

Pengaruh embung dan kombinasinya dengan teknik konservasi tanah dan air lainnya terhadap koefisien regim aliran dan koefisien aliran tahunan

Latief M Rahman¹, Evi Nursari², Dwi Putro Tejo Baskoro²

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB

²Prodi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, IPB

Email: latmara_59@yahoo.com; ev.nursari@gmail.com

Abstrak. Pemerintah berencana membangun embung sebanyak 30.000 pada tahun 2017. Embung merupakan salah satu metode konservasi tanah dan air untuk menurunkan aliran permukaan, meningkatkan retensi air permukaan dan meningkatkan air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi), yang berakibat langsung terhadap nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) atau Koefisien Aliran Tahunan (KAT) suatu DAS. Penelitian tentang pengaruh embung dan kombinasinya dengan teknik konservasi tanah dan air lainnya (strip cropping dan agroforestri) terhadap KRA dan KAT pada DAS Cilemer dengan menggunakan metode SWAT ini dilakukan tahun 2017. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Skenario 1 (teknik KTA embung) mampu menurunkan KRA dan KAT masing-masing sebesar 25.45% (dari 119.70 menjadi 94.25) dan 32% (dari 0.25 menjadi 0.17). Skenario 2 (teknik KTA gabungan antara embung dan strip cropping) mampu menurunkan KRA dan KAT masing-masing sebesar 40.92% (dari 119.70 menjadi 78.78) dan 32% (dari 0.25 menjadi 0.17). Sementara Skenario 3 (gabungan teknik KTA embung dan agroforestri) mampu menurunkan KRA dan KAT masing-masing sebesar 41.38% (dari 119.70 menjadi 78.31) dan 36% (dari 0.25 menjadi 0.16). Penerapan embung beserta kombinasinya dengan teknik KTA lainnya mampu menurunkan KRA dan KAT secara cukup berarti.

Kata kunci: Agroforestri, embung, koefisien aliran tahunan, koefisien rejim aliran, strip cropping

Abstract. Government of Indonesia planned to build 30.000 embung in 2017. Embung or mini reservoir is one of soil and water conservation methods to decrease surface runoff, enhance water surface retention, and increase water entering to the soil by infiltration, that finally influence the values of Discharge Ratio and Runoff Coefficient of a watershed. This research that was done in 2017 is about the effect of embung and it's combination with other soil and water conservation technics (strip cropping and agroforestry) on Discharge Ratio (DR) and Runoff Coefficient (RC) in Cilemer Watershed by using SWAT method. The result shows that the Scenario 1 (mini reservoir technic alone) decreased DR and RC by 25.45% (from 119.70 to 94.25) and 32% (from 0.25 to 0.17), respectively. The Scenario 2 (combination of embung and strip cropping) decreased DR and Runoff Coefficient by 40.92% (from 119.70 to 78.78) and 32% (from 0.25 to 0.17), respectively. The Scenario 3 (combination of mini reservoir and agroforestry) decreased DR and RC by 41.38% (from 119.70 to 78.31) and 36% (from 0.25 to 0.16), respectively. The application of mini reservoir and its combination with other soil and water conservation (SWC) techniques were able to decrease DR and RC meaningfully.

Keywords: Agroforestry, discharge ratio, mini reservoir, runoff coefficient, strip cropping

1. Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cilemer merupakan salah satu DAS di Provinsi Banten yang perlu dilakukan pengelolaan, mengingat sering munculnya permasalahan yang terjadi di DAS Cilemer seperti banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau. Salah satu sungai yang sering menyebabkan banjir di wilayah Kabupaten Lebak, Pandeglang dan Kabupaten Serang adalah Sungai Cilemer yang merupakan sungai utama DAS Cilemer. Menurut Slamet & Sarwono (2016), penyebab banjir pada Sungai Cilemer terletak pada perbedaan kapasitas sungai pada bagian hulu dan hilir serta penambahan debit banjir dari anak – anak sungainya. Disamping itu, kemiringan dasar sungai yang sangat landai menyebabkan kecepatan aliran menjadi kecil

Salah satu pengelolaan DAS yang bisa diterapkan untuk mengatasi permasalahan yang ada di DAS yaitu dengan menerapkan teknik Konservasi Tanah dan Air (KTA). Menurut Arsyad (2006) tehnik KTA terdiri dari dua pengertian yaitu konservasi tanah dan konservasi air. Konservasi tanah merupakan penempatan sebidang tanah sesuai dengan kemampuan dan syarat - syarat yang diperlukan agar tidak terjadi degradasi lahan. Sementara konservasi air merupakan penggunaan air hujan yang jatuh ke tanah seefisien mungkin untuk pertanian dan mengatur waktu aliran agar tidak terjadi banjir yang dapat merusak serta tersediaannya air pada musim kemarau. Adanya penerapan teknologi KTA akan meningkatkan kualitas lahan dan mengatasi degradasi lahan (Rachman et al., 2017). Disamping itu, mampu meningkatkan masuknya air ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan pengisian kantong-kantong air di daerah cekungan serta mengurangi kehilangan air melalui proses evapotranspirasi dan menguap ke atmosfer (Santoso et al., 2004). Penerapan Teknologi KTA memiliki beberapa manfaat diantaranya dari segi ekologi dapat menurunkan kerugian tanah, dari segi ekonomi dapat meningkatkan hasil pertanian dan dari sosial budaya dapat meningkatkan komunitas kelembagaan (Saiz et al., 2016).

Menurut Arsyad (2006) teknik atau metode konservasi tanah dan air dapat dibagi dalam tiga golongan utama, yaitu: (1) teknik konservasi vegetatif (metode vegetatif), sering juga disebut sebagai teknik konservasi (metode) biologi; (2) teknik konservasi mekanik (metode mekanik), disebut juga sebagai teknik konservasi sipil teknis; dan (3) teknik konservasi kimia (metode kimia). Metode yang paling umum digunakan adalah metode vegetatif dan sipil tekhnis, sementara metode kimia masih jarang digunakan oleh petani.

