

PREDIKSI AIR LIMPASAN MENGGUNAKAN MODEL HIDROLOGI AGREGASI (STUDI KASUS PADA SUB DAS GOSENG)¹

Chandra Setyawan STP², Prof. Dr. Ir Putu Sudira M.Sc.², Ir Sukresno M.Sc.²

INTISARI

Pengukuran prediksi air limpasan menggunakan metode hidrologi agregasi merupakan pengukuran limpasan yang didasarkan pada beberapa parameter yaitu simpanan maksimum, simpanan aktual, aliran permukaan dan konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$. Studi ini dilakukan di wilayah sub DAS goseng dimana pendekatan untuk mengetahui limpasan suatu DAS dilakukan model hidrologi agregasi. Identifikasi menggunakan model hidrologi agregasi memiliki dua struktur utama yaitu simpanan lengas aktual (*Production Reservoir* atau PR) serta perubahan simpanan lengas (*Transformation Reservoir* atau TR).

PR mewakili kapasitas intersepsi dari tanah dan tanaman, termasuk intersepsi kanopi dan kandungan lengas tanah sampai kapasitas lapang. Input dari PR terdiri dari pengukuran curah hujan dan outputnya berupa evapotranspirasi dan aliran permukaan jenuh (*Saturation Overflow*). Nilai aliran permukaan jenuh (*Saturation Overflow*) secara langsung ditambahkan kedalam lengas sebagai input untuk memperoleh TR, jadi aliran permukaan jenuh merupakan nilai dari TR. Nilai konstanta kandungan lengas $k(t)$ diperoleh dari data hujan pada saat terjadi hujan deras pada waktu tertentu. Hasil menunjukkan nilai limpasan yang dihitung menggunakan model hidrologi agregasi secara statistik tidak berbeda dengan nilai limpasan observasi. Faktor yang berpengaruh besar terhadap nilai limpasan adalah nilai konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$. Konstanta simpanan lengas tanah (k) merupakan bilangan yang menyatakan perbandingan nilai simpanan pada sebelumnya dengan simpanan pada waktu tertentu. Nilai output dari TR merupakan nilai *Overland Flow* yang dihitung menggunakan rumus (9).

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Surakarta Departemen Kehutanan Republik Indonesia

**RUNOFF PREDICTION USE MODEL OF HIDROLOGY
AGGREGATION
(Case Study in Goseng sub Watershed)**

Chandra Setyawan¹

ABSTRACT

Hydrology aggregation model based on maximum soil water storage, actual soil water storage, overland flow and soil water storage constant. This study was conducted at Goseng sub watershed, upper Solo watershed.

The model consists of two parameters such as actual water storage (Production Reservoir, PR) and change of soil water storage (Transformation Reservoir, TR). Input of PR consists of rainfall and the output consists of evapotranspiration and saturation overflow. The value of soil water constant $k(t)$ was calculated based on the single storm at time of rainfall.

Result indicated that predicted runoff statistically are not different from observed runoff based on T_{test} and regression analysis.

Keyword : *Maximum Soil Water Storage, Actual Soil Water Storage, Saturation Overflow, Soil Water Constant*

¹ Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

A. PENDAHULUAN

Limpasan permukaan merupakan air hujan yang tidak dapat ditahan oleh tanah, vegetasi atau cekungan dan akhirnya mengalir langsung ke sungai atau laut. Besarnya nilai aliran permukaan sangat menentukan besarnya tingkat kerusakan akibat erosi maupun banjir. Besarnya aliran permukaan dipengaruhi oleh curah hujan, vegetasi, adanya bangunan penyimpanan air dan faktor lainnya (Sukirno, 2001). Sifat dari aliran permukaan dinyatakan dalam jumlah, kecepatan, laju dan gejala aliran permukaan. Jumlah aliran permukaan menyatakan jumlah air yang mengalir di permukaan tanah untuk suatu masa hujan atau masa tertentu dinyatakan dalam tinggi kolom air (mm atau cm) atau dalam volume air (m^3). Kecepatan aliran permukaan merupakan waktu yang dilalui oleh suatu titik pada aliran, dalam menempuh jarak tertentu yang dinyatakan dalam meter per sekon (m/s). Laju aliran permukaan atau debit aliran merupakan banyaknya atau volume air yang mengalir melalui suatu titik per satuan waktu, dinyatakan dalam m^3 /sekon atau m^3 /jam. Gejala aliran permukaan merupakan turbulensi yang terjadi sewaktu air mengalir di permukaan tanah (Arsyad, 2006).

