

PERHITUNGAN WATER BALANCE SUBDAS BENGAWAN SOLO MENGUNAKAN METODE THORNTHWAITTE

Anggun Deristani, Ari Zelin Yuliana, Endah Mulyani, Syamsiah Elisa Yuliani;

Universitas Muhammadiyah Surakarta; Surakarta
aderistani@gmail.com

ABSTRAK

SubDaerah aliran sungai (SubDAS) Bengawan Solo yang terletak di Kabupaten Karanganyar mempunyai nilai strategis sebagai penyedia air untuk kawasan industri Kota Solo dan Kabupaten Karanganyar. Perhitungan neraca air Bengawan Solo diperlukan untuk mengetahui kemampuan dalam mencukupi kebutuhan air di wilayah tersebut. Metode Thornthwaite dipakai untuk menghitung neraca air berdasarkan atas pasokan (*input*) dan luaran air (*output*) dalam rentang waktu tertentu. Perhitungan dengan metode ini didasarkan atas kecukupan data klimatologi, jenis tanah dan tutupan lahan. Hasil perhitungan menunjukkan surplus air selama satu tahun dari Bulan Januari sampai dengan Bulan Desember sebesar 3.390,785 mm/tahun. Luas daerah SubDAS Bengawan Solo 2484,02 km², maka total air yang masih tersedia sebesar 2.296,15 m³/tahun.

Kata kunci: Bengawan Solo, neraca air, Metode Thornthwaite, klimatologi, jenis tanah, tutupan lahan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS bagian hulu seringkali menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS karena selain fungsinya yang sangat penting yaitu sebagai daerah resapan air (Waterrecharge areas). Segala bentuk kerusakan yang terjadi di daerah hulu pada akhirnya tidak hanya akan membawa dampak bagi daerah hulu saja namun akhirnya juga berdampak pada daerah tengah dan terutama daerah hilir (Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor 32 tahun 2009).

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa dengan luas DAS kurang lebih 16.100km², Sungai Bengawan Solo terdiri dari 4 Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu DAS Bengawan Solo, DAS Kali Grindulu dan Kali Lorog di Pacitan, DAS Kecil di Kawasan Pantai Utara, dan DAS Kali Lamong. DAS Bengawan Solo merupakan DAS terluas di wilayah Sungai Bengawan Solo yang meliputi Sub DAS Bengawan Solo Hulu, Sub DAS Kali Madiun, Sub DAS Bengawan Solo Hilir. Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terbesar di Pulau Jawa dengan panjang sungai sekitar 600 km, melewati dua wilayah provinsi yaitu Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Timur seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1 (BBWS Bengawan Solo, 2014). Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo dibagi menjadi tiga Sub DAS yaitu Sub DAS Bengawan Solo Hulu, Sub DAS Kali Madiun, dan Sub DAS Bengawan Solo Hilir.



Gambar 1. Peta SubDAS Bengawan Solo Hulu.

Penghitungan neraca air diperlukan untuk memberikan gambaran sebenarnya mengenai ketersediaan air pada DAS tersebut. Seperti diketahui bahwa neraca air merupakan komponen terpenting dalam sistem hidrologi. Secara sederhana neraca air merupakan sejumlah air hujan yang jatuh ke dalam tanah dikurangi penguapan dan aliran permukaan. Dengan kata lain neraca air merupakan hubungan antara aliran air ke dalam tanah yang berupa masukan (*input*) dengan luaran air (*output*) dalam rentang waktu tertentu. Luaran air (*output*) bisa dalam bentuk evapotranspirasi aktual dan aliran permukaan. Di sini faktor yang paling penting untuk menghitung neraca air adalah ketersediaan data air hujan (*precipitation*) selain suhu udara, tutupan lahan dan jenis dan kondisi tanah (*soil*) di daerah penelitian. Oleh karena itu, membicarakan neraca air tidak terlepas dari komponen curah hujan, penyinaran matahari, kelembaban, tutupan lahan, kondisi soil dan batuananya. Dari perhitungan neraca air di DAS Cidanau akan bisa diketahui penggunaan air maksimum yang masih diperbolehkan.

Metode yang digunakan adalah Metode Thornthwaite yang didasarkan *input* dan *output* aliran air di wilayah tersebut. Metode lain yang biasa dipakai antara lain Model FJ Mock, model NRECA dan Model Tangki (Setyono, 2011; Gustian *et al.*, 2014). Dalam perhitungan neraca air penelitian ini dipilih Metode Thornthwaite karena kesederhanaan data yang diperlukan dan cara perhitungan.