Teknologi KTA memang memiliki prospek atau peluang yang cukup besar apabila diterapkan, namun dalam kenyataannya terdapat beberapa tantangan yang dihadapi dalam penerapannya yang terkait dengan petani. Mengubah kebiasaan petani agar berusaha tani dengan menerapkan kaidah konservasi tanah dan air merupakan bukan hal yang mudah, sehingga diperlukan berbagai upaya diseminasi agar petani dapat menerima dan menerapkannya. Petani menilai pembuatan bedengan tegak lurus lereng menyebabkan drainase kurang baik, sehingga hasil tanaman menurun. Oleh karena itu, petani membuat bedengan searah lereng agar drainase baik dan hasil tinggi, meskipun cara ini menyebabkan erosi menjadi sangat tinggi dan tanah cepat terdegradasi (Sutrisno & Heryani, 2013).

Cara yang paling aman dan murah untuk memperbaiki atau meningkatkan kapasitas tanah menyerap air dan menurunkan aliran permukaan (*surface runoff*) serta menurunkan rasio debit maksimum ($Q_{\max}$) dan debit minimum ($Q_{\min}$) adalah dengan menggunakan metode vegetatif (Rachman, et al, 2017). Metode ini dilakukan dengan cara menggunakan penanaman dan pengaturan jenis vegetasi yang ditanam agar dapat memberikan hasil yang diinginkan, baik dari aspek ekonomi untuk mendatangkan keuntungan secara finansial maupun aspek lingkungan seperti penanaman vegetasi yang dapat menyuburkan tanah, meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah dan menurunkan aliran permukaan. Penelitian Fitri (2018) mendapatkan bahwa agroforestri dapat menurunkan erosi dan penurunan aliran permukaan.

Menurut penelitian Bagdi et al., (2015), masih ada petani yang tidak melanjutkan untuk mengadopsi teknik KTA karena menganggap tidak ada kepastian dari teknik KTA dan mereka sulit untuk beralih

ke metode pertanian yang baru. Adopsi KTA oleh petani dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pendapatan, akses informasi, level pendidikan, kepemilikan lahan, tingkat kesadaran masyarakat, mudah tidaknya KTA diterapkan, ukuran pertanian, tingkat penyuluhan, ukuran rumah tangga (Huckett, 2010). Sementara, menurut Gebre (2013), ada beberapa alasan mengapa para petani tidak mau mengadopsi KTA karena kurangnya tenaga kerja, desain teknologi yang sulit untuk diterapkan, kurangnya penyuluhan, kurangnya ketersediaan lahan, dan juga sumber pendapatan yang rendah. Oleh sebab itu, perlu adanya penyuluhan yang lebih intensif disertai partisipasi efektif dari petani, dan apabila perlu diberikan insentif kepada masyarakat petani agar mau menerapkan teknologi KTA.

Embung merupakan salah satu metode konservasi tanah dan air. Pemerintah berencana akan membangun embung sebanyak 30.000 pada tahun 2017, termasuk untuk tujuan menambah cadangan air permukaan khususnya menambah pasokan air untuk pengairan pertanian. Peranan embung pada metode konservasi tanah dan air pada dasarnya adalah untuk menurunkan aliran permukaan, meningkatkan retensi air permukaan dan meningkatkan air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi), yang mana hal tersebut tentu berakibat langsung terhadap nilai Koefisien Regim Aliran (KRA) atau Koefisien Aliran Tahunan (KAT) suatu DAS.

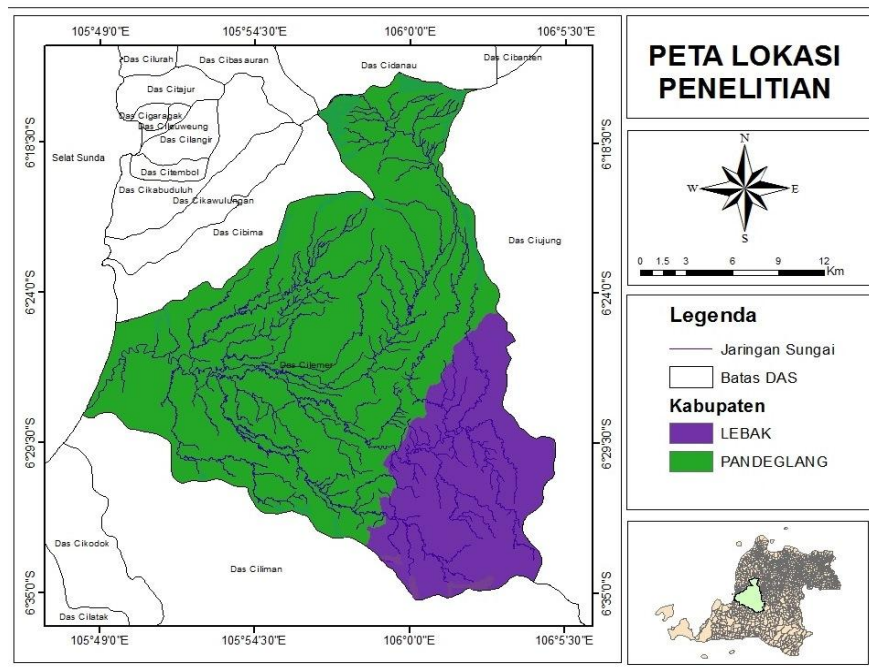
Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan No. 61 Tahun 2014, terdapat beberapa kriteria untuk melihat kinerja DAS, yaitu: Koefisien Regim Aliran (KRA), Koefisien Aliran Tahunan (KAT), Sedimentasi, Frekuensi Banjir, dan Indeks Penggunaan Air. Namun, parameter yang sering digunakan untuk melihat kinerja DAS adalah KRA dan KAT. Koefisien Regim Aliran (KRA) merupakan perbandingan atau rasio antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS. Nilai KRA ini menggambarkan fluktuasi debit aliran sebagai respon curah hujan yang masuk ke dalam outlet DAS, semakin tinggi nilai rasio debit maksimum dan minimum menunjukkan bahwa semakin tidak meratanya debit aliran yang terjadi sepanjang tahun di DAS; semakin besar nilai KRA suatu DAS menunjukkan kualitas DAS yang semakin memburuk. Koefisien Aliran Tahunan (KAT) atau Koefisien *Runoff* merupakan perbandingan antara tebal aliran tahunan (mm) dengan tebal hujan (mm) di suatu DAS. Semakin tinggi nilai KAT maka semakin banyak air hujan yang jatuh mengalir sebagai aliran permukaan, sedangkan sebaliknya apabila semakin rendah maka semakin banyak air hujan yang terdistirbusi menjadi air intersepsi dan infiltrasi. Dengan demikian, kualitas suatu DAS semakin memburuk dengan semakin tinggi nilai KAT nya.

