

# Perencanaan Penggunaan Lahan Berbasis Sumber Daya Air di Hulu DAS Cisadane

## (Land Use Planning Based on Water Resources in Upper Cisadane Watershed)

Fulki Dwiyanandi Araswati<sup>1\*</sup>, Kukuh MurtiLaksano<sup>2</sup>, Yayat Hidayat<sup>2</sup>

(Diterima Juli 2020/Disetujui April 2021)

### ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan adalah salah satu penyebab terjadinya ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air. Perubahan penggunaan lahan ini sejalan dengan perkembangan wilayah dan laju pertumbuhan penduduk pada suatu daerah yang akan menyebabkan kebutuhan air terus meningkat. Daerah aliran sungai (DAS) Cisadane Hulu merupakan sumber air baku bagi masyarakat Kota dan Kabupaten Bogor, baik untuk kegiatan domestik maupun nondomestik sehingga perlu dipertahankan fungsi hidrologisnya. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji ketersediaan dan kebutuhan air, mengkaji neraca air di DAS Cisadane Hulu, serta menyusun rekomendasi perencanaan pengelolaan lahan yang optimal. Penelitian dilaksanakan di DAS Cisadane Hulu pada tahun 2019. Analisis kebutuhan air menggunakan SNI 19-6728.1-2002 dan metode FJ Mock digunakan untuk mengetahui ketersediaan air serta penyusunan skenario perencanaan penggunaan lahan dalam memprediksi total limpasan. Terdapat enam skenario yang diterapkan yang meliputi 1) Penggunaan lahan eksisting pada tahun 2018, 2) Penggunaan lahan sesuai RTRW Provinsi Jawa Barat, 3) Rencana teknik rehabilitasi hutan dan lahan (RTk-RHL), 4) Implementasi fungsi kawasan hutan di Hulu DAS Cisadane, 5) Kombinasi antara skenario 2, 3, dan 4, dan 6) Aplikasi teknik *agroforestry* pada lahan pertanian/perkebunan berlereng curam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan air di Daerah Tangkapan Air (DTA) Cienteun adalah sebesar 108.952.291 m<sup>3</sup>/tahun dan di DTA Cisadane Hulu sebesar 308.733.311 m<sup>3</sup>/tahun, serta ketersediaan air berdasarkan debit andalan periode 10 tahun di DTA Cienteun sebesar 248.584.986 m<sup>3</sup>/tahun dan di DTA Cisadane Hulu sebesar 301.882.316 m<sup>3</sup>/tahun. Hasil neraca air membuktikan bahwa ketersediaan air pada DTA Cienteun mengalami surplus sebesar 139.632.695 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan pada DTA Cisadane Hulu mengalami defisit sebesar -6.850.995 m<sup>3</sup>/tahun.

Kata kunci: kebutuhan air, ketersediaan air, limpasan total, skenario perencanaan penggunaan lahan

### ABSTRACT

Land-use change is one of the causes of imbalance between water supply and demand. This land-use change is in line with the development of an area along with its population growth rate, which will cause a continuous increase of water demand. Cisadane Hulu is the main raw-water source for the citizens of Kota and Kabupaten Bogor, both for domestic and non-domestic activities. Therefore, its hydrological function needs to be maintained. The objectives of this research are to assess the water supply and demand and to assess the water balance of Cisadane Hulu watershed, also to formulate a recommendation for an optimum land-management planning. This research was conducted in 2019. Analysis with SNI 19-6728.1-2002 was applied to presume the water demand, while the Mock model was applied to determine water supply and land-use planning scenarios in predicting the total run-off. There were six scenarios implemented, i.e., 1) Implementation of Existing Land Use 2018, 2) West Java Spatial Planning, 3) RTk-RHL, 4) forest area maps, 5) Combination of scenarios 2, 3, and 4, and 6) agroforestry technique in agriculture and plantation. The results showed that the water demands in Cienteun Water Catchment Area were 108.952.291 m<sup>3</sup>/year and in Cisadane Hulu Water Catchment Area were 308.733.311 m<sup>3</sup>/year, while the water supplies in Cienteun Water Catchment Area were 248.584.986 m<sup>3</sup>/year and in Cisadane Hulu Water Catchment Area were 301.882.316 m<sup>3</sup>/year. The water balance results proved that the water supply in Cienteun Water Catchment Area had a surplus of 139.632.695 m<sup>3</sup>/year, meanwhile Cisadane Hulu Water Catchment Area had a deficit of -6.850.995 m<sup>3</sup>/year.

Keywords: land use planning scenario, total run-off, water supply, water demand

<sup>1</sup> Sekolah Pascasarjana, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

<sup>2</sup> Pengelolaan Daerah Alliran Sungai, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

\* Penulis Korespondensi: Email: [fulkiaraswati@gmail.com](mailto:fulkiaraswati@gmail.com)

### PENDAHULUAN

Semua aktivitas manusia mulai dari kebutuhan domestik, pertanian, energi, pengembangan industri, dan pembangunan memerlukan ketersediaan air (Kodoatie *et al.* 2010). Akan tetapi, perlu disadari

bahwa ketersediaan air di bumi semakin langka menurut ruang dan waktu baik secara kuantitas maupun kualitas. Perkembangan wilayah pada suatu daerah akan menyebabkan kebutuhan air terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan antara ketersediaan air yang cenderung menurun dan kebutuhan air yang semakin meningkat. Untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan air dan ketersediaan air di masa mendatang, diperlukan upaya pengkajian komponen-komponen kebutuhan air, serta efisiensi penggunaan air (Sari *et al.* 2012). DAS Cisadane Hulu merupakan kawasan yang berfungsi sebagai daerah pelindung dan penyangga wilayah keseluruhan DAS Cisadane. DAS Cisadane Hulu hingga saat ini telah mengalami banyak alih fungsi lahan. Alih fungsi lahan menyebabkan terjadi perubahan fungsi hidrologis DAS, seperti sering terjadi banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau (Sinuraya 2019). Pada tahun 2013, luas hutan di DAS Cisadane Hulu sekitar 21,7%. Berdasarkan UU 41 Tahun 1999 Pasal 18 Ayat 1, luas kawasan hutan dalam setiap daerah aliran sungai (DAS) dan atau pulau, minimal 30% dari luas daratan. Dengan demikian, perubahan penggunaan lahan tersebut berpengaruh pada kapasitas simpan air di DAS Cisadane Hulu. Gangguan pada kapasitas simpan air pada DAS tersebut akan menyebabkan fungsi DAS sebagai pemasok air akan terganggu juga (Ahsoni 2008).

Sungai Cisadane merupakan sumber air baku utama bagi masyarakat Kota Bogor dan Kabupaten Bogor, baik untuk kegiatan domestik maupun nondomestik. Kebutuhan air di DAS Cisadane Hulu dengan asumsi kebutuhan air untuk hidup layak sebesar 1.600 m<sup>3</sup> air/kapita/tahun, maka kebutuhan air berdasarkan jumlah penduduk sebanyak 1.596.690 jiwa pada tahun 2013 adalah sebesar 2.554,70x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/tahun. Dengan demikian, terjadi defisit air di DAS Cisadane Hulu sebesar 1.718,92x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/tahun (Maulana 2016). Defisit air dalam DAS Cisadane Hulu akan semakin besar dengan peningkatan perkembangan jumlah penduduk dan laju pembangunan di Kota dan Kabupaten Bogor. Hal ini akan berdampak pada eksploitasi sumber daya air yang berlebih karena air telah memiliki nilai ekonomi dalam semua persaingan penggunaannya sehingga trend permintaan akan air menjadi lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan suplainya (Seragelgin 1994). Bila terjadi eksploitasi maka kondisi tersebut akan menimbulkan konflik. Persaingan dalam penggunaan air telah memunculkan konflik terbuka antara penduduk dan pengelola industri air (Popi 2011). Peningkatan pertumbuhan kebutuhan air (domestik) untuk konsumsi masyarakat akan memberikan permasalahan lahan dalam sistem hidrologi. Tekanan yang diberikan dapat bersifat internal pada ketersediaan air di DAS Cisadane Hulu maupun eksternal atau di luar DAS Cisadane Hulu. Dengan demikian, perencanaan penggunaan lahan

yang optimal perlu disusun untuk dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan kebijakan pengelolaan DAS Cisadane Hulu agar ketersediaan air baku tetap terjaga. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji ketersediaan dan kebutuhan air, mengkaji neraca ketersediaan dan kebutuhan air, dan menyusun rekomendasi perencanaan pengelolaan lahan yang optimal di DAS Cisadane Hulu.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

