyak dua kali lipat (Kim et al., 2017). Kondisi

hutan yang membaik berdampak pada jumlah kehilangan air yang lebih sedikit. Hutan dengan kerapatan pohon dan tajuk menyebabkan intersepsi pada areal yang relatif luas. Sebaliknya, penurunan luas tutupan hutan, meskipun hanya 10%, akan mengubah respon hidrologi. Bahkan, efek penebangan tanaman dengan sistem tebang habis di hutan tanaman *E. pellita* umur 6 tahun telah menyebabkan perubahan pada karakteristik aliran sungai serta hasil sedimen. Penebangan telah menyebabkan peningkatan koefisien limpasan permukaan bulanan sebesar 95,3% dalam jangka waktu 8 bulan saja (Supangat et al., 2016). Perubahan tersebut berupa peningkatan limpasan permukaan, penurunan aliran dasar dan resapan air tanah, menyebabkan variasi tinggi muka air yang tinggi (Kibii et al., 2021). Andrade et al. (2020) dan Zhang et al. (2019) menambahkan bahwa curah hujan akan dipertahankan dan diintersepsi ke dalam vegetasi yang ada di hutan, sehingga akan dan akan mengurangi limpasan permukaan pada lereng, sehingga mengurangi erosi dan meningkatkan infiltrasi.

Curah hujan yang meningkat dari tahun 1997-2020 diduga didorong oleh perubahan tutupan lahan menjadi vegetasi berhutan. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Calder (2005) bahwa hutan menguapkan uap air lebih banyak dibandingkan vegetasi lainnya. Penelitian lain yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Kehutanan Internasional (CIFOR), sekitar 70% kelembapan atmosfer dari luas permukaan tanah dihasilkan oleh tumbuhan (Jasechko et al., 2013). Penelitian Jasechko et al. (2013) menjelaskan bahwa hutan memiliki peran penting dalam curah hujan. Pohon mengeluarkan kelembapan dan melepaskan mikroorganisme ke atmosfer. Uap air yang dipancarkan dari tanaman sangat penting untuk pembentukan awan. Sementara itu, mikroorganisme yang dilepaskan adalah strain INA dari berbagai spesies bakteri dan jamur, dan dapat

diangkut ke ketinggian awan sebagai aerosol (Morris et al., 2014). Mikroorganisme ini menjadi katalis dalam pembentukan awan, terutama saat puncak awan lebih hangat dari -37°C . Pada beberapa penelitian lainnya, mikroorganisme ini akan aktif pada suhu yang lebih dingin dari -10 sampai 20°C . Setelah awan terbentuk, curah hujan akan menyediakan air untuk pertumbuhan tanaman dan perkembangbiakan mikroorganisme, yang siklusnya disebut sebagai “biopresipitasi”. Penyebaran tutupan lahan berhutan juga mempengaruhi pengurangan limpasan permukaan dan meningkatkan augmentasi aliran lateral sebagai efek dari peningkatan kapasitas infiltrasi (Ilstedt et al., 2007). Proses hidrologi di kawasan hutan mengakibatkan waktu tinggal air permukaan dan bawah permukaan lebih lama dibandingkan dengan kawasan tidak berhutan (Pizarro et al., 2022). Pada penelitian ini, aliran permukaan pada tahun 1997, 2007, dan 2020 masing-masing 2.159 sebesar mm/tahun, 2.052 mm/tahun, dan 2.032 mm/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan, sedangkan aliran lateral semakin meningkat masing-masing sebesar 125 mm/tahun, 209 mm/tahun, dan 284 mm/tahun.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Rehabilitasi lahan dengan kegiatan penanaman dipterokarpa yang dilakukan Komatsu dan Puslitbang Kehutanan pada tahun 1997 telah berhasil mengubah tutupan lahan di Hutan Penelitian Gunung Dahu. Pada tahun 2007 terjadi peningkatan luas lahan berhutan sebesar 37,7 % dan rata-rata potensi tegakan $234,5 \text{ m}^3/\text{ha}$, sedangkan pada tahun 2020 terjadi peningkatan luas lahan berhutan sebesar 113,8% dan potensi tegakan sebesar $276 \text{ m}^3/\text{ha}$. Peningkatan lahan berhutan dan potensi tegakan telah memengaruhi respon hidrologi Hutan Penelitian Gunung

Dahu. Peningkatan ini memegang peran penting terutama dalam peningkatan kapasitas infiltrasi. Respon hidrologi yang ditunjukkan adalah peningkatan curah hujan, aliran lateral dan aliran dasar, serta penurunan limpasan permukaan akibat peningkatan kapasitas infiltrasi. Jika tutupan lahan berhutan bisa dijaga, maka sumber air tersedia dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat secara berkelanjutan.