Oleh sebab itu, dalam tulisan ini bertujuan untuk meneliti pengaruh embung dan kombinasinya dengan teknik konservasi tanah dan air lainnya (*strip cropping* dan agroforestri) terhadap KRA dan KAT pada DAS Cilemer.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 8 bulan dari bulan Januari hingga Agustus 2017. Lokasi Penelitian terletak di DAS Cilemer yang secara geografis terletak pada 105°48'25"- 106°05'05" BT serta 6°16'58"- 6°35'13"LS. DAS Cilemer masuk wilayah administrasi Kabupaten Pandeglang dan Lebak, Banten (Gambar 1). Pengolahan Data dan Analisis Laboratorium dilakukan di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Kampus IPB Dramaga.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di DAS Cilemer

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah seperangkat komputer, *Software* ArcGIS 10.1, Arc SWAT versi 10.1.18, *Microsoft Office* 2010, *Global Positioning System (GPS)*, *ring sampler*, *double ring infiltrometer* dan alat-alat lainnya yang diperlukan untuk pengambilan contoh fisik tanah dan analisis di laboratorium. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Data, Kegunaan Data dan Sumber Data Penelitian

No	Jenis Data	Kegunaan Data	Sumber Data
1	Peta DEM (<i>Digital Elevation Model</i>) resolusi 30 x 30m	Delineasi DAS	Download dari CGIAR-CSI
2	Peta Penggunaan Lahan skala 1:250.000	Input proses HRU	Baplan KemenLHK
3	Peta Tanah DAS Cilemer skala 250.000	Input proses HRU	Puslitanak
4	Data Iklim (harian) tahun 2010-2015 diantaranya: curah hujan (mm), temperatur maksimum dan minimum (°C), kelembaban udara (%), radiasi matahari ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$), kecepatan angin (m s^{-1})	Data input pemodelan SWAT	BMKG Serang
5	Data debit observasi harian Sungai Cilemer tahun 2010-2015	Data kalibrasi dan validasi model SWAT	Balai PSDA WS Ciliman-Cisawarna
6	Data karakteristik fisik tanah DAS Cilemer	Input model SWAT	Survei lapangan

2.3. Metode Penelitian

2.3.1. Kalibrasi dan Validasi

Sebelum model dapat digunakan untuk proses simulasi, perlu terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dan validasi terhadap model SWAT yang dibangun. Pengujian hasil kalibrasi dan validasi dihitung berdasarkan persamaan koefisien determinasi (R^2) dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Nilai R^2 merupakan nilai yang digunakan untuk menggambarkan seberapa banyak sebaran data observasi yang dapat dijelaskan oleh data simulasi. Kisaran nilai R^2 adalah 0 – 1, nilai R^2 dapat dihitung dengan persamaan:

$$R^2 = \frac{(Q_{Mi} - Q_M)^2 - (Q_{Mi} - Q_{Si})^2}{(Q_{Mi} - Q_M)^2}$$

Nilai NSE merupakan nilai yang menggambarkan kemiripan data simulasi dengan data observasinya. NSE dapat dihitung dengan persamaan:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_{Si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_M)^2}$$

dimana:

R^2 = koefisien determinasi

NSE = koefisien *Nash-Sutcliffe Efficiency*

Q_{Si} = nilai simulasi model

Q_{Mi} = nilai observasi

Q_M = nilai rata-rata observasi

n = jumlah data

Kisaran nilai NSE adalah 0 – 1, jika nilai NSE semakin mendekati angka 1 maka performa model dapat dikatakan optimal dimana hasil simulasi mendekati hasil observasi atau pengukuran di lapangan. Tingkat performa model berdasarkan nilai NSE disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat Performa Model Berdasarkan Nilai NSE

Tingkat Performa	Nilai NSE
Sangat baik (<i>very good</i>)	0.75 – 1.00
Baik (<i>good</i>)	0.65 – 0.75
Memuaskan (<i>satisfactory</i>)	0.50 – 0.65
Tidak memuaskan (<i>unsatisfactory</i>)	< 0.50

2.3. Skenario yang Digunakan

Adapun teknik KTA yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 3 skenario (lihat Tabel 3), yaitu:

Tabel 3. Skenario Pengelolaan DAS Cilemer

Skenario	Metode KTA	Simulasi Parameter Hidrologi	Lokasi Simulasi	Luas	
				Ha	%
1	Embung	PND_SA, PND_VOL, dan CN2 ^{a)}	1,2,5,6-10,12-24	10 913	38.95
2	Embung dan <i>Strip cropping</i>	STRIP_CN, STRIP_P, STRIP_C, PND_SA, PND_VOL, dan CN2	1,2,5-24	13 852	49.44
3	Embung dan Agroforestri	SOL_BD, SOL_C, SOL_AWC, PND_SA, PND_VOL, dan CN2	1,2,5-10,12-18,20-24	12 912	46.08

^{a)} Almendinger et al., 2010

- Skenario 1: Embung merupakan merupakan salah satu tehnik KTA sipil teknis dengan dimensi luasan 50-100 m², kedalaman 3 m dan volume tampungan kurang dari 300 m³ yang bisa mengairi lahan sekitar 0,5-1 ha. Lokasi penetapan embung diarahkan pada daerah cekungan tempat mengalirnya aliran permukaan, pada tanah bukan berpasir dan porous (mudah meresapkan air) karena air cepat hilang. Skenario embung diterapkan pada lahan pertanian dengan kemiringan 0-

15%. Parameter yang disesuaikan untuk skenario ini adalah PND_PSA (luas area permukaan embung), PND_VOL (Volume embung) (Almendinger et al., 2010). Selain itu, parameter CN2 (*Curve Number*) turut dirubah dan disesuaikan. Luas areal yang disimulasikan dengan Skenario 1 adalah 10 913 ha. Dengan kerapatan embung sekitar setiap embung untuk 1 ha, maka jumlah embung adalah 10 913.