Bertolak pada hal tersebut, maka perlu diketahui bagaimana pola iklim dan curah hujan di daerah penelitian serta kondisi tanah dan penggunaan lahan di daerah penelitian. Karena perubahan curah hujan dapat memberi dampak yang signifikan terhadap kondisi lahan dan interaksi antara air tanah dan air permukaan (Jolly *et al.*, 2008). Hal lain yang perlu diungkap adalah seberapa besar air hujan yang menjadi air larian (*runoff*) serta bagaimana kemampuan menahan air hujan untuk bisa masuk sebagai cadangan air. Karena dengan terungkapnya kondisi iklim dan curah hujan serta penggunaan lahan akan dapat dihitung neraca air di daerah penelitian.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana hubungan antara hujan (*rainfall*) dengan neraca air dan water balance sebagai dasar untuk mengetahui ketersediaan air di SubDAS Bengawan Solo?
2. Seberapa besar pengaruh neraca air dan water balance dalam keadaan surplus atau defisit air pada SubDAS Bengawan Solo?

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hubungan antara hujan (*rainfall*) dengan neraca air dan water balance pada SubDAS Bengawan Solo.
2. Mengetahui potensi sumber daya air dan tingkat kekritisannya air di SubDAS Bengawan Solo.

METODE

Metode yang digunakan untuk mengestimasi infiltrasi di Sub DAS Bengawan Solo guna mengkombinasikan antara neraca air dan regresi hubungan antara hujan dan aliran bulanan. Konsep neraca air adalah keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke sistem, yang tersedia di sistem, dan yang keluar dari sistem (sub sistem) tertentu. Perbedaan antara jumlah semua kandungan air (dalam berbagai sub sistem) dalam satu unit waktu yang ditinjau, yaitu antara waktu terjadinya masukan dan waktu terjadinya keluaran. Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan air cadangan (*change in storage*). Neraca air DAS merupakan hubungan antara masukan air total dan keluaran air total yang terjadi pada suatu DAS.

Neraca air tersebut didalamnya terkandung komponen-komponen seperti debit aliran sungai, curah hujan, evapotranspirasi, perkolasi, kelembaban tanah, dan periode waktu. Data hujan harian diperoleh dari stasiun penakar curah hujan yang terdapat di stasiun klimatologi Klaten, Tawangmangu, Pabelan dan Nepen. Data hujan tersebut kemudian dianalisis menjadi data curah hujan rerata. Pendugaan ETP dilakukan dengan menggunakan metode Thornthwaite. Metode ini hanya menggunakan masukan data temperatur rata-rata. Untuk menghitung besarnya evapotranspirasi dengan metode Thornthwaite bisa menggunakan rumus empiris. Nilai yang didapatkan dari perhitungan di atas harus dikoreksi dengan nilai tertentu.

HASIL

1. Menghitung Index Panas :

Diketahui :

- $T = 29,5^{\circ}\text{C}$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

$$i = \left(\frac{29,5}{5}\right)^{1,514}$$

$$i = 14,69$$

2. Menghitung Evapotranspirasi Potensial (EP) :

Diketahui :

- $T_m = 29,5^{\circ}\text{C}$

Ditanya :

- $I = \dots?$

- $a = \dots?$

- $EP = \dots?$

Jawab :

- $I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1,514} \rightarrow \text{Lihat Tabel} = 14,69 \text{ (atau)}$

$$I = \left(\frac{29.5}{5}\right)^{1,514}$$

$$I = 14,69 \cdot 12 \text{ bulan}$$

$$I = 176,28$$

- $a = 0,000000675 I^3 - 0,000077 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$
 $a = 0,000000675 \cdot 176,28^3 - 0,0000771 \cdot 176,28^2 + 0,01792 \cdot 176,28 + 0,49239$
 $a = 4,95$
- EP = 1,62
 EP = 1,62
 EP = 1,62
 EP = 1,62
 EP = 1,62 (12,66)
 EP = 20,51

3. Menghitung Rata-rata Curah Hujan (\bar{P}) :

Bulan	P
Januari	339
Februari	306
Maret	447
April	206
Mei	254
Juni	75
Juli	47
Agustus	63
September	212
Oktober	291
November	407
Desember	140
(\bar{P})	232,25 mm/Tahun