4.2. Saran

Kondisi lahan berhutan harus terus dijaga untuk mempertahankan ketersediaan air tanah dan mengendalikan bahaya banjir dan erosi tanah.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada pengelola Hutan Penelitian Gunung Dahu yang telah mengizinkan kami melakukan penelitian di kawasan hutan.

Daftar Pustaka

- Al-Doski, J., Mansor¹, S.B., Zulhaidi, H., & Shafri, M. (2013). *Image Classification in Remote Sensing*. 3(10). Retrieved from www.iiste.org
- Andrade, E.M., Guerreiro, M.J.S., Palácio, H.A.Q., & Campos, D.A. (2020). Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100649>
- Astuti, I.S., Sahoo, K., Milewski, A., & Mishra, D.R. (2019). Impact of Land Use Land Cover (LULC) change on surface runoff in an increasingly urbanized tropical watershed. *Water Resources Management*, 33(12), 4087–4103. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02320-w>
- Bo, H., Dong, X., Li, Z., Reta, G., Li, L., & Wei, C. (2020). Analysis of water balance components and parameter uncertainties based on swat model with cmads data and sufi-2 algorithm in Huangbaihe River Catchment, China. *Nature Environment and Pollution Technology*, 19(2), 637–650. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.V19I02.018>
- Calder, I. (2005). *The Blue Revolution: Land Use and Integrated Water Resources Management* (2nd ed.). London: Earthscan.
- David, M., Fauzi, M., & Sandhyavitri, A. (2016). Analisis laju infiltrasi pada tutupan lahan perkebunan dan Hutan Tanaman Industri (HTI) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak. In *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1-12.
- Deng, L., Wang, K., Li, J., Zhao, G., & Shangguan, Z. (2016). Effect of soil moisture and atmospheric humidity on both plant productivity and diversity of native grasslands across the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 94, 525–531. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.048>
- Dou, Y., Yang, Y., An, S., & Zhu, Z. (2020). Effects of different vegetation restoration measures on soil aggregate stability and erodibility on the Loess Plateau, China. *Catena*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104294>
- Forest Research Development Center. (2022). Hutan Penelitian Gunung Dahu.
- Gebrehiwot, S.G., Breuer, L., & Lyon, S.W. (2021). Storage-discharge relationships under forest cover change in Ethiopian highlands. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162310>
- Ilstedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E., & Murdiyarso, D. (2007). The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis. *Forest Ecology and*

- Management*, 251(1-2), 45-51.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.014>
- Jasechko, S., Sharp, Z.D., Gibson, J.J., Birks, S.J., Yi, Y., & Fawcett, P.J. (2013). Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature*, 496(7445), 347–350.
<https://doi.org/10.1038/nature11983>
- Kibii, J.K., Kipkorir, E.C., & Kosgei, J.R. (2021). Application of soil and water assessment tool (SWAT) to evaluate the impact of land use and climate variability on the kaptagat catchment river discharge. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1-19.
<https://doi.org/10.3390/su13041802>
- Kim, G.S., Lim, C.H., Kim, S.J., Lee, J., Son, Y., & Lee, W.K. (2017). Effect of national-scale afforestation on forest water supply and soil loss in South Korea, 1971-20. *Sustainability (Switzerland)*, 9(6).
<https://doi.org/10.3390/su9061017>
- Latuamury, B., Gunawan, T., & Suprayogi, S. (2012). Pengaruh kerapatan vegetasi penutup lahan terhadap karakteristik resesi hidrograf pada beberapa sub das di Propinsi Jawa Tengah dan Propinsi DIY. *MGI*, 26(2), 98-118.
- Maisaroh, M. (2013). *Analisis Keberlanjutan Pemanfaatan Air Secara Langsung di Kawasan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango Kabupaten Bogor*. [Tesis] Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana IPB University.
- Morris, C.E., Conen, F., Alex Huffman, J., Phillips, V., Pöschl, U., & Sands, D.C. (2014). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global Change Biology*, 20(2), 341–351.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12447>
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2011). *Soil and Water Assesment Tools: Theorethical Documentation Version 2009*. Texas: Texas A&M University System.
- Nugraha, A.E., Pamoengkas, P., Fambayun, A.R., & Rachmat, H.H (2020). Growth evaluation of red meranti species in restoration area of Gunung Dahu Research Forest, Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 17(2), 191-205.
<https://doi.org/10.20886/jphka.2020.17.2.191-205>
- Puslitbang Hutan. (2020). *Pengelolaan Jangka Panjang (RPJP) Hutan Penelitian (HP) Gunung Dahu Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat 2020-2024*. Bogor: Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hutan Badan Penelitian Pengembangan Dan Inovasi Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.
- Pizarro, R., Valdés-Pineda, R., Garcia-Chevesich, P.A., Ibáñez, A., Pino, J., Scott, D.F., Neary, D., McCray, J., Castillo, M., Ubilla, P. (2022). The Large-Scale Effect of Forest Cover on Long-Term Streamflow Variations in Mediterranean Catchments of Central Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 14(8), 4443.
<https://doi.org/10.3390/su14084443>
- Rachmat, H.H., Pamoengkas, P., Sholihah, L., Fambayun, R.A., & Susilowati, A. (2020). The effect of planting technique on the growth of two shorea species in Gunung Dahu, Bogor, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(9), 4131–4138.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210926>
- Rachmat, H.H, Ginoga, K.L., Lisnawati, Y., Hidayat, A., Imanuddin, R., Fambayun, R. A., Yulita, K., Susilowati, A. (2021). Generating multifunctional landscape through reforestation with native trees in the tropical region: a case study of gunung dahu research forest, Bogor, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21), 1-23.