- Skenario 2: Skenario ini merupakan gabungan dari penerapan KTA *strip cropping* (metode *contour strip cropping*) pada penggunaan lahan pertanian lahan kering dan lahan kering campur dengan kemiringan 0-15% dengan embung pada lahan pertanian dengan kemiringan 0-15% dipilih pada tanah bukan berpasir. Parameter model SWAT yang dirubah dengan adanya skenario ini adalah STRIP_CN, STRIP_P, STRIP_C, PND_PSA, PND_VOL, CN2 agroforestri. Luas areal yang disimulasikan dengan Skenario 2 adalah 13 852 ha. Dengan kerapatan embung sekitar setiap embung untuk 1 ha, maka jumlah embung adalah 13 852.
- Skenario 3: Skenario ini merupakan gabungan dari penerapan KTA agroforestri (metode *alley cropping*) dengan CN2 72 (lebih rendah dibanding CN2 existing, 78) pada penggunaan lahan pertanian lahan kering dan lahan kering campur dengan kemiringan 15-45% dengan embung pada lahan pertanian dengan kemiringan 0-15% dipilih pada tanah bukan berpasir. Parameter model SWAT yang dirubah dengan adanya skenario ini adalah CN2 agroforestri, SOL_C, dan SOL_BD PND_PSA, PN_VOL, CN2 embung. Luas areal yang disimulasikan dengan Skenario 3 adalah 12 912 ha. Dengan kerapatan embung sekitar setiap embung untuk 1 ha, maka jumlah embung adalah 129.

2.3.3. Parameter Yang Digunakan

Parameter yang digunakan untuk membandingkan efek embung dan kombinasinya dengan teknik konservasi tanah dan air lainnya terhadap kualitas DAS adalah Koefisien Regim Aliran (KRA) serta Koefisien Aliran Tahunan. Adapun cara perhitungan KRA dan KAT adalah sebagai berikut:

- a. Koefisien Regim Aliran (KRA)

$$KRA = \frac{\text{Debit maksimum (Q maks)}}{\text{Debit minimum (Q min)}}$$

Kriteria kualitas DAS berdasarkan rasio debit maksimum dan minimum menurut Dirjen RLPS ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Katagorisasi Nilai Koefisien Regim Aliran (KRA)

Kategori	KRA
Sangat Rendah	$KRA \leq 20$
Rendah	$20 < KRA \leq 50$
Sedang	$50 < KRA \leq 80$
Tinggi	$80 < KRA \leq 110$
Sangat Tinggi	$KRA > 110$

- b. Koefisien aliran permukaan (C)/Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

$$KAT = \frac{\text{Direct Runoff (mm)}}{\text{Curah Hujan (mm)}}$$

Kriteria kualitas DAS berdasarkan KAT menurut Permenhut No.61 tahun 2014 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Katagorisasi Nilai Koefisien Aliran Tahunan (KAT)

Kategori	KAT
Sangat Rendah	$KAT \leq 0,2$
Rendah	$0,2 < KAT \leq 0,3$
Sedang	$0,3 < KAT \leq 0,4$
Tinggi	$0,4 < KAT \leq 0,5$
Sangat Tinggi	$KAT > 0,5$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Biofisik DAS Cilemer dan *Hydrological Response Unit* (HRU)

3.1.1. *Hydrological Response Unit* (HRU)

Hydrology Response Unit (HRU) merupakan unit satuan hidrologi yang terdiri dari penggunaan lahan, jenis tanah dan lereng. Analisis HRU dalam model SWAT menggunakan *threshold* 0% baik untuk penggunaan lahan, tanah dan lereng, dengan kata lain tidak ada batasan penggunaan lahan, jenis tanah dan lereng yang diabaikan oleh model. Dari hasil analisa terbentuk sebanyak 493 HRU.

3.1.2. Penggunaan Lahan

Jenis penggunaan lahan di DAS Cilemer hasil delineasi dari titik outlet Kadubera terdapat 8 jenis penggunaan lahan yang digunakan untuk proses simulasi model SWAT yaitu hutan lahan kering sekunder, pemukiman, pertanian lahan kering, sawah, hutan tanaman industri, pertanian lahan kering campuran, perkebunan dan semak/belukar. Penggunaan lahan yang digunakan untuk input model SWAT adalah Peta Penggunaan Lahan tahun 2013 dari Badan Planologi Kehutanan.

Hasil analisis HRU menunjukkan bahwa proporsi penggunaan lahan tertinggi di DAS Cilemer adalah untuk pertanian lahan kering campuran dan yang terendah adalah untuk semak/belukar, masing-masing dengan proporsi yaitu sekitar 49.17% dan 0.57% dari luas total DAS Cilemer (Tabel 6).

Tabel 6. Luas dan Proporsi Penggunaan Lahan di DAS Cilemer Banten Tahun 2013

No	Penggunaan Lahan	Kode SWAT	Luas (ha)	%
1	Hutan lahan kering sekunder	FRST	1 824	6.51
2	Pemukiman	UMRL	1 039	3.11
3	Pertanian lahan kering	AGRL	872	7.40
4	Sawah	RICE	2 689	19.92
5	Hutan Tanaman Industri	FRSD	2 072	3.71
6	Pertanian lahan kering campuran	AGRR	13 778	49.17
7	Perkebunan	RICE	5 582	9.60
8	Semak/belukar	PAST	159	0.57
	Jumlah		28 019	100.00

3.1.3. Satuan Lahan

Satuan tanah di DAS Cilemer hasil delineasi dari Titik Outlet Kadubera terdapat 9 jenis satuan tanah, dimana setiap satuan tanah (*Soil Great Group*) terdiri dari tiga sampai dua macam tanah. Kelompok satuan tanah yang terluas adalah satuan tanah Tropudults dan Tropudalfs dan yang terendah satuan

tanah Tropudults, Dystrupepts dan Eutropepts dengan luasan masing-masing 28.44% dan 1.85% dari total luasan DAS Cilemer (lihat Tabel 7).