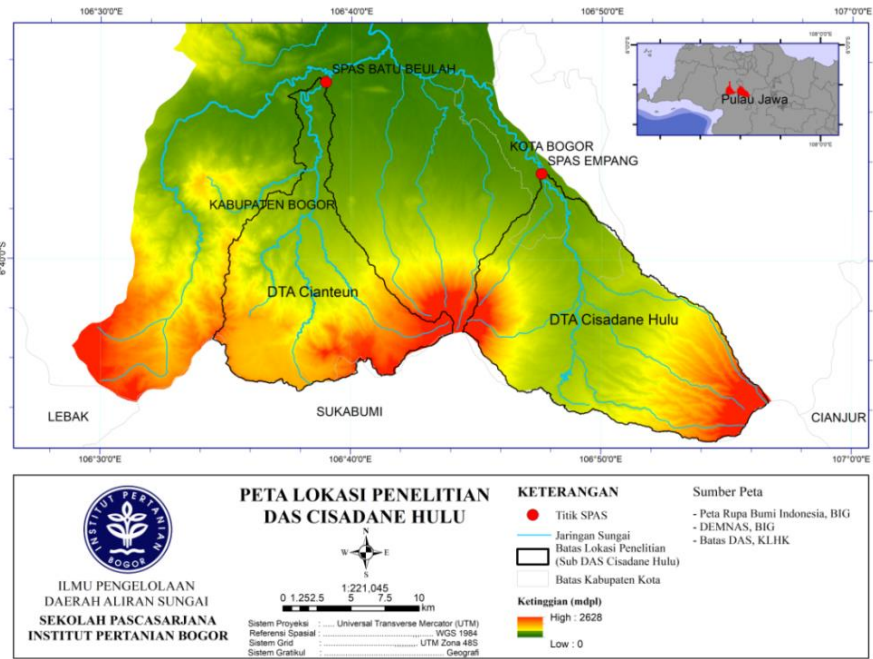
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2019–Mei 2020 di Hulu DAS Cisadane. Secara administrasi, wilayah DAS Cisadane Hulu masuk ke dalam wilayah Kota dan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Wilayah pada penelitian ini terbagi menjadi dua Daerah Tangkapan Air (DTA), yaitu DTA Ciateun dan DTA Cisadane Hulu, yang ditentukan dengan pertimbangan memiliki Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) yang berbeda. DTA Ciateun memiliki SPAS Batu Beulah dengan luas wilayah sebesar 17.301 ha dan DTA Cisadane Hulu memiliki SPAS Empang dengan luas 23.501 ha. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan berasal dari data primer dan data sekunder yang meliputi jenis data spasial, data numerik, data lapangan, dan data pendukung. Data spasial antara lain berupa peta administrasi DAS Cisadane, peta topografi yang diperoleh dari BPDASHL Citarum-Ciliwung, peta jenis tanah yang diperoleh dari BBSDL, citra SPOT 6 yang diperoleh dari LAPAN, peta RTRW Provinsi yang diperoleh dari Bappeda Provinsi Jawa Barat, peta RTKRHL DAS Cisadane yang diperoleh dari BPDASHL Citarum-Ciliwung, dan peta kawasan hutan yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Planologi, Departemen Kehutanan. Data numerik meliputi data hidrologi yang terdiri atas data curah hujan yang diperoleh dari BMKG Bogor, untuk data debit sungai Cisadane diperoleh dari BBWS Ciliwung-Cisadane dan UPT PSDA Wilayah Ciliwung-Cisadane serta data BPS kecamatan dalam angka tahun 2018 dari BPS Kota Bogor dan BPS Kabupaten Bogor. Data-data lapangan meliputi data hasil analisis tanah dari pengambilan sampel di lapangan. Data pendukung berupa literatur dari hasil penelitian terdahulu. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah seperangkat *computer* dan *Microsoft office 2010*, dan *global position system* (GPS), untuk analisis data digunakan perangkat lunak (*software*) ArcGIS 10.3, ring sampel tanah, printer, dan alat tulis kantor.

### Kebutuhan Air (*Water Demand*)

Perhitungan kebutuhan air dikelompokkan menjadi, kebutuhan air domestik, kebutuhan air industri, kebutuhan air irigasi padi sawah, kebutuhan air



Gambar 1 Peta lokasi penelitian Daerah Aliran Sungai Cisadane.

perikanan, dan kebutuhan air peternakan. Metode perhitungan untuk memperoleh kebutuhan air menggunakan SNI 19-6728.1-2002.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air domestik adalah sebagai berikut:

$$Q_{DM} = 365 \text{ hari} \times \left\{ \frac{q(u)}{1000} \times P(u) + \frac{q(r)}{1000} \times P(r) \right\}$$

Keterangan:

- $Q_{DM}$  = Kebutuhan air domestik ( $m^3$ /tahun)
- $q(u)$  = Konsumsi air daerah perkotaan (L/kapita/hari)
- $q(r)$  = Konsumsi air daerah perdesaan (liter/kapita/hari)
- $P(u)$  = Jumlah penduduk kota (jiwa)
- $P(r)$  = Jumlah penduduk desa (jiwa)

Perhitungan kebutuhan air industri dihitung berdasarkan jumlah hari kerja dan jumlah tenaga kerja dengan menggunakan tiga jenis kelas industri (Purwanto 1995). Persamaan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air industri adalah sebagai berikut:

$$Q_{ID} = Hk ( Tkx Qi)$$

Keterangan:

- $Q_{ID}$  = Kebutuhan air industri ( $m^3$ /tahun)
- $Hk$  = Jumlah hari kerja (tahun)
- $Tk$  = Jumlah tenaga kerja (jiwa)
- $Qi$  = Kebutuhan air skala industri ( $m^3$ /hari).

Besarnya kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (SNI 6728.1 2015):

$$Q_{IR} = L \times I_t \times \alpha$$

Keterangan:

- $Q_{IR}$  = Kebutuhan air untuk mengairi sawah ( $m^3$ /tahun)
- $L$  = Luas sawah (ha)
- $I_t$  = Intensitas musim tanam dalam persen (%) musim/tahun
- $\alpha$  = Standar penggunaan air irigasi (1 L/detik/ha) /0,001 m/de/ha x 3600 x 24 x 120 hari/musim

Kebutuhan air untuk perikanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{fp} = q(fp)/1000 \times A(fp) \times 10000$$

Keterangan:

- $Q_{fp}$  = Kebutuhan air untuk perikanan ( $m^3$ /tahun)
- $q(fp)$  = Kebutuhan air untuk pembilasan (L/hari/ha)
- $A(fp)$  = Luas kolam tambak (ha).