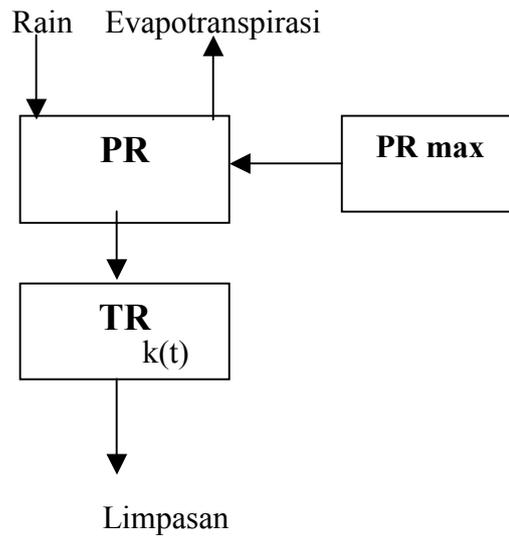
B. PENDEKATAN MODEL HIDROLOGI AGREGASI

Pendekatan untuk mengetahui karakteristik hidrologi yaitu aliran permukaan suatu DAS dapat dilakukan dengan mengambil subdivisi dari daerah pengamatan lalu mengkorelasikannya dalam bentuk persamaan hidrologi berupa model hidrologi agregasi yang telah diteliti berbagai studi. Respon aliran permukaan dapat diidentifikasi dan dihitung melalui pengamatan di lapangan dan perubahan seri data yang dimonitor pada outlet dari setiap sub DAS pada wilayah yang diamati. Skala penggunaan model hidrologi agregasi tergantung dari proses aliran permukaan utama yang membentuk sinyal hidrologi agregasi (Bos, 2006).

Penelitian ini dilaksanakan di sub DAS Goseng Kabupaten Karanganyar Jawa Tengah wilayah kerja Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Solo. Pemilihan lokasi ditentukan dengan mempelajari karakteristik dari sub-DAS. Prediksi limpasan menggunakan model hidrologi agregasi memerlukan beberapa pengumpulan data yaitu data kondisi umum lokasi penelitian, data curah hujan

bulanan, data debit aliran sungai (limpasan) bulanan masing-masing sub DAS dari, data rata-rata suhu bulanan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi (ETP).

1. Konsep Struktur Model



Gambar 1. Struktur Model

Keterangan:

PR = Actual Soil Water Storage

TR = Change of Soil Water Storage

k(t) = Soil Water Constant

a. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (PET):

PET dihitung menggunakan persamaan Thornthwaite

$$PET = 1,6 \left(\frac{10t}{J} \right)^a \text{ mm/hari} \dots\dots\dots(1)$$

b. Perhitungan PR max dan TR (Saturation Overflow)

PRmax= Maksimum Storage (S)

$$Prmax = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots(2)$$

c. Perhitungan TR

$$TR = \frac{(P - 0.2PR_{max})^2}{(P - 0.2PR_{max}) + PR_{max}} \dots\dots\dots(3)$$

d. Perhitungan PR

PR = Aktual Storage = Aktual retensi (F)

$$PR = P - 0,2 PR_{max} - TR \dots\dots\dots(4)$$

e. Perhitungan *Q runoff (Limpasan)*:

$$Q_{runoff} = TR(t)/k(t) \dots\dots\dots(5)$$

2. Uji Statistik

a. Statistik penguji t

$$t = \frac{D}{SD/\sqrt{n}} \dots\dots\dots(6)$$

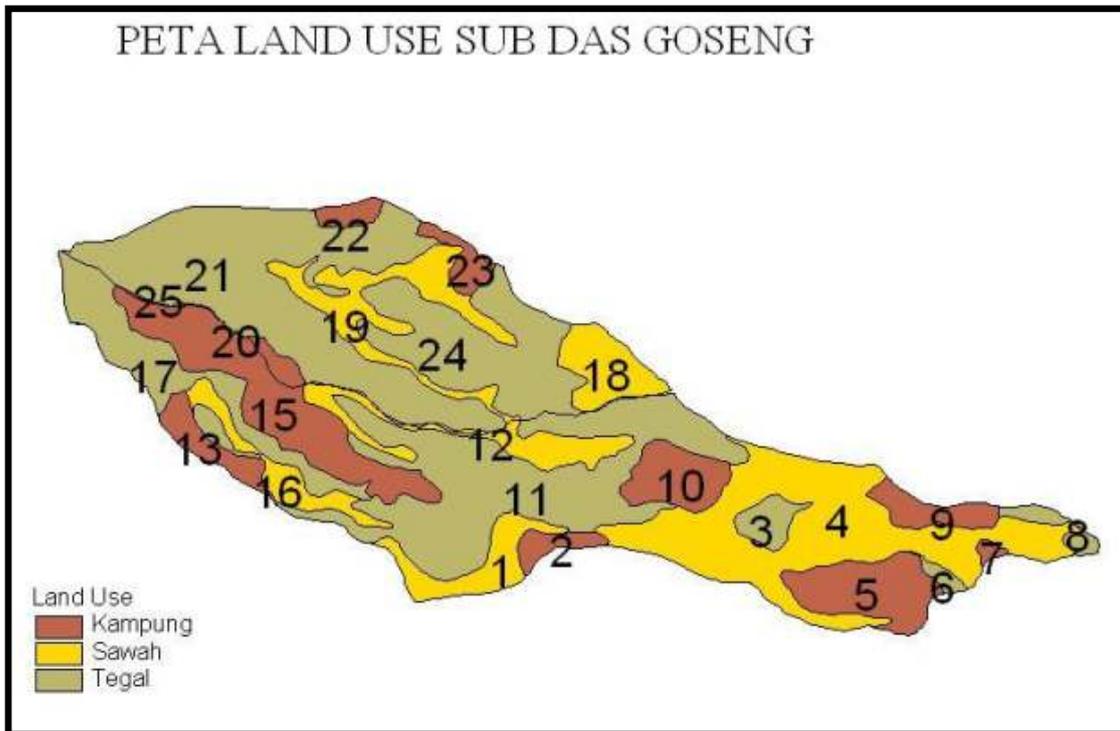
Dimana:

b. Statistik penguji r

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left[\sum_{i=1}^n X_i \right] \left[\sum_{i=1}^n Y_i \right]}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n X_i \right]^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n Y_i \right]^2}} \dots\dots\dots(7)$$

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan PR max, PR dan TR



PR max atau *Production Reservoir maximum* merupakan kapasitas simpanan maksimum (*maximum storage*) yaitu jumlah aliran permukaan atau curah hujan maksimum yang mampu tersimpan dalam tanah. PR max dihitung menggunakan Persamaan (2). Nilai PR max dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah tebalnya lapisan jenuh, lengas tanah serta sifat fisik tanah. Nilai PR max akan sangat mempengaruhi keseimbangan dalam DAS. Jika nilai PR max cukup besar, maka kemampuan DAS untuk menahan air hujan juga akan sangat baik, sehingga dapat tercipta kondisi DAS yang dinamis dengan adanya persediaan air yang mencukupi untuk sistem pertanian yang berkelanjutan.

Perhitungan PR max memerlukan adanya perhitungan *curve number* (CN). Nilai CN dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan dan jenis tanah. Penentuan jumlah luasan yang terdapat dalam sub DAS Goseng (Ngunut I) dilakukan dengan menggunakan konsep *Land Unit*, dimana penentuannya

adalah berdasarkan jenis dari penggunaan lahan dan karakteristik tanah. Terdapat tiga jenis penggunaan lahan yaitu untuk pemukiman, sawah dan tegalan berdasarkan data dari Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Solo. Jenis tanah yang terdapat pada sub DAS Goseng (Ngunut I) ada dua jenis yaitu tanah mediteran dan tanah latosol. Hasil perhitungan luasan menggunakan konsep *Land Unit* diperoleh sebanyak 25 luasan. Hasil perhitungan diperoleh nilai PR max sebesar 104, 816 mm.

PR atau *Production Reservoir* merupakan simpanan aktual dalam tanah, yaitu aliran permukaan yang tertahan sebenarnya di dalam DAS. Aliran permukaan (*surface runn off*) terjadi jika PR sudah melebihi PR max. Perhitungan nilai PR dilakukan menggunakan Persamaan (9) dengan memperhitungkan nilai abstraksi awal, yaitu bilangan yang menunjukkan besarnya kandungan air awal yang terdapat di dalam tanah. Nilai abstraksi awal hampir tidak dapat ditentukan dengan pasti, sehingga untuk pemakaian praktis maka nilai abstraksi awal dikaitkan dengan nilai simpanan maksimum atau PR max. Nilai abstraksi awal ditentukan dengan mengasumsikan bahwa sebelum terjadi menyerapan air atau infiltrasi, tanah telah memiliki kandungan air yang besarnya 0,2 PR max. Nilai tersebut ditentukan berdasarkan hasil penelitian *Soil Conservation Service* USDA. Nilai tersebut berarti bahwa sekitar 20% dari nilai PR max digunakan untuk mencukupi harga infiltrasi yang terjadi setelah limpasan permukaan terjadi.