Tabel 7. Luas dan Proporsi Satuan Tanah di DAS Cilemer

No	Soil Great Group	Kode SWAT	Luas (ha)	%
1	Dystrandepts; Humitropepts; Hydrandepts	TDHH	3 679	16.70
2	Dystrandepts; Tropudults; Eutropepts	TDTE	570	2.04
3	Dystropepts; Dystrandepts; Tropudults;	TDDT	1 369	4.89
4	Dystropepts; Eutropepts; Tropudalfts;	TDET	1 292	4.61
5	Tropaquepts; Fluvaquents; Tropohemists	TTFT	2 505	8.94
6	Tropudalfts; Eutropepts; Tropaquepts	TTET	5 445	19.43
7	Tropudalfts; Tropudults	TTAT	3 668	13.09
8	Tropudults; Dystropepts; Eutropepts	TTDE	518	1.85
9	Tropudults; Tropudalfts	TTUT	7 969	28.44
Jumlah			28 019	100.00

3.1.4. Kemiringan Lereng

Kelas lereng DAS Cilemer terbagi ke dalam lima kelas yaitu 0-8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan >45%. Hasil analisis HRU menunjukkan bahwa kelas lereng 0-8% yang diklasifikasikan datar mendominasi wilayah DAS Cilemer dengan luasan sebesar 17 648 ha (62.99%), sedangkan kelas lereng >45% yang diklasifikasikan sangat curam hanya sedikit dengan luasan sebesar 378 ha (%) (lihat Tabel 8).

Tabel 8. Luas dan Proporsi Kelas Kemiringan Lahan di DAS Cilemer

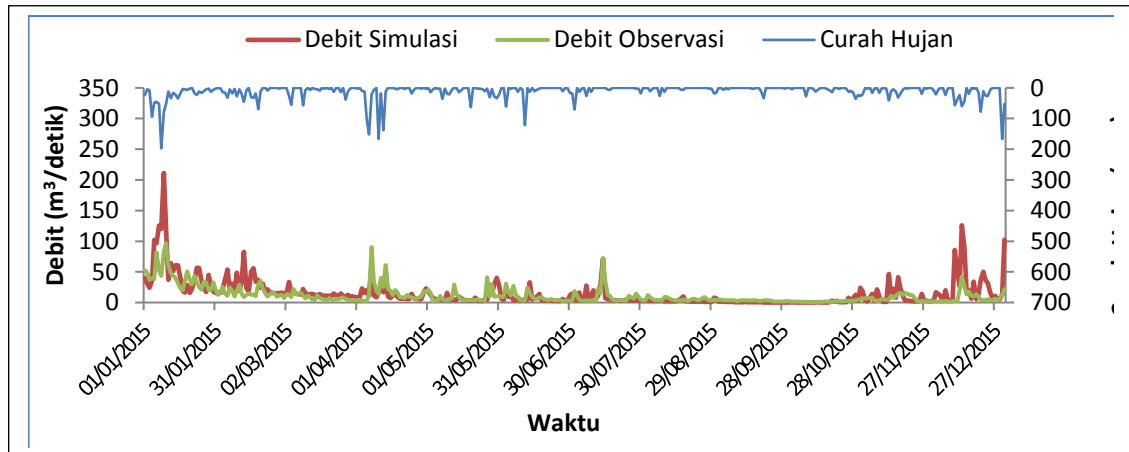
No	Kelas Lereng	Klasifikasi	Luas (ha)	%
1.	0 - 8 %	Datar	17 648	62.99
2.	8 - 15%	Landai	5 889	21.02
3.	15 - 25%	Agak Curam	2 552	9.11
4.	25 - 45%	Curam	1 550	5.53
5.	> 45%	Sangat Curam	378	1.35
Total			28 019	100.00

3.2. Kalibrasi dan Validasi Model SWAT

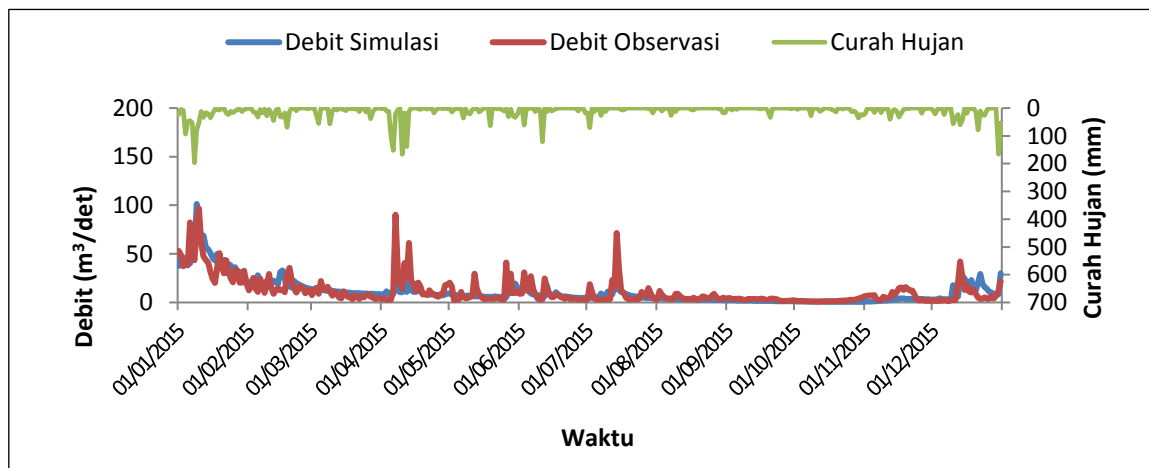
Kalibrasi dan validasi model merupakan faktor kunci dalam mengurangi ketidakpastian dan peningkatan kepercayaan pengguna terhadap kemampuan prediksinya, yang mana membuat aplikasi model menjadi efektif (White & Chaubey, 2005). Kalibrasi dan validasi juga menunjukkan atau dapat dijadikan sebagai ukuran kehandalan simulasi dalam suatu model (Saleh et al., 2009). Kalibrasi merupakan proses pengujian parameter sehingga menghasilkan nilai NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*) yang bagus sebagai indikasi bahwa hasil simulasi model mendekati hasil observasi.

Sebelum dilakukan proses kalibrasi, hasil model SWAT menghasilkan nilai NSE – 0.45 dan R^2 0.39 yang dikategorikan belum memuaskan. Hal itu menghasilkan debit simulasi yang belum mendekati debit observasi (lihat Gambar 2), sehingga dapat dinyatakan model belum bisa digunakan untuk simulasi. Setelah proses kalibrasi, model SWAT menghasilkan nilai R^2 0.63 dan NSE 0.62, yang menurut Moriasi et al., (2007) sudah termasuk kategori tingkat performa model SWAT yang

memuaskan karena nilai NSE nya sudah lebih besar dari 0.5. Hal itu menghasilkan debit simulasi yang semakin mendekati debit observasi (lihat Gambar 3).