Standar yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air peternakan adalah SNI 19-6728.1 (2002) yang didasarkan pada hasil penelitian tentang sumber daya air nasional tahun 1992 dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_L = 365 \text{ hari} \times Q(c/b) \times Q(s/g) \times Q(po) \times P(c/b) \times P(s/g) \times P(po)$$

Keterangan:

- $Q_L$  = Kebutuhan air untuk ternak ( $m^3$ /tahun)
- $Q(c/b)$  = Kebutuhan air untuk sapi/kerbau/kuda (L/ekor/hari)
- $Q(s/g)$  = Kebutuhan air untuk domba/kambing (L/ekor/hari)
- $Q(po)$  = Kebutuhan air untuk unggas (L/ekor/hari)
- $P(c/b)$  = Jumlah sapi/kerbau/kuda (ekor)
- $P(s/g)$  = Jumlah domba/kambing (ekor)
- $P(po)$  = Jumlah unggas (ekor).

Kebutuhan air total di suatu DAS dapat diperoleh dengan menjumlahkan kebutuhan air dari 5 (lima) sektor peruntukan tersebut dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{Total} = Q_{DM} + Q_{ID} + Q_{IG} + Q_{FP} + Q_L$$

Keterangan:

- $Q_{Total}$  = Kebutuhan air total (m<sup>3</sup>/tahun)
- $Q_{DM}$  = Kebutuhan air domestik (m<sup>3</sup>/tahun)
- $Q_{ID}$  = Kebutuhan air industri (m<sup>3</sup>/tahun)
- $Q_{IG}$  = Kebutuhan air sawah (m<sup>3</sup>/tahun)
- $Q_{FP}$  = Kebutuhan air perikanan (m<sup>3</sup>/tahun)
- $Q_L$  = Kebutuhan air peternakan (m<sup>3</sup>/tahun).

**Ketersediaan Air (Water Supply)**

Ketersediaan air pada penelitian ini dihitung berdasarkan debit andalan dengan menggunakan metode Mock. Model Mock merupakan metode penghitungan aliran sungai yang diperkenalkan oleh Dr.F.J.Mock pada tahun 1973. Tahapan perhitungan (Dirjen Pengairan 1985) adalah sebagai berikut:

Evapotranspirasi aktual (E<sub>a</sub>)

$$\Delta E = ET_0 \frac{m}{20} (18-n)$$

Keterangan:

- $\Delta E$  = Perubahan evapotranspirasi potensial dengan aktual (mm/bulan)
- $ET_0$  = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)
- $m$  = Proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (%)
- $n$  = Jumlah hari hujan

Nilai m merupakan proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi atau *exposed surface* (m), kapasitas kelembapan tanah, faktor infiltrasi dan resesi limpasan. *Exposed surface* (m) adalah proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi oleh tumbuhan hijau pada musim kering. Berdasarkan *exposed surface*, Mock membagi daerah permukaan bumi menjadi 3 bagian, yaitu hutan primer dan sekunder (0–10%), daerah erosi (10–40%), serta daerah ladang pertanian (30–50%). Parameter yang disarankan proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup vegetasi oleh Mock adalah 0–50%. Asumsi proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau pada musim kering mempunyai evapotranspirasi yang tidak berarti pada hari-hari permukaan kering (Fakhrurrazi 2012).

Penyimpanan kelembapan tanah (SMS)

$$SMS = ISM + Re - E$$

Keterangan:

- ISM = Kelembapan tanah awal (mm) merupakan *soil moisture capacity* (SMC) bulan sebelumnya
- Re = Curah hujan (mm)
- E = Evapotranspirasi (mm/bulan)

Kelebihan air (WS)

$$WS = ISM + Re - E - SMC$$

Keterangan:

- ISM = Kelembapan tanah awal (mm)
- Re = Curah hujan (mm)
- E = Evapotranspirasi (mm/bulan)
- SMC = Kapasitas kelembapan tanah.

Infiltrasi (inf)

$$Inf = WS \times IF$$

Keterangan:

- WS = Kelebihan air
- IF = Faktor infiltrasi

Penyimpanan air tanah pada akhir bulan (G.STORt)

$$G. STOR_t = G. STOR_{(t-1)} \times Rc + ((1 + Rc)/2) \times inf$$

Keterangan:

- G. STORt = Daya tampung tanah pada awal bulan (mm/bulan)
- G.STOR(t-1) = Penyimpanan air tanah pada akhir bulan (mm/bulan)
- Rc = Konstanta resesi limpasan
- Inf = Infiltrasi

Limpasan dasar (Qbase)

$$Q_{base} = inf - G. STOR_t + G. STOR_{(t-1)}$$

Keterangan:

- Inf = Infiltrasi
- G. STORt = Daya tampung tanah pada awal bulan (mm/bulan)
- G.STOR(t-1) = Penyimpanan air tanah pada akhir bulan (mm/bulan)

Limpasan permukaan (Qdirect)

$$Q_{direct} = WS \times (1 - IF)$$

Keterangan:

- WS = Kelebihan air
- IF = Faktor infiltrasi

Limpasan hujan sesaat (Qstrom)

$$Q_{strom} = Re \times PF$$

Keterangan:

- PF = Faktor persentase
- Re = Curah hujan (mm)

**Total limpasan (Qtotal)**

*Total run off* (TRO) yang merupakan komponen-komponen pembentuk debit sungai (*stream flow*) adalah jumlah antara *base flow*, *direct run off*, dan *storm run off*, atau dengan persamaan sebagai berikut:  $Q_{Total} = Q_{base} + Q_{direct} + Q_{strom}$

**Debit sungai (Qs)**

*Total run off* ini dinyatakan dalam mm/bulan. Dengan demikian, jika TRO dikalikan dengan

*catchment area* (luas daerah tangkapan air) dalam km<sup>2</sup> dengan suatu angka konversi tertentu didapatkan besaran debit dalam m<sup>3</sup>/detik, atau dengan persamaan di bawah ini:

$$QS = Q_{total} \times A$$

Keterangan:

A = Luas DAS (km<sup>2</sup>)

### Neraca Air

Neraca air suatu DAS merupakan keseimbangan antara jumlah air yang masuk (*inflow*) dan keluar (*outflow*) di suatu wilayah DAS untuk suatu periode tertentu dari proses sirkulasi air. Apabila neraca air positif maka tidak terjadi kekurangan air (*surplus*), dan apabila neraca air negatif maka mengindikasikan adanya kekurangan air (defisit) pada DAS tersebut. Untuk mengetahui neraca air DAS Cisadane Hulu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan:

$$Q_{Ketersediaan} - Q_{Kebutuhan} = \Delta S$$

### Skenario Perencanaan Penggunaan Lahan

Perencanaan penggunaan lahan untuk konservasi sumber daya air di Hulu DAS Cisadane dilakukan melalui model hidrologi dengan cara memprediksi total limpasan menggunakan metode Mock. Skenario perencanaan penggunaan lahan dilakukan untuk mendapatkan rekomendasi perencanaan pengelolaan lahan berbasis sumber daya air yang dapat menghindari terjadinya degradasi lahan, meningkatkan laju infiltrasi, mengurangi total limpasan, melindungi infrastruktur di bagian hilir, dan sebagai upaya pelestarian sumber daya air sehingga dapat memberikan sumbangan besar pada ketersediaan air guna memenuhi kebutuhan air di Hulu Cisadane. Pemilihan skenario terbaik pada penelitian ini berdasarkan nilai defisit neraca air pada bulan kemarau terendah. Adapun skenario dalam penelitian ini adalah: Skenario 1 menggambarkan kondisi biofisik DAS Cisadane Hulu pada saat ini (*existing*) dengan luas penggunaan lahan pada tahun 2018. Skenario 2 Mengimplementasikan penggunaan lahan sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW). Skenario 3 mengimplementasikan berdasarkan RTkRHL (Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan). Skenario 4 mengimplementasikan berdasarkan penggunaan Lahan sesuai dengan Peta Kawasan Hutan Negara. Skenario 5 merupakan penerapan penggunaan lahan dengan menggabungkan skenario RTRW, RTkRHL, dan Kawasan Hutan. Skenario-6 merupakan penerapan penggunaan lahan dengan

menggabungkan skenario RTRW, RTkRHL, Kawasan Hutan, dan Agroforestry.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kebutuhan Air (*Water Demand*)

Kebutuhan air total dari penelitian ini diperoleh dengan pendekatan persentase wilayah administrasi yang masuk ke dalam wilayah penelitian dikalikan dengan jumlah keseluruhan kebutuhan air dari setiap sektor (kebutuhan air rumah tangga, kebutuhan air industri, mengairi lahan sawah irigasi, mengisi kolam budi daya ikan air tawar, dan untuk kebutuhan air peternakan). Kebutuhan air total diperoleh dari kebutuhan air untuk semua keperluan yang masuk ke dalam wilayah DTA Cienteun dan Cisadane Hulu. Karakterisasi kebutuhan air untuk masing-masing sektor dilakukan berdasarkan data BPS dan dinas terkait pada tahun 2018.