4. Menghitung P-EP :

Bulan	P	EP	P-EP
Januari	339	20,51	318,49
Februari	306	20,51	285,49
Maret	447	20,51	426,49
April	206	20,51	185,49
Mei	254	20,51	233,49
Juni	75	20,51	54,49
Juli	47	20,51	26,49
Agustus	63	20,51	42,49
September	212	20,51	191,49

Oktober	291	20,51	270,49
November	407	20,51	386,49
Desember	140	20,51	119,49

5. Menghitung Accumulation Potensial Water Loss (APWL). Dengan menjumlahkan (P-EP) yang negatif :

Bulan	P-EP	APWL
Januari	318,49	0
Februari	285,49	0
Maret	426,49	0
April	185,49	0
Mei	233,49	0
Juni	54,49	0
Juli	26,49	0
Agustus	42,49	0
September	191,49	0
Oktober	270,49	0
November	386,49	0
Desember	119,49	0

6. Menghitung WHC (Water Holding Capacity):

Penggunaan Tanah		Tanah		Panjang	
Macam	% Luas	Tekstur	Air Tersedia (mm/m)	Zona Perakaran (mm)	WHC
Hutan	12,91	Debu Berpasir	150	2,00	38,73
Kebun Campuran	25,54	Debu Berpasir	200	2,00	102,16
Lahan Kosong	3,93	Debu Berpasir	150	0,62	3,65
Pemukiman	15,18	Debu Berpasir	150	2,00	45,54
Sawah	39,33	Lempung	200	0,62	48,77
Tegalan	2,94	Debu Berpasir	200	1,00	5,88
Tubuh Air	0,17	-	-	-	0
Jumlah	100				244,73

7. Menghitung Perubahan Kelembapan Cadangan Lengas Tanah ΔS :

Penggunaan Tanah		Tanah		Panjang	
Macam	% Luas	Tekstur	Air Tersedia (mm/m)	Zona Perakaran (mm)	St
Hutan	12,91	Debu Berpasir	150	2,00	3.873
Kebun Campuran	25,54	Debu Berpasir	200	2,00	10.216
Lahan Kosong	3,93	Debu Berpasir	150	0,62	365,49
Pemukiman	15,18	Debu Berpasir	150	2,00	4554

Sawah	39,33	Lempung	200	0,62	4876,92
Tegalan	2,94	Debu Berpasir	200	1,00	588
Tubuh Air	0,17	-	-	-	0
Jumlah	100				24.473,41

$$ST = \frac{\text{Cadangan Lengan Tanah setiap penggunaan lahan}}{\sum \% \text{ Luas zona perakaran per penggunaan lahan (tanpa pemukiman)}}$$

$$ST = \frac{24.473,42}{84,82}$$

$$ST = 288,53$$

Perhitung Nilai ST :

Bulan	APWL	St
Januari	0	100
Februari	0	100
Maret	0	100
April	0	100
Mei	0	100
Juni	0	100
Juli	0	100
Agustus	0	100
September	0	100
Oktober	0	100
November	0	100
Desember	0	100

8. Perubahan Lengan Tanah :

Bulan	St	
Januari	100	0
Februari	100	0
Maret	100	0
April	100	0
Mei	100	0
Juni	100	0
Juli	100	0
Agustus	100	0
September	100	0
Oktober	100	0
November	100	0
Desember	100	0

9. Perhitungan Evapotranspirasi Aktual (AE) :

Nilai Evapotranspirasi Aktual diperoleh dengan ketentuan :

- Jika $P > EP$ maka $AE = EP$
- Jika $P < EP$ maka $AE = P + [\text{Perubahan lengas tanah}]$

Perhitungan :

Bulan	P	EP	AE
Januari	339	20,51	20,51
Februari	306	20,51	20,51
Maret	447	20,51	20,51
April	206	20,51	20,51
Mei	254	20,51	20,51
Juni	75	20,51	20,51
Juli	47	20,51	20,51
Agustus	63	20,51	20,51
September	212	20,51	20,51
Oktober	291	20,51	20,51
November	407	20,51	20,51
Desember	140	20,51	20,51

10. Defisit (D):

Dihitung selisih antara $EP-AE$ untuk bulan $P < EP$.