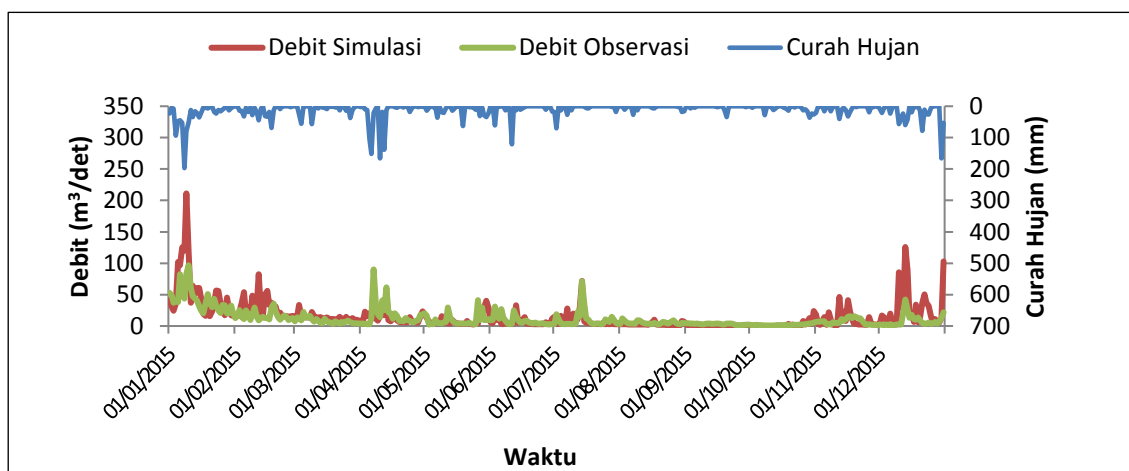


Gambar 2. Perbandingan Debit Simulasi dan Debit Observasi di DAS Cilemer Sebelum Kalibrasi



Gambar 3. Perbandingan Debit Simulasi dan Debit Observasi di DAS Cilemer Hasil Kalibrasi Tahun 2015

Sementara untuk validasi model SWAT yang dilakukan pada tahun 2015 menghasilkan R^2 dan NSE masing-masing adalah 0.57 dan 0.52 dikategorikan memuaskan serta menghasilkan debit simulasi yang mendekati debit observasi (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan Debit Simulasi dan Debit Observasi di DAS Cilemer Hasil Validasi Tahun 2015

Setelah dilakukan kalibrasi dan validasi pada model dan model dinyatakan memuaskan maka model siap dapat digunakan untuk simulasi skenario untuk menghasilkan arahan pengelolaan suatu DAS.

3.3. Hasil Simulasi Embung Beserta Kombinasinya Terhadap KRA

Berdasarkan hasil simulasi skenario pengelolaan DAS menggunakan model SWAT menunjukkan bahwa penerapan teknik KTA mampu menurunkan debit maksimum ($Q_{\max}$) serta meningkatkan debit minimum ($Q_{\min}$) sehingga berakibat pada penurunan nilai KRA (Tabel 9).

Tabel 9. Efek Skenario Pengelolaan DAS terhadap Nilai Koefisien Rejim Aliran (KRA)

Skenario	Debit					KRA	Δ KRA	Δ Katagori DAS
	Rata-rata (m ³ /det)	$Q_{\max}$ (m ³ /det)	Δ %	$Q_{\min}$ (m ³ /det)	Δ %			
Eksisting	8.41	41.08		0.34		119.70		
Skenario 1	8.68	39.15	- 4.70	0.42	+21.04	94.25	-25.45	+1 kelas (ST→T)
Skenario 2	8.68	34.04	-17.14	0.43	+25.90	78.78	-40.92	+2 kelas (ST→S)
Skenario 3	8.70	34.38	-16.31	0.44	+27.91	78.31	-41.39	+2 kelas (ST→S)

ST = Sangat Tinggi T = Tinggi S = Sedang

• Skenario 1

Simulasi Skenario 1 dengan teknik embung dapat menurunkan debit maksimum sebesar 4.70%, sehingga mampu menurunkan debit 1,93 m³/det, dari 41.08 m³/det pada kondisi eksisting menjadi 39.15 m³/det. Debit minimum meningkat sebesar 21.04%, yaitu sebesar 0,08 m³/det, dari 0.34 m³/det pada kondisi eksisting menjadi 0.42 m³/det. Hal ini menghasilkan penurunan KRA sebesar 21.26% (25.45), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 94.25; menyebabkan perubahan katagorisasi DAS, dari sangat tinggi menjadi tinggi.

Menurunnya KRA dengan penerapan embung dapat dijelaskan karena embung berfungsi untuk menampung air hujan dan aliran permukaan yang ditimbulkan. Air hujan dan air hujan yang menjadi aliran permukaan sebagian dapat masuk ke embung sehingga aliran air yang masuk ke sungai berkurang, sebagai akibatnya debit maksimum akan menurun. Sedangkan pada musim kemarau, air hujan yang sudah tertampung di embung dan tambahan air bawah tanah yang berhasil ditingkatkan pada musim penghujan akibat adanya embung dapat dialirkan atau disalurkan ke saluran irigasi atau digunakan sebagai sumber air untuk penyiraman tanaman budidaya pertanian pada musim kemarau, serta sebagian lagi mengalir melalui aliran bawah permukaan ke sungai sehingga terjadi peningkatan debit minimum air sungainya.

• Skenario 2

Skenario 2 yang merupakan gabungan teknik KTA embung dan *strip cropping* mampu menurunkan debit maksimum lebih besar, yaitu 17.14% (7.04 m³/det), dari 41.08 m³/det pada kondisi eksisting menjadi 34.04 m³/det. Debit minimum meningkat sebesar 25.90% (0.09 m³/det), dari 0.34 m³/det pada kondisi eksisting menjadi 0.43 m³/det. Hal ini mampu mengakibatkan penurunan nilai KRA sebesar 34.19% (40,92), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 78.78, merubah katagori DAS, dari sangat tinggi menjadi sedang.