Berdasarkan analisis kebutuhan, total kebutuhan air di DTA Cienteun adalah sebanyak 108.952.291 m<sup>3</sup>/tahun. Kebutuhan air terbesar digunakan untuk keperluan industri sebesar 52.524.288 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan kebutuhan air terendah untuk sektor perikanan sebanyak 415.239 m<sup>3</sup>/tahun. Sementara itu, permintaan kebutuhan air terbanyak pada tahun 2018 di DTA Cisadane Hulu adalah sektor industri, yaitu sebanyak 211.081.728 m<sup>3</sup>/tahun. Kebutuhan air industri pada penelitian ini merupakan jenis usaha industri yang terdapat dalam wilayah penelitian yang termasuk ke dalam klasifikasi jenis usaha industri skala menengah dengan kategori usaha industri terbanyak adalah industri makanan dan minuman. Pemakaian air terendah ditemukan pada sektor perikanan, yaitu sebesar 337.530 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan kebutuhan air secara total di DTA Cisadane Hulu mencapai 308.733.311 m<sup>3</sup>/tahun. Perhitungan kebutuhan air (*water demand*) total di DTA Cienteun dan DTA Cisadane Hulu pada tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 1.

### Ketersediaan Air (*Water Supply*)

Ketersediaan air di Hulu DAS Cisadane dihasilkan dari metode *Mock* dengan parameter-parameter yang disarankan oleh Mock, yaitu proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi atau *exposed surface* (m), kapasitas kelembapan tanah, faktor infiltrasi, dan resesi limpasan (Fakhrurrazi 2012). Faktor-faktor yang memengaruhi penentuan debit sungai dengan metode Mock adalah: berdasarkan hasil analisis citra SPOT diketahui bahwa

Tabel 1 Perbandingan hasil skenario dari aspek hidrologi Daerah Tangkapan Air (DTA) Cisadane Hulu Tahun 2018

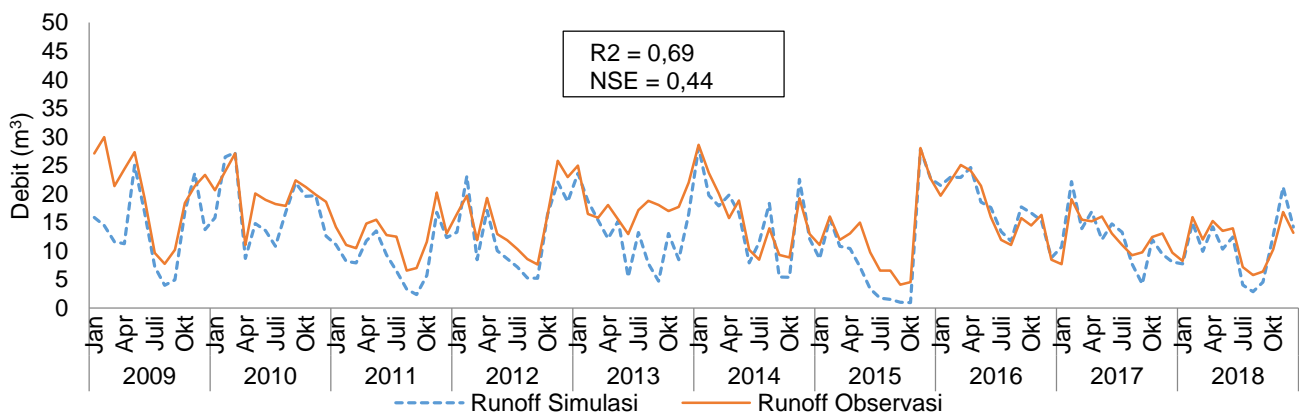
Sektor kebutuhan air	DTA Cienteun (m <sup>3</sup> /tahun)	DTA Cisadane Hulu (m <sup>3</sup> /tahun)
Rumah tangga (Domestik)	13.109.862	44.335.927
Irigasi	41.044.919	52.080.558
Perikanan	415.239	337.530
Peternakan	1.857.983	897.569
Industri	52.524.288	211.081.728
Total kebutuhan air	108.952.291	308.733.311

proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (m) pada saat ini (*existing*) adalah 25,71% pada DTA Ciateun dan 30,35% pada DTA Cisadane Hulu. Parameter lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapasitas kelembapan tanah sebesar 194,17 mm dan tampungan tanah permulaan sebesar 138,37 yang didasarkan pada faktor kelengasan tanah pada DTA Ciateun, sedangkan di DTA Cisadane Hulu, kapasitas kelembapan tanah adalah sebesar 149,18 mm dan tampungan tanah permulaan sebesar 141,96. Lengas tanah diperoleh dari hasil pengambilan sampel tanah yang dilakukan uji laboratorium berdasarkan metode *hydrometer*, selanjutnya dalam penentuan tekstur tanah dengan metode diagram segitiga tekstur tanah. Hasil uji laboratorium ditemukan bahwa kelas tanah di lokasi penelitian adalah kelas tanah lempung berpasir sampai kelas tanah liat, dengan kandungan liat antara 18,3–85,2%, kandungan pasir antara 6,2–58,2%, serta kandungan debu antara 7,1–55%. Adapun koefisien infiltrasi adalah 0,4 dan konstanta resesi limpasan adalah 0,6.

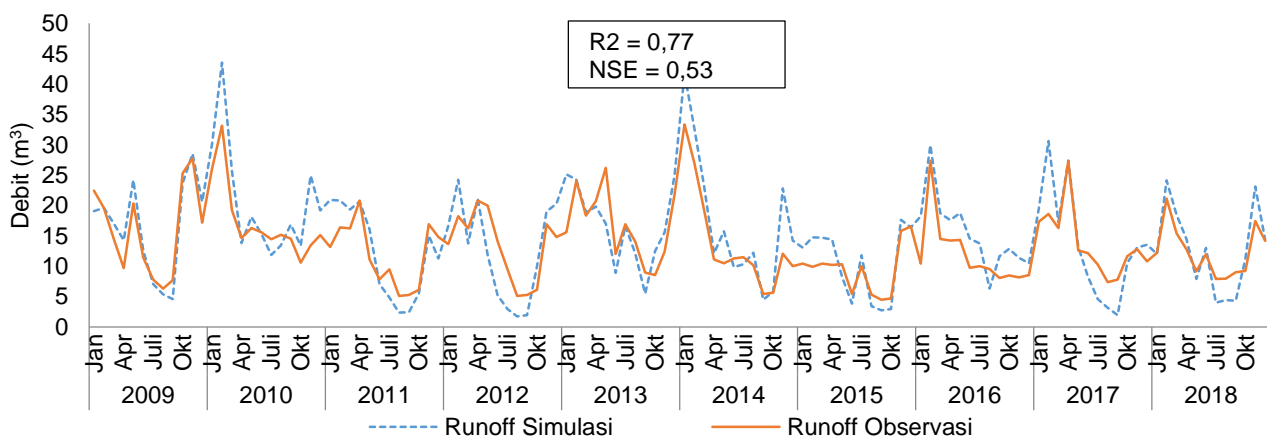
Validasi data adalah proses evaluasi model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi (Indarto 2010). Adapun hasil proses validasi dengan membandingkan data debit observasi