- <https://doi.org/10.3390/su132111950>
Salim, A.G., Dharmawan, I.W.S., & Narendra, B.H. (2019). Pengaruh perubahan luas tutupan lahan hutan terhadap karakteristik hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 333. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.333-340>
- Samsoedin, I., Heriyanto, N., & Subiandono, E. (2010). Struktur dan komposisi jenis tumbuhan hutan pamah di kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) Carita, Provinsi Banten. *Jurnal Penelitian dan Konservasi Alam*, 7(2), 139–148.
- Saputra, N.E., Wibowo, C., & Lisnawati, Y. (2021). Analysis of soil physical properties and infiltration rates for various land uses at Gunung Dahu Research Forest, Bogor District, West Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 713(1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/713/1/012034>
- Schmidt, F.H., & Ferguson, J.H.A. (1951). *Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia with Western New Guinea*. Kementerian Perhubungan, Djawatan Meteorologi dan Geofisik.
- Setyawan, R.E., Puspaningsih, N., Saleh, M.B., Kehutanan, F., & Pertanian Bogor, I. (n.d.). *Pengolahan Data dan Pengenalan Pola*.
- Sisodia, P.S., Tiwari, V., & Kumar, A. (2014). Analysis of supervised maximum likelihood classification for remote sensing image. *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909319>
- Song, X.P., Hansen, M.C., Stehman, S.V, Potapov, P.V, Tyukavina, A., Vermote, E.F., & Townshend, J.R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639–643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>
- Stothoff, S.A., Or, D., Groeneveld, D.P., & Jones, S.B. (1999). The effect of vegetation on infiltration in shallow soils underlain by fissured bedrock. In *Journal of Hydrology* 218(3-4), 169-190.
- Subiako, A., Rachmat, H.H., & Sakai, C. (2016). Choosing native tree species for establishing man-made forest: a new perspective for sustainable forest management in changing world. *Biodiversitas*, 17(2), 620-625. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d170233>
- Supangat, B., Sudira, P., Supriyo, & Poedjirahajoe, E. (2016). Pengaruh penebangan hutan tanaman *Eucalyptus pellita* F.muell terhadap peningkatan aliran sungai dan sedimen. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(2), 113-122.
- Vásquez-Méndez, R., Ventura-Ramos, E., Oleschko, K., Hernández-Sandoval, L., Parrot, J.F., & Nearing, M.A. (2010). Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena*, 80(3), 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.11.003>
- Zhang, J., Bruijnzeel, L.A., Quiñones, C.M., Tripoli, R., Asio, V.B., & van Meerveld, H.J. (2019). Soil physical characteristics of a degraded tropical grassland and a ‘reforest’: Implications for runoff generation. *Geoderma*, 333, 163-177. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.022>
- Zhang, Y.W, Wang, K.B. , Wang, J., Liu, C., & Shangguan, Z.P. (2021). Changes in soil water holding capacity and water availability following vegetation restoration on the Chinese Loess Plateau. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88914-0>