Bulan	EP	AE	D
Januari	20,51	20,51	0
Februari	20,51	20,51	0
Maret	20,51	20,51	0
April	20,51	20,51	0
Mei	20,51	20,51	0
Juni	20,51	20,51	0
Juli	20,51	20,51	0
Agustus	20,51	20,51	0
September	20,51	20,51	0
Oktober	20,51	20,51	0
November	20,51	20,51	0
Desember	20,51	20,51	0

11. Surplus (S) untuk bulan $P > EP$ dan $St = WHC$, maka $S = (P-EP)$, untuk $St < WHC$, maka $S = (P-EP) - \Delta St$:

Bulan	P-EP	Perubahan ΔSt	S
Januari	318,49	0	318,49
Februari	285,49	0	285,49

Maret	426,49	0	426,49
April	185,49	0	185,49
Mei	233,49	0	233,49
Juni	54,49	0	54,49
Juli	26,49	0	26,49
Agustus	42,49	0	42,49
September	191,49	0	191,49
Oktober	270,49	0	270,49
November	386,49	0	386,49
Desember	119,49	0	119,49

12. Debit Run Off (Q) adalah 50 % dari surplus akan menjadi limpasan, sisanya akan masuk dalam tanah dan akan keluar 10 % lagi pada bulan berikutnya.



Grafik 1. Perbandingan Nilai Run Off Selama 1 Tahun

PEMBAHASAN

Perhitungan neraca air diperlukan curah hujan (*presipitasi*) dan evapotranspirasi. Sehubungan dengan tidak ada data pengukuran langsung, maka dalam penelitian ini diperoleh melalui perhitungan evapotranspirasi yang didasarkan pada pendekatan empiris melalui persamaan 6 di atas. Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan evapotranspirasi potensial mempertimbangkan suhu udara sebagai indeks panas dan koreksi letak lintang posisi daerah penelitian. Evapotranspirasi potensial merupakan pelepasan atau perpindahan sejumlah air dalam suatu waktu. Data yang menjadi dasar perhitungan meliputi: temperatur, indeks panas satu tahun, evapotranspirasi potensial yang diperoleh dari tabel. Faktor koreksi didasarkan dari letak lintang lokasi penelitian dan menghasilkan evapotranspirasi potensial terkoreksi. Perhitungan neraca air, selain komponen curah hujan (P), evapotranspirasi (Ep), aliran permukaan (*runoff* /RO), penambahan air juga kapasitas air (*storage moisture* /ST). Curah hujan yang merupakan jumlah dan intensitas hujan yang jatuh di wilayah tertentu, pada dasarnya untuk mencukupi kebutuhan evapotranspirasi. Sedangkan dari curah hujan sebagian akan disimpan untuk menjadi cadangan air yang apabila cadangan sudah

mencapai maksimal akan menjadi surplus air. Cadangan air dalam tanah dipengaruhi oleh tekstur tanah dan tutupan lahan (Thornthwaite and Mather, 1957).

Data dari suhu udara di wilayah SubDAS Bengawan Solo yang terletak dibagian hulu tengah dengan rata-rata suhu sekitar $29,5^{\circ}\text{C}$. Hasil dari perhitungan neraca air di SubDAS Bengawan Solo menggunakan metode Thornthwaite berhubungan antara curah hujan dan evapotranspirasi. Dalam kaitannya dengan simpanan air, pola umum evapotranspirasi akan berbanding terbalik sedang curah hujan berbanding lurus. Surplus air merupakan selisih antara curah hujan dengan evapotranspirasi (penguap-peluhan). Perhitungan estimasi potensial air bulanan dengan metode *Thornthwaite-Mather* selama 1 tahun. Dilihat dari hasil perhitungan surplus bahwa potensi air per satu tahun tertinggi terjadi pada Bulan Maret sebesar $426,49 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dan terendah terjadi pada Bulan Juli sebesar $26,49 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Hal ini jika dihubungkan dengan kejadian hujan yang terjadi di Sub DAS Bengawan Solo seperti disajikan pada perhitungan dapat dianalogikan bahwa semakin kecil curah hujan yang turun maka potensi airnya juga semakin kecil dan begitu sebaliknya. Perhitungan potensi air pertahun hasil estimasi dengan metode Thornwaite- Mather. Potensi air selama satu tahun di Sub DAS Bengawan Solo yang telah dihitung mulai Bulan Januari sampai dengan Bulan Desember. Hasil potensi ketersediaan air di Sub DAS Bengawan Solo diasumsikan bahwa surplus air akan menjadi aliran pada tahun-tahun berikutnya sebesar 50%. Hasil perhitungan estimasi potensi air tahunan hasil perhitungan dengan metode *Thornwaite-Mather* di Sub DAS Bengawan Solo.