dengan debit simulasi model selama periode 10 tahun (Januari 2009–Desember 2018) dihasilkan nilai NSE sebesar 0,44 (kategori memenuhi) dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,69 pada DTA Ciateun. Nilai  $NSE \geq 0,36$  dan  $R^2 \geq 0,6$  merupakan nilai yang dapat diterima (Motovilov *et al.* 1999). Berdasarkan nilai tersebut, maka model Mock sudah cukup akurat untuk digunakan. Hidrograf debit simulasi dan observasi hasil validasi bulanan disajikan pada Gambar 2. Sementara itu, hasil validasi pada DTA Cisadane Hulu menunjukkan nilai NSE sebesar 0,53 dengan nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,77 sehingga dengan hasil tersebut model dikategorikan diterima dan dapat digunakan dalam penyusunan skenario selanjutnya (Gambar 3).

Dalam menganalisis ketersediaan air (*Water supply*) digunakan data debit sungai. Ketersediaan air bulanan Sungai Cisadane dihitung dengan transformasi data hujan dan berdasarkan estimasi karakteristik daerah aliran sungai dengan menggunakan data hujan selama 10 tahun (sesuai data yang tersedia). Setelah didapat data ketersediaan air bulanan pada tahun tertentu dengan hasil validasi terpenuhi maka dilanjutkan dengan penentuan debit andalan dengan menggunakan metode bulan dasar perencanaan dan probabilitas masing-masing data



Gambar 2 Hidrograf debit simulasi dan observasi validasi Daerah Tangkapan Air (DTA) Ciateun (NSE: 0,44).



Gambar 3 Hidrograf debit simulasi dan observasi validasi Daerah Tangkapan Air (DTA) Cisadane Hulu (NSE: 0,53).

dihitung dengan persamaan *Weibull* (Limantara 2010), di mana Q adalah debit yang terjadi dengan tingkat kepercayaan 80% (probabilitas).

Ketersediaan air probabilitas terpenuhi 80% pada DTA Ciantean dikonversikan ke satuan volume per tahun sebesar 248.584.986 m<sup>3</sup>/tahun. Debit andalan maksimum pada DTA Ciantean terjadi pada bulan Februari, yaitu sebesar 14,6 m<sup>3</sup>/detik (35.207.776 m<sup>3</sup>), sedangkan debit andalan minimum terjadi pada bulan September, yaitu sebesar 2,8 m<sup>3</sup>/detik (7.364.345 m<sup>3</sup>). Durasi kurva aliran ketersediaan air bulanan Sungai Ciantean berdasarkan karakteristik DAS dengan data hujan 10 tahun, debit andalan bulanan yang diperoleh dari data 10 tahun (2009–2018) di DTA Ciantean dengan kemungkinan terpenuhi 80% berkisar Q = 2,8 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan Q = 14,6 m<sup>3</sup>/detik.

Ketersediaan air bulanan sungai pada DTA Cisadane Hulu berdasarkan karakteristik DAS dengan data hujan 10 tahun, debit andalan bulanan yang diperoleh dari data 10 tahun (2009–2018) di DTA Cisadane Hulu dengan kemungkinan terpenuhi 80% berkisar Q = 2,0 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan Q = 19,8 m<sup>3</sup>/detik. Total ketersediaan air di DTA Cisadane Hulu adalah sebesar 301.882.316 m<sup>3</sup>/tahun.

**Neraca Air**

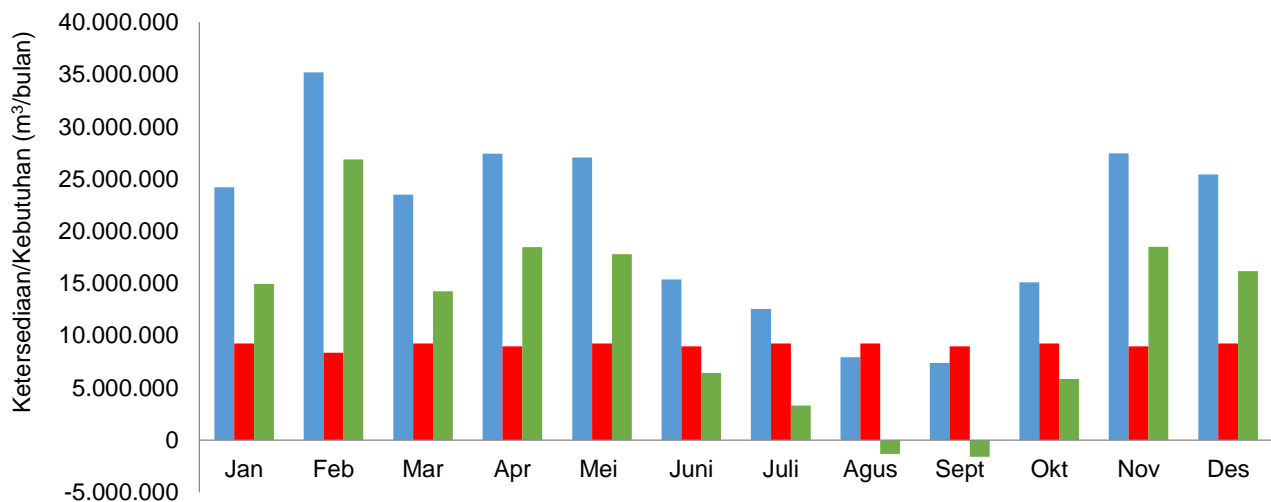
Analisis neraca air (*water balance*) ketersediaan dan kebutuhan air pada penelitian ini dilakukan guna mengetahui tingkat *surplus* dan defisit air. Neraca air pada penelitian ini dihitung berdasarkan pendekatan ketersediaan air permukaan (*water supply*) yang berasal dari debit andalan dengan periode 10 tahun (2009–2018) dan berdasarkan kebutuhan air (*water demand*) dari 5 (lima) sektor kegiatan. Hasil neraca air membuktikan bahwa DTA Ciantean memperoleh nilai *surplus* sebesar 139.632.695 m<sup>3</sup>/tahun yang diperoleh dari analisis kebutuhan air pada tahun 2018, yaitu sebesar 108.952.291 m<sup>3</sup>/tahun dikurangi dengan hasil analisis ketersediaan air yang dihitung berdasarkan

debit andalan selama periode 10 tahun (2009–2018) di DTA Ciantean, yaitu sebesar 248.584.986 m<sup>3</sup>/tahun. Gambar 4 menunjukkan bahwa selisih *supply-demand* untuk pemanfaatan air di DTA Ciantean pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Oktober, November, dan Desember masih terpenuhi (*surplus*). Ketersediaan air pada bulan Agustus dan September terjadi defisit air. Hal ini disebabkan karena pada bulan Agustus sampai bulan September terjadi penurunan curah hujan sehingga pasokan air yang ada tidak dapat memenuhi kebutuhan.