Adanya penerapan KTA ganda yaitu embung dan *strip cropping* pada lahan dengan kemiringan yang sama yaitu 0-15% dapat memaksimalkan penurunan debit maksimum pada musim penghujan dan peningkatan debit minimum pada musim kemarau. Perpaduan antara kedua metode KTA vegetatif dan sipil teknis ini lebih menguntungkan bila dibandingkan penerapan embung saja dalam penurunan nilai KRA. Melalui penanaman yang searah garis kontur yang tegak lurus arah kemiringan lereng, teknik KTA *strip cropping* secara fisik dapat meningkatkan air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan menghambat aliran permukaan. Selain itu, melalui tambahan pasokan pupuk hijanya, teknik KTA *strip*

cropping ini dapat memberikan keuntungan peningkatan sifat fisik tanah berupa perbaikan agregasi dan kegemburan tanah sehingga dapat meningkatkan jumlah air yang masuk ke dalam tanah yang dapat menurunkan aliran permukaan serta meningkatkan cadangan air bawah tanah dan aliran bawah tanah ke sungai pada musim kemarau. Peran embung sendiri seperti yang telah dijelaskan sebelumnya mampu menurunkan aliran permukaan serta meningkatkan cadangan dan ketersediaan air pada musim kemarau yang selanjutnya bermanfaat untuk tambahan sumber air untuk pengairan tanaman dan tambahan air irigasi serta dapat meningkatkan air yang dialirkan ke sungai, khususnya pada musim kemarau sehingga meningkatkan debit minimumnya. Dengan demikian dapat dipahami apabila bila Skenario 2 mampu menurunkan nilai KRA lebih besar dibandingkan dengan Skenario 1, sehingga mampu memberikan hasil yang lebih baik dalam hal memperbaiki kualitas DAS.

• Skenario 3

Skenario 3 yang merupakan gabungan teknik KTA embung dan agroforestri mampu menurunkan debit maksimum sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kombinasi embung dengan *strip cropping*, yaitu sebesar 16.31% ($6.70 \text{ m}^3/\text{det}$), dari $41.08 \text{ m}^3/\text{det}$ pada kondisi eksisting menjadi $34.38 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit minimum meningkat, sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi embung dengan *strip cropping*, yaitu sebesar 27.91% ($0.10 \text{ m}^3/\text{det}$), dari $0.34 \text{ m}^3/\text{det}$ pada kondisi eksisting menjadi $0.44 \text{ m}^3/\text{det}$. Hal ini mampu menurunkan KRA terbesar dibandingkan dengan skenario lainnya, yaitu sebesar 34.58% (41.39), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 78.31. Namun perubahan ini masih menghasilkan perubahan katagori DAS yang sama dengan skenario 2, yaitu dari katagori sangat tinggi menjadi sedang.

Penurunan KRA yang paling efektif pada skenario 3 ini dikarenakan adanya perpaduan penerapan KTA di daerah hulu dan daerah hilir, dimana agroforestri yang diterapkan di daerah curam (15-45%) yang sebagian besar di daerah hulu mampu mengurangi laju dan volume aliran permukaan serta meningkatkan air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Sementara embung diterapkan yang di daerah landai, yang sebagian besar berada di daerah hilir, mampu berfungsi seperti yang dijelaskan pada skenario 1. Dengan demikian, perpaduan metode embung dan agroforestri pada skenario 3 ini merupakan kombinasi yang paling efektif untuk menurunkan KRA yang terbesar sehingga menghasilkan nilai KRA paling rendah dibandingkan skenario lainnya. Dikaitkan dengan perbaikan kualitas DAS, penurunan nilai KRA terbesar pada skenario 3 menunjukkan bahwa skenario 3 yang paling efektif untuk perbaikan kualitas DAS.

Secara keseluruhan, pengaruh Skenario 1 (embung), Skenario 2 (embung dan *strip cropping*) dan Skenario 3 (embung dan agroforestri) dapat menurunkan KRA masing-masing 21.26%, 34.19% dan 34.58%. Dibandingkan dengan perlakuan embung saja, pengaruh adanya kombinasi tambahan KTA (*strip cropping* dan agroforestri) dengan embung menghasilkan penurunan nilai KRA yang hampir sama.

3.4. Hasil Simulasi Embung beserta Kombinasinya Terhadap KAT

Pengaruh skenario pengelolaan DAS terhadap KAT dapat dilihat pada Tabel 10. Adanya penerapan KTA melalui skenario 1, 2 dan 3 dapat menekan atau menurunkan aliran permukaan, sehingga masing-masing skenario mengalami penurunan aliran permukaan (DRO) dan KAT.

Tabel 10. Efek Skenario Pengelolaan DAS terhadap KAT DAS Cilemer

Skenario	Curah Hujan (mm)	DRO (mm)	KAT	Δ KAT	Δ Katagori DAS
Eksisting	1 972.58	485.98	0.25		
Skenario 1	1 972.74	343.92	0.17	0.08	+ 1 kelas (R-SR)
Skenario 2	1 972.74	335.53	0.17	0.08	+ 1 kelas (R-SR)
Skenario 3	1 972.74	322.52	0.16	0.09	+ 1 kelas (R-SR)

SR = Sangat Rendah, R= Rendah

• Skenario 1

Diterapkannya Skenario 1 yang merupakan penerapan metode embung saja mampu menurunkan aliran permukaan langsung (*direct runoff*, DRO) sebesar 29.24% (142,06 mm), dari 485.98 mm menjadi 343.92 mm, sehingga nilai KAT menurun sebesar 32% (0.08), dari 0.25 menjadi 0.17. Embung dapat menekan aliran permukaan pada musim penghujan karena mampu menampung air dari aliran permukaan serta meningkatkan kemampuan memasukkan air ke dalam tanah (infiltrasi).

• Skenario 2

Skenario 2 yang merupakan gabungan metode KTA embung dan *strip cropping* mampu menurunkan aliran permukaan langsung lebih besar dari Skenario 1, yaitu sebesar 30.97% (150.45 mm), dari 485.98 mm menjadi 335.53 mm, sehingga nilai KAT menurun 32% (0.08), dari 0.25 menjadi 0.17. Ini menunjukkan bahwa efek kombinasi metode KTA *strip cropping* yang merupakan metode vegetatif dengan embung yang merupakan metode sipil teknis dalam menurunkan KAT tidak berbeda dengan efek embung saja. Tambahan KTA berupa pola penanaman *strip cropping* tidak mampu menurunkan KAT. Hal ini disebabkan teknik KTA *strip cropping* hanya diterapkan pada lahan atau wilayah yang landai dengan kemiringan 0-15 persen.