TR atau *Transformation Reservoir* merupakan volume aliran permukaan jenuh atau *saturation overflow* yang dihasilkan tanpa memperhitungkan nilai konstanta reservoir $k(t)$. TR dihitung dengan Persamaan (3). Rumus penentuan TR tersebut dikembangkan oleh USDA. TR akan terjadi jika curah hujan melebihi PR max, sehingga tanah tidak mampu lagi menahan air limpasan. Jika hasil perhitungan TR menunjukkan nilai nol atau mendekati nol, berarti tidak terjadi *saturation overflow* atau walaupun ada besarnya bisa diabaikan.

2. Perhitungan $k(t)$

Pada model hidrologi agregasi, $k(t)$ merupakan konstanta simpanan lengas tanah yaitu bilangan yang menyatakan perbandingan nilai simpanan pada sebelumnya dengan simpanan pada waktu tertentu. Penentuan nilai konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$ dengan memplotkan nilai curah hujan terhadap waktu dalam kertas semilog atau menggunakan *Software Microsoft Excel*, kemudian diambil nilai curah hujan setelah titik puncak saja. Kemudian dilakukan pembalikan data dalam bentuk tabel, dimana data curah hujan akhir akan menjadi urutan pertama dalam tabel dan sebaliknya. Kemudian dilakukan pembagian antara nilai curah hujan sebelumnya dengan nilai curah hujan sesudahnya pada saat tertentu (Sujono, et al. 2004).

Perlu diketahui bahwa data curah hujan yang digunakan dalam penentuan nilai $k(t)$ adalah pada saat terjadi hujan sangat deras, dimana hidrograf menunjukkan kenaikan atau kelerengan kurva yang sangat tajam. Nilai konstanta simpanan lengas tanah akan menunjukkan tingkat perubahan simpanan (*storage*) dalam tanah. Jika nilai hasil pembagian tersebut sudah menunjukkan nilai yang konstant sampai jumlah data tertentu, maka nilai konstan dari data terakhir hasil perhitungan merupakan nilai konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai $k(t)$ sebesar 0,962.

3. Perhitungan Limpasan Menggunakan Model Hidrologi Agregasi

Model hidrologi agregasi, dikembangkan untuk meneliti DAS atas dasar karakteristik bebatuan ataupun tanah. Penggunaan model hidrologi agregasi biasa digunakan untuk menentukan volume limpasan yang terjadi pada suatu kawasan DAS tertentu yang sangat luas. Metode ini dipilih dalam penelitian ini, karena digunakan untuk menentukan volume limpasan yang terjadi pada suatu kawasan DAS tertentu yang sangat luas dan sebelumnya belum pernah ada penelitian menggunakan metode ini, sehingga peneliti tertarik untuk mencoba menguji tingkat validitas metode ini. Besarnya nilai

limpasan setiap tahunnya berbeda-beda, karena ada banyak faktor yang mempengaruhinya, namun secara umum nilai perhitungan dengan menggunakan model hidrologi agregasi menunjukkan nilai yang sama dengan nilai limpasan aktual yang diukur menggunakan alat pengukur.

Parameter terpenting adalah menentukan storage (PR_{max}), PR , TR dan $k(t)$. Secara umum faktor yang mempengaruhi limpasan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu faktor yang berhubungan dengan iklim, terutama curah hujan dan faktor yang berhubungan dengan karakteristik DAS. Lama waktu hujan, intensitas dan penyebaran hujan mempengaruhi laju dan volume limpasan. Limpasan total untuk suatu hujan secara langsung berhubungan dengan lama waktu hujan dan intensitas hujan tertentu. Infiltrasi akan berkurang pada tingkat awal suatu kejadian hujan, oleh karena itu hujan dengan waktu yang singkat tidak banyak menghasilkan limpasan. Pada hujan dengan intensitas yang sama dan dengan waktu yang lebih lama akan menghasilkan air larian yang lebih besar.

Intensitas hujan akan mempengaruhi laju dan volume limpasan. Pada hujan dengan intensitas tinggi, kapasitas infiltrasi akan terlampaui dengan beda yang cukup besar dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif. Dengan demikian, total volume limpasan akan lebih besar pada hujan intensif dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif meskipun curah hujan total untuk kedua hujan tersebut sama besarnya. Hujan dengan intensitas tinggi dapat menurunkan infiltrasi akibat kerusakan struktur permukaan tanah karena pemadatan yang ditimbulkan oleh tenaga kinetis hujan dan limpasan yang dihasilkannya.