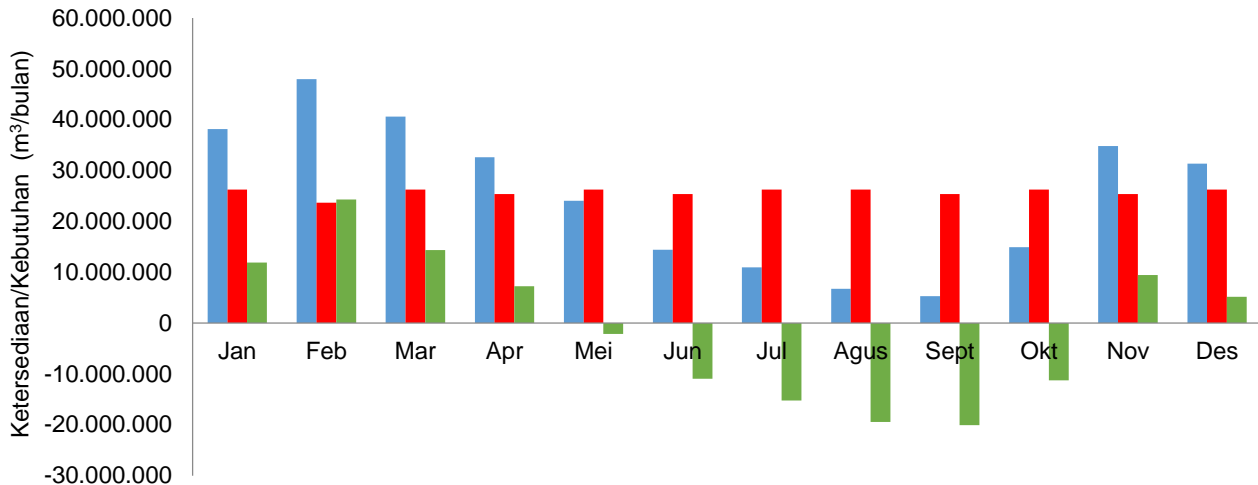
Ketersediaan air yang dihitung berdasarkan debit andalan dengan periode 10 tahun (2009–2018) di DTA Cisadane Hulu adalah sebesar 301.637.711 m<sup>3</sup>/tahun. Kebutuhan air DAS Cisadane Hulu pada tahun 2018 dari 5 sektor sebanyak 308.733.311 m<sup>3</sup>/tahun. Kebutuhan air di DTA Cisadane Hulu tidak dapat dipenuhi dari ketersediaan air yang ada sehingga terjadi defisit sebesar -6.850.995 m<sup>3</sup>/tahun. Berdasarkan perhitungan neraca air bulanan, distribusi air tidak merata sepanjang tahun. Ketersediaan air terendah di DTA Cisadane Hulu terjadi pada bulan September, yaitu sebesar 5.265.859 m<sup>3</sup>, sehingga terjadi defisit air sebesar -20.109.482 m<sup>3</sup>. Defisit air pada bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober masing-masing sebanyak -2.172.477, -10.956.545, -15.244.115, -19.463.066, -20.109.482 dan -11.287.401 m<sup>3</sup>/bulan. Jumlah defisit pasokan air pada bulan Juni–Oktober mencapai sebesar -79.233.085 m<sup>3</sup>. Defisit ini diharapkan dapat terpenuhi dari hasil skenario yang disusun. Grafik selisih *supply-demand* disajikan pada Gambar 5.

**Skenario Perencanaan Penggunaan Lahan**

Perencanaan penggunaan lahan untuk konservasi sumber daya air di DTA Ciantean dan DTA Cisadane Hulu dilakukan melalui pemodelan hidrologi dengan cara memprediksi total limpasan menggunakan metode Mock. Penyusunan rekomendasi pengelolaan



Gambar 4 Grafik neraca air rerata (*supply-demand*) di Daerah Tangkapan Air (DTA) Ciantean pada tahun 2009–2018.



Gambar 5 Grafik neraca air rerata (*supply-demand*) di Daerah Tangkapan Air (DTA) Cisadane Hulu pada tahun 2009–2018.

didasarkan pada hasil skenario perencanaan penggunaan lahan. Aspek utama dalam pemilihan skenario adalah berdasarkan nilai *water balance* dengan menghasilkan defisit yang rendah dan mudah diterapkan serta *aplicable* di daerah penelitian maka akan menjadi skenario terbaik. Informasi ini sangat penting dalam perencanaan pengelolaan DAS yang lebih baik, agar cadangan air DAS mampu ditingkatkan sehingga dapat ditentukan kegiatan-kegiatan yang dapat menyeimbangi antara ketersediaan air dan kebutuhan air, bahkan diharapkan mampu meningkatkan cadangan air di DAS (Nugroho *et al.* 2009).

Penggunaan lahan berbagai skenario yang diperoleh dari *overlay* (tumpang tindih) antara peta penggunaan lahan, peta fungsi kawasan hutan, dan peta ijin Hkm. Setelah dilakukan *overlay* pada peta-peta tersebut, terjadi perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan pada skenario akan memengaruhi nilai parameter Mock, yaitu *exposed surface*, *evapotranspirasi aktual*, koefisien infiltrasi, dan SMC tertimbang, seperti pada Tabel 1. Hasil simulasi pada setiap skenario penggunaan lahan memperlihatkan adanya perubahan parameter yang berhubungan dengan karakteristik hidologi di DTA Ciantean maupun DTA Cisadane Hulu. Skenario 1 dengan penggunaan lahan eksisting memiliki faktor *m* berkisar 26,04–30,36%, yang menggambarkan bahwa proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi pada skenario 1 relatif besar. Sementara itu, pada skenario 6 dengan penerapan penggunaan lahan RTRW, RTKRHL, Kawasan Hutan dan Agroforestry pada lahan pertanian dapat menurunkan proporsi permukaan lahan yang tidak tertutupi oleh vegetasi menjadi relatif kecil dengan nilai *m* berkisar 8,94% hingga 13,95%. Perencanaan penggunaan lahan yang baik pada skenario 6 memberikan dampak pada parameter kapasitas kelembapan tanah (SMC) yang mencapai 309 mm di DTA Ciantean menunjukkan bahwa tanah memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi. Tanah yang memiliki kemampuan menyerap air

tinggi memberikan nilai faktor infiltrasi (IF) pada skenario 6 sebesar 0,55 di DTA Ciantean dan 0,57 di DTA Cisadane Hulu. Perbandingan perubahan parameter Mock yang dipengaruhi oleh penggunaan lahan setiap skenario di DTA Ciantean dan Cisadane Hulu dapat dilihat pada Tabel 2.

Simulasi perubahan penggunaan lahan dilakukan untuk mendapatkan model penggunaan lahan yang terbaik untuk kondisi DTA Ciantean dan Cisadane Hulu. Simulasi skenario 6 menunjukkan bahwa penggunaan lahan pertanian merupakan salah satu faktor yang berpengaruh nyata pada penurunan total limpasan. Penerapan penggunaan lahan yang optimal oleh berbagai *stakeholder* mampu menurunkan defisit yang signifikan pada bulan kemarau di DTA Cisadane Hulu serta meningkatkan ketersediaan air pada DTA Ciantean sehingga memperoleh nilai *surplus*. Model perencanaan penggunaan lahan untuk konservasi sumber daya air yang tepat dan sesuai dengan kondisi DTA Ciantean dan Cisadane Hulu adalah dengan penerapan metode *agroforestry* dan peran serta *stakeholder* yang optimal, seperti tergambar pada skenario 6.

Penyusunan skenario perencanaan penggunaan lahan yang terjadi akan menentukan besaran nilai parameter pada model Mock. Selanjutnya akan memengaruhi total limpasan (debit). Total limpasan dihasilkan dari masing-masing skenario 1, skenario 2, skenario 3, skenario 4, skenario 5, dan skenario 6 di DTA Ciantean berturut-turut sebesar 1.952,02; 1.935,83; 1.942,83; 1.941,85; 1925,26; dan 1917,02 mm/tahun. Skenario yang disusun menunjukkan bahwa semakin baik komposisi penggunaan lahan akan menurunkan total limpasan air dan meningkatkan limpasan dasar dan meningkatkan perubahan simpanan air tanah (*storage*). Simpanan air tanah ini diharapkan akan keluar pada bulan-bulan kering dan dapat memenuhi kebutuhan air pada musim kemarau.