- Skenario 3

Skenario 3 yang merupakan metode gabungan KTA embung dan agroforestri mampu menurunkan aliran permukaan langsung sebesar 33.64% (163.46 mm), dari 485.98 mm menjadi 322.52 mm sehingga nilai KAT menurun sebesar 36% (0.09), dari 0.25 menjadi 0.16. Penurunan ini yang terbesar dibandingkan dengan kedua skenario lainnya, meskipun perbedaannya hanya sangat kecil (0.01). Penerapan Skenario 3 yang juga merupakan kombinasi antara metode vegetatif (agroforestri) dan sipil teknis (embung). Namun yang membedakan Skenario 2 dengan Skenario 3 adalah komposisi vegetasi, dimana pada Skenario 3 metode KTA yang diterapkan adalah agroforestri yang komposisi vegetasinya terdiri dari tanaman naungan tinggi dan naungan rendah, sementara pada Skenario 2 hanya tanaman naungan rendah dengan pola tanam berupa barisan-barisan yang searah garis kontur. Kemudian perbedaan lainnya adalah dari segi sebaran lokasi, pada Skenario 3 penerapan agroforestri tersebar di daerah datar hingga curam, sementara pada Skenario 2 hanya dilakukan pada daerah datar saja (0-15%).

Secara keseluruhan, pengaruh Skenario 1 (embung), Skenario 2 (embung dan *strip cropping*) dan Skenario 3 (embung dan agroforestri) dapat menurunkan KAT masing-masing 32.00% (0.08), 32.00% (0.08) dan 36.00% (0.09) dibandingkan kondisi eksisting. Dengan demikian, tidak ada pengaruh adanya kombinasi embung dengan KTA *strip cropping* terhadap penurunan KAT, sedangkan pengaruh kombinasi embung dengan agroforestri hanya sedikit lebih efektif dalam menurunkan KAT dibandingkan dengan perlakuan embung tanpa kombinasi..

4. Kesimpulan

Dengan NSE kalibrasi 0.62 dan NSE validasi 0.52, model sudah layak untuk mensimulasi skenario. Penerapan embung (Skenario 1) mampu menurunkan KRA sebesar 21.04% (25.45), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 94.25 serta menurunkan KAT sebesar sebesar 32% (0.08), dari 0.25 pada kondisi eksisting menjadi 0.17. Apabila dikombinasi dengan teknik KTA *strip cropping* (Skenario 2), mampu menurunkan KRA sebesar 34.19% (40,92), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 78.78) serta menurunkan KAT sebesar 32% (0.08), dari 0.25 pada kondisi eksisting menjadi 0.17. Apabila dikombinasi dengan teknik KTA agroforestri (Skenario 3), mampu menurunkan KRA sebesar 34.58% (41.39), dari 119.70 pada kondisi eksisting menjadi 78.31) serta menurunkan KAT sebesar sebesar 36% (0.09), dari 0.25 pada kondisi eksisting menjadi 0.16. Dengan demikian dibandingkan dengan perlakuan embung saja, kombinasi embung dengan KTA lainnya yaitu *strip cropping* pada Skenario 2 maupun

agroforestri pada Skenario 3 cukup efektif dalam menurunkan nilai KRA tapi tidak efektif dalam menurunkan nilai KAT.

Daftar Pustaka

- Almendinger, J.E., Ulrich, J., Nieber, J., & Ribanszky, S. (June 2010). *Constructing a SWAT model of the Sunrise River Watershed, Eastern Minnesota*. 20 Februari 2018. Diambil dari situs <https://www.chisagocounty.us/DocumentCenter/View/4299>
- Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Bagdi, G.L., Mishra, P.K., Kurothe, R.S., Arya, S.L., Patil, A.L., Singh, A.K., Bihari, B., Prakash, O., Kumar, A., & Sundarambal, P. (2015). Post-adoption behavior of farmers towards soil and water conservation technologies of watershed management in India. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(3), 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.08.003>
- Fitri, R. (2018). *Optimalisasi Sistem Agroforestri Berkelanjutan di DAS Ciliwung Hulu Provinsi Jawa Barat*. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Gebre, H. (2013). Trend and variability of rainfall in Tigray, Northern Ethiopia: Analysis of meteorological data and farmers' perception. *Academia Journal of Agricultural Research* 1(6), 088-100. <http://dx.doi.org/10.15413/ajar.2013.0117/>
- Huckett, S.P. (2010). A Comparative study to identify factors affecting adoption of soil and water conservation practices among smallhold farmers in the Njoro River Watershed of Kenya. USA: Utah State University. Diambil dari situs <https://digitalcommons.usu.edu/etd/656/>
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>
- Rachman, L.M., Hidayat, Y., Baskoro, D.P.T., & Noywuli, N. (2017). Simulasi pengendalian debit DAS Ciliwung Hulu dengan menggunakan model SWAT. Diambil dari situs <https://repository.unri.ac.id/xmlui/handle/123456789/9444>
- Saiz, G., Wandera, F.M., Plester, D.E., Ngetich, W., Okalebo, J.R., Rufino, M.C., & Bahl, K.B. (2016). Long-term assessment of soil and water conservation measures (Fanya-juu terraces) on soil organic matter in South Eastern Kenya. *Geoderma*. 274, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.022/>
- Saleh, D.K., Kratzer, C.R., Green, C.H., & Evans, D.G. (2009). *Using the soil and water assessment tool (SWAT) to simulate runoff in Mustang Creek Basin, California*. Diambil dari situs <https://pubs.er.usgs.gov/publication/sir20095031>
- Santoso, D., Purnomo, J., Wigena, I.G.P., & Tuherkih, E. (2004). *Teknologi konservasi tanah vegetatif dalam teknologi konservasi tanah pada lahan kering berlereng*. Editor Kurnia, U., et al., 2004. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Diambil dari situs <HTTP://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/.../845-lereng>
- Slamet, N.S., & Sarwono. (2016). Simulasi genangan banjir menggunakan data ASTER DEM pada alur Sungai Cilemer. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(1), 61-76. Diambil dari situs http://journalsda_pusair.pu.go.id/index.php/JSDA/article/viewFile/.../148
- Sutrisno N, Heryani N. (2013). Teknologi konservasi tanah dan air untuk mencegah degradasi lahan pertanian berlereng. *J. Litbang Pertanian*. 32(3), 122-130
- White, K.L., & Chaubey, I. (2005). Sensitivity Analysis, Calibration, and Validation for a Multisite and Multivariable SWAT Model. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 41(5), 1077-1089. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03786.x>