Tabel 1. Hasil Perhitungan TR, PR dan Q prediksi

Tahun	TR (mm)	PR (mm)	Q pred. (mm)	Q Obser. (mm)
1991	877,3091	282,1325	918,6483	1101,319
1992	1675,778	606,6634	1777,224	1686,904
1993	1523,541	525,901	1595,33	1209,162
1994	1338,541	291,9006	1394,314	1378,952
1995	1400,629	558,8121	1455,956	1635,739
1996	1239,864	467,5772	1288,84	1123,915
1997	612,0517	224,3899	636,2284	387,7849
1998	2125,128	751,3133	2209,073	1475,656
1999	1699,427	533,5144	1766,556	1665,722
2000	1780,018	549,4231	1850,331	1291,258
2001	294,5512	95,89041	306,1863	472,766
2002	480,8998	203,8418	499,8958	22,02
2003	648,9372	314,5044	674,5709	317,44
2004	536,9572	172,4844	558,1676	275,979
2005	560,2804	339,1612	582,412	409,741
2006	696,9996	211,442	724,5318	247,75

4. Uji Validitas Model

Pengujian dilakukan pada 14 data limpasan selama 16 tahun yaitu sejak tahun 1991 sampai dengan tahun 2006. Metode yang digunakan untuk menguji kevalidan model adalah uji t (*test*) dan uji r (koefisien korelasi). Pada uji t, 14 data di uji selama 16 tahun pada tingkat kefidensi 99%. Model hidrologi agregasi dinyatakan akurat untuk menghitung nilai limpasan jika nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$. Uji koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengetahui korelasi antara data hasil prediksi dengan data observasi. Pada tingkat kefidensi 99%, kedua data dinyatakan memiliki korelasi yang kuat jika nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai t_{hitung} diperoleh sebesar -2,74578, nilai ini lebih kecil dari pada nilai t_{tabel} yang diperoleh sebesar 3,012. Hasil ini menunjukkan tidak ada perbedaan antara Q_{model} dengan $Q_{pengamatan}$. Begitu juga dengan uji r, diperoleh nilai r (koefisien korelasi) model sebesar 0,9273363 lebih besar dari nilai r tabel. Hal tersebut menunjukkan ada korelasi antara Q_{model} dengan $Q_{pengamatan}$.

Tabel 2. Hasil uji t dan uji r data limpasan tahun 1991-2006

Keterangan	Nilai
Uji t	
- Derajat kebebasan (n-1)	13
- Tingkat signifikansi (α)	0,01
- t_{hitung}	-2,74578
- t_{tabel}	3,012
Uji r	
- Derajat kebebasan (n-2)	12
- Tingkat signifikansi (α)	0,05
- r_{hitung}	0,9273363
- r_{tabel}	0,532

D. KESIMPULAN

1. Perhitungan limpasan menggunakan model hidrologi agregasi menggunakan variabel curah hujan, simpanan aktual lengas tanah, simpanan maksimum lengas tanah, aliran permukaan jenuh dan konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$.
2. Dari beberapa variabel yang digunakan, nilai konstanta simpanan lengas tanah $k(t)$ memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan keakuratan prediksi limpasan menggunakan model hidrologi agregasi.
3. Berdasarkan uji validitas, model hidrologi agregasi memiliki tingkat keakuratan yang tinggi untuk digunakan dalam memprediksi suatu limpasan pada DAS tertentu.

REFERENSI

- Arsyad, Sitanala. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bergström, S. 1995. *Comouter Model of Watershed Hydrology*. Highland Ranch Colorado, USA: Water Resources Publishing.
- Bos, Van Den .et al. 2006. *Regional Runoff Prediction through Aggregation of First-Order Hydrological Process Knowledge*. Grand-Duchy of Luxembourg: Environment and Boitechnologies Research Unit Public Research Centre.
- Darmadi. 2006. *Hand Out Mata Kuliah Hidrologi Pertanian*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Sudira, Putu dan Tri Sudyastuti. 2005. *Diktat Kuliah Klimatologi*. Yogyakarta. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Sujono, et al. 2004. *A Comparison of Techniques for Hydrograph Recession Analysis*, Published Online in Wiley Inter Science.
- Sukirno, 2001. *Teknik Konservasi Tanah dan Air*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Takeda, K. dan S. Sosrodarsono. 2006. *Hidrologi untuk Pengairan*. Cetakan Kesepuluh. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wanielista, M.P. 1990. *Hydrology and Water Quantity Control*. New York: John Wiley and Sons.