Limpasan dasar yang dihasilkan di DTA Cisadane Hulu dari masing-masing skenario-1, skenario-2, skenario-3, skenario-4, skenario-5, dan skenario-6



berturut-turut sebesar 638,49; 727,16; 668,95; 686,22; 732,75; dan 749,69 mm/tahun. Perubahan proporsi setiap penggunaan lahan pada suatu DAS akan menentukan besarnya nilai *exposed surface* (m) yang akan memengaruhi penurunan limpasan dan peningkatan kapasitas infiltrasi. Total limpasan dihasilkan dari masing-masing skenario 1, skenario 2, skenario 3, skenario 4, skenario 5, dan skenario 6 di DTA Cisadane Hulu berturut-turut sebesar 1.677,81; 1.643,81; 1.674,03; 1.672,1; 1.631,85; dan 1.627,66 mm/tahun. Berdasarkan hasil simulasi dari 6 skenario, skenario 6 merupakan skenario dengan penggunaan lahan yang terbaik dari karakteristik hidrologi. Skenario yang disusun menunjukkan bahwa semakin baiknya komposisi pgunaan lahan akan menurunkan limpasan air dan meningkatkan limpasan dasar pada DTA Cisadane Hulu.

Ketersediaan air pada DTA Ciantean dengan simulasi 6 skenario menunjukkan hasil yang *surplus* dalam pemenuhan kebutuhan. Jumlah volume air tahunan yang dihasilkan skenario-1, skenario-2, skenario-3, skenario-4, skenario-5, dan skenario-6

berturut-turut adalah sebesar 337.711.627; 334.909.351; 336.121.547; 335.951.228; 333.080.596; dan 331.654.850 m<sup>3</sup>/tahun (Tabel 3). Surplus tahunan tidak berarti DTA Ciantean tidak mengalami kekeringan pada musim kemarau (Mei hingga September). Hasil dari simulasi skenario 1 hingga 6 yang terlihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa DTA Ciantean mengalami defisit hanya pada bulan Agustus. Defisit tertinggi dengan penerapan skenario 1 sebesar -1.550.322 m<sup>3</sup>/bulan. Pasokan air pada bulan kemarau (Mei hingga September) tertinggi diperoleh dengan penerapan skenario-6, yaitu sebesar 106.138.168 m<sup>3</sup> dengan hasil neraca air bulan kemarau sebesar 60.467.756 m<sup>3</sup>, sehingga penerapan skenario 6 (menggabungkan peta RTRW, RTkRHL, Kawasan Hutan, dan penambahan *Agroforestry*) menunjukkan nilai *surplus*.

Volume air tahunan pada DTA Cisadane Hulu yang dihasilkan skenario-1, skenario-2, skenario-3, skenario-4, skenario-5, dan skenario-6 berturut-turut adalah sebesar 394.309.521; 386.319.912; 393.421.431; 392.977.485; 383.508.079; dan

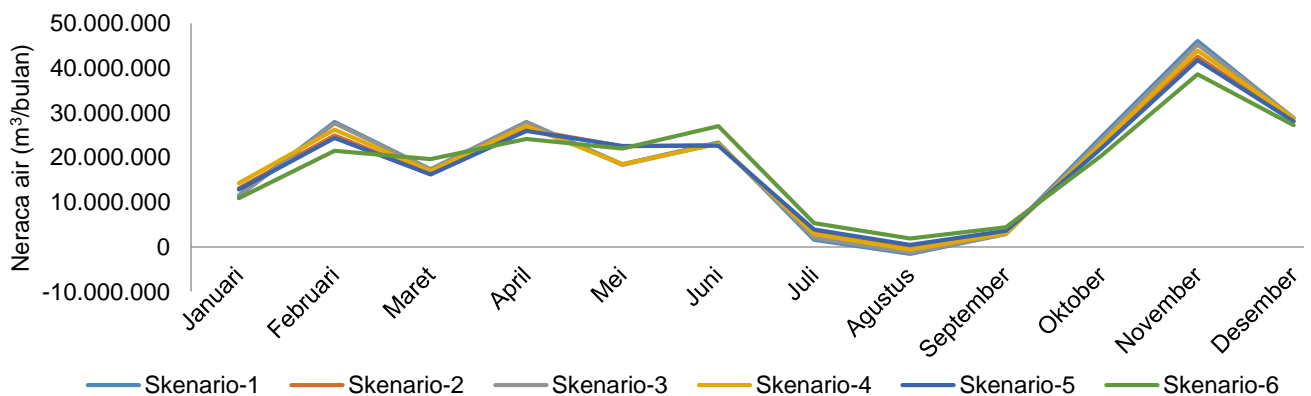
Tabel 2 Perbandingan perubahan parameter Mock yang dipengaruhi oleh penggunaan lahan setiap skenario di Daerah Tangkapan Air (DTA) Ciantean dan Cisadane Hulu

Parameter	Skenario di DTA Ciantean						Skenario DTA Cisadane Hulu					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Exposed Surface</i> (m)	26,04	15,58	25,81	19,72	14,94	8,94	30,36	20,00	30,08	28,00	17,96	13,95
Ea (mm/tahun)	1386	1399	1386	1394	1400	1408	1381	1394	1381	1384	1396	1401
IF	0,40	0,47	0,41	0,45	0,49	0,55	0,40	0,50	0,43	0,45	0,52	0,57
SMC	194	257	196	238	265	309	149	226	152	164	230	270

Keterangan: Ea = *Evapotranspirasi actual*, IF = *Infiltrasi*, dan SMC = *Soil Moisture Capacity*.

Tabel 3 Perbandingan hasil berbagai skenario dengan model Mock di Daerah Tangkapan Air (DTA) Ciantean dan Cisadane Hulu (m<sup>3</sup>)

Skenario	DTA Ciantean			DTA Cisadane Hulu		
	Volume air tahunan	Pasokan air bulan kemarau	Neraca air bulan kemarau	Volume air tahunan	Pasokan air bulan kemarau	Neraca air bulan kemarau
1	337.711.627	90.347.944	44.677.531	394.309.521	88.494.508	-40.919.729
2	334.909.351	97.905.316	52.234.904	386.319.912	102.354.127	-27.060.110
3	336.121.547	90.611.108	44.940.695	393.421.431	89.159.904	-40.254.333
4	335.951.228	92.421.420	46.751.007	392.977.485	94.584.644	-34.829.593
5	333.080.596	98.717.996	53.047.584	383.508.079	102.999.051	-26.415.186
6	331.654.850	106.138.168	60.467.756	382.524.126	111.197.598	-18.216.639



Gambar 6 Distribusi neraca air Daerah Tangkapan Air (DTA) Ciantean dari berbagai penerapan skenario.

382.524.126 m<sup>3</sup>/tahun. Pada bulan kemarau (Mei–September) DTA Cisadane Hulu mengalami defisit ketersediaan air. Nilai defisit tertinggi terdapat pada skenario 1, yaitu sebesar -40.919.729 m<sup>3</sup>, sedangkan defisit air terendah diperoleh dengan penerapan skenario 6, yaitu sebesar -18.216.639 m<sup>3</sup> yang dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil simulasi dari perencanaan penggunaan lahan dari berbagai skenario pada DTA Ciantean dan Cisadane Hulu menunjukkan bahwa model penggunaan lahan yang terbaik untuk konservasi sumber daya air adalah dengan menerapkan berbagai kebijakan yang ada secara optimal dan peningkatan lahan pertanian *agroforestry* dengan mekombinasikan tanaman kehutanan. Dengan penerapan model penggunaan lahan tersebut maka degradasi lahan dapat dihindari, laju infiltrasi meningkat, mengurangi total limpasan, melindungi infrastruktur pada bagian hilir dan sebagai upaya pelestarian sumber daya air, sehingga dapat memberikan sumbangan besar pada ketersediaan air guna memenuhi kebutuhan air. Hasil skenario 6 dengan penerapan penggunaan lahan yang optimal dari berbagai *stakeholder* dan peningkatan lahan pertanian *agroforestry* mampu menurunkan defisit yang signifikan pada bulan kemarau di DTA Cisadane Hulu sebesar -18.216.639 m<sup>3</sup> serta meningkatkan ketersediaan air pada DTA Ciantean sehingga memperoleh nilai *surplus* sebesar 60.467.756 m<sup>3</sup>. Perbandingan neraca air (*water balance*) hasil metode Mock dengan berbagai skenario di DTA Ciantean pada tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.