Hasil dari perhitungan curah hujan rata-rata sebesar $232,25 \text{ mm}/\text{tahun}$ dan nilai dari indeks panas sebesar $14,69$ atau I Total sebesar $176,28$ yang mempengaruhi besar kecilnya evapotranspirasi yang terdapat di subDAS Bengawan Solo yang menghasilkan nilai E_p nya sebesar $20,51 \text{ mm}$. Selain itu, 50% dari surplus air tersebut akan masuk ke dalam tanah sebagai cadangan dan sisanya lagi yang 50% menjadi air larian (*runoff*). Perhitungan luas daerah penelitian $2.484,02 \text{ km}^2$ dengan menggunakan metode Thornthwaite, total surplus selama satu tahun sebesar $2.540,88 \text{ mm}/\text{tahun}$. Luas daerah aliran sungai (subDAS) Bengawan Solo sebesar $2.484,02 \text{ km}^2$ dengan total *runoff* dalam satu tahun sebesar $3.390,785 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Hasil dari grafik *runoff* yang terjadi selama 1 tahun dari Bulan Januari sampai Bulan Desember ini menunjukkan bahwa dari Bulan Januari sampai Bulan Maret, kemudian menurun dari Bulan April sampai Bulan Agustus maka air yang mengalir semakin menurun. Nilai dari defisit air yang terdapat di SubDAS Bengawan Solo ini sebesar 0 yang dapat dinyatakan bahwa daerah penelitian ini walaupun tidak terjadi hujan selama beberapa bulan tidak mengakibatkan kelangkaan air untuk daerah sekitarnya, walaupun ketersediaannya tidak begitu banyak tapi memungkinkan untuk tidak terjadi kekeringan.

KESIMPULAN

Data yang ada menunjukkan bahwa daerah penelitian tidak akan terjadi kekeringan, karena terjadi hujan pada setiap bulannya meski tidak setiap hari. Jumlah atau total air hujan yang jatuh di daerah penelitian dalam satu tahun terakhir rata-rata sebesar $232,25 \text{ mm}/\text{tahun}$. Dari jumlah tersebut ada sekitar $176,28 \text{ mm}$ hilang kembali diantaranya sebagai evapotranspirasi.

Hasil dari metode Thornthwaite, dalam satu tahun daerah penelitian akan surplus air selama setahun, yaitu Bulan Januari sampai Bulan Maret dan akan kembali surplus pada Bulan September hingga Bulan Desember. Total dalam satu tahun masih terjadi surplus air sebesar $2.540,88 \text{ mm} / \text{tahun}$. Total air atau *run off* yang masih tersedia sebesar $3.390,785 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Cadangan kelembapan langas tanah yang tersedia dikurangi pemenuhan air untuk penduduk dan pertanian sebesar $244,73 \text{ m}^3/\text{tahun}$, maka total air yang masih tersedia sebesar $2.296,15 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Kondisi masih akan bisa dipertahankan apabila luas tutupan lahan dengan tanaman yang mampu menahan air ditingkatkan. Nilai kapasitas air dan penyimpanan air masih mungkin ditingkatkan dengan menambah luas lahan

yang ditamani tanaman keras atau dihutankan kembali pada lahan terbuka. Kesederhanaan data yang diperlukan dan cara perhitungan, metode Thornthwaite bisa menjadi alternatif perhitungan neraca air di suatu daerah.

REFERENSI

- Arifani, D. 2008. *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Keseimbangan Tata Air Di Kawasan Bandung Utara, Final Project, ITB, Bandung* [<http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-devinaarif-33616&newlang=english&newtheme=grayDEVINA>]
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, 2014, Informasi Iklim.
- Kodoatie, J. R., dkk. 2002. *Pengelolaan Sumber Daya Air Dalam Otonomi Daerah*. Andi. Yogyakarta.
- Ridha, M. 2014. *Analisa Aliran air Tanah dengan Menggunakan Ground Water Modelling System Teknik*. Pengairan: Universitas Brawijaya, Malang [<http://pengairan.ub.ac.id/pendidikan-2/pendidikan/jurnal-mahasiswa/>]