### KESIMPULAN

Kebutuhan air DTA Ciantean dan Cisadane Hulu pada tahun 2018 masing-masing adalah sebanyak 108.952.291 m<sup>3</sup>/tahun dan 308.733.311 m<sup>3</sup>/tahun. Potensi ketersediaan air berdasarkan debit andalan dengan periode 10 tahun (2009–2018) pada DTA Ciantean diperoleh sebesar 248.584.986 m<sup>3</sup>/tahun dan pada DTA Cisadane Hulu sebesar 301.882.316

m<sup>3</sup>/tahun. Neraca air DTA Ciantean *surplus* sebesar 139.632.695 m<sup>3</sup>/tahun, DAS Cisadane Hulu defisit sebesar -6.850.995 m<sup>3</sup>/tahun. Penerapan penggunaan lahan terbaik berbasis sumber daya air di DTA Ciantean dan Cisadane Hulu adalah dengan penerapan skenario 2, di mana skenario ini relatif *applicable* dan mampu memperoleh hasil neraca air *surplus* sebesar 225.957.060 m<sup>3</sup>/tahun dengan neraca air bulan kemarau *surplus* sebesar 52.234.904 m<sup>3</sup>. Model penggunaan lahan terbaik berbasis sumber daya air di DTA Cisadane Hulu adalah dengan penerapan skenario 6 yang merupakan penggunaan lahan yang optimal dari berbagai *stakeholder* mampu menurunkan nilai defisit yang signifikan pada bulan kemarau di DTA Cisadane Hulu sebesar -18.216.639 m<sup>3</sup> dengan neraca air total surplus sebesar 73.790.815 m<sup>3</sup>/tahun.

### DAFTAR PUSTAKA

Ahsoni MA. 2008. Perencanaan Penggunaan Lahan Berkelanjutan di Sub DAS Cisadane Hulu. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

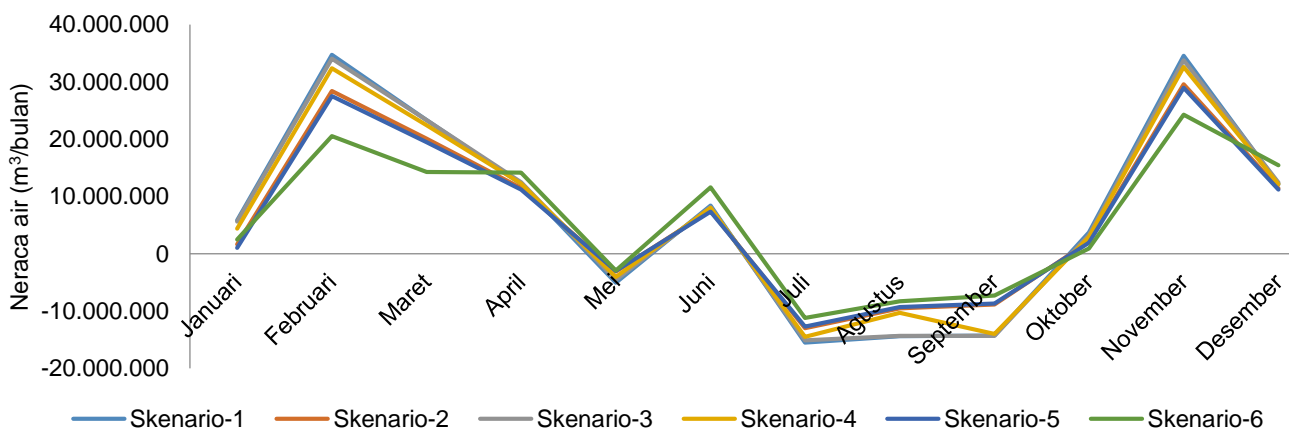
[BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. Kota Bogor Dalam Angka Tahun 2018. Bogor (ID): BPS Kota Bogor.

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. Kabupaten Bogor Dalam Angka Tahun 2018. Bogor (ID): BPS Kota Bogor.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 1985. Pedoman Perkiraan Tersedianya Air. Keputusan Direktur Jenderal Pengairan No. 71/KPTS/A/1985 Tanggal 5 Maret 1985. Jakarta (ID).

Fakhrurrazi F. 2012. Analisis Ketersediaan Air DAS Asam-asam Dengan Menggunakan Debit Hasil Perhitungan Metode Mock. *Jurnal Poros Teknik*. 4(2): 57–64.

Fitriati U, Novitasari N, Rusdiansya A, Rahman, A. 2015. Studi Imbangan Air Pada Daerah Irigasi



Gambar 7 Distribusi neraca air Daerah Tangkapan Air (DTA) Cisadane Hulu dari berbagai penerapan skenario.

- Pitap. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*. 4(1). <https://doi.org/10.35139/cantilever.v4i1.9>
- Indarto. 2010. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta : Bumi Aksara
- Kodoatie RJ, Sjarief R. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta (ID): Andi Offset.
- Mock FJ. 1973. *Land Capability Appraisal Indonesia.. Bogor(ID): Water Availability Appraisal Report Prepared for the Land Capability Appraisal Project.*
- Motovilov YG, Gottschalk L, Engeland K, Rodhe A. 1999. *Validation of a Distributed Hydrological Model Against Spatial Observations. Elsevier Agricultural and Forest Meteorology*. 98: 257–277. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/50540573e4b097cd4fcfb133>
- Muis AB. 2017. *Model Perencanaan Penggunaan Lahan Untuk Konservasi Sumber daya Air Di DAS Krueng Aceh. [Tesis] Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.*
- Noerhayati E.2015. *Model Neraca Air Daerah Aliran Sungai dengan MINITAB*. Malang (ID): Universitas Islam Malang
- Nugroho R, Adi, Setiawan O. 2009. *Analisi kekritisan hidrologi daerah aliran sungai untuk perencanaan pengelolaan DAS. Makalah Hasil Litbang Teknologi Pengelolaan DAS dalam Upaya Pengendalian Banjir dan Erosi sedimen*. Solo (ID): Balai Penelitian Kehutanan.
- Popi R. 2011. *Pengembangan Model Alokasi Air untuk Mendukung Optimal Water Sharing: Kasus DAS CicatihCimandiri, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat [disertasi]*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Serageldin I, Steer A. 1994. *Making development sustainable: from concepts to action. The World Bank*. <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/0-8213-3042-X>  
<https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/0>
- Sari IK., Limantara LM, Priyantoro D. 2012. *Analisa ketersediaan dan kebutuhan air pada DAS Sampean. Jurnal Teknik Pengairan*. 2(1): 29–41.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2002. *Penyusunan neraca sumber daya Bagian 1: Sumber daya air spasial*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta (ID): SNI 19-6728.1-2002.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 20015. *Penyusunan neraca sumber daya Bagian 1: Sumber daya air spasial*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta (ID): SNI 6728.1-2015.
- Tunas IG. *Optimasi Parameter Model Mock Untuk Menghitung Debit Andalan Sungai MIU. Jurnal SMARTek*. 5(1): 40–48.