

VALIDASI MODEL KESETIMBANGAN AIR *BEKEN* DAN *BYLOOS* UNTUK PREDIKSI VOLUMETRIK HASIL AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI

Validation of Beken and Byloos's Water Balance Model to Predict Volumetric Water Yield in Watershed

Siti Nur Faridah

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Kampus Unhas Tamalanrea, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, Sulawesi Selatan
Email: idajamal@yahoo.com

ABSTRAK

Model Kesetimbangan Air (*Water Balance Model*) yang dikembangkan oleh Beken dan Byloos, merupakan suatu model hidrologi yang dapat dipergunakan untuk memprediksi volumetrik hasil air bulanan suatu daerah aliran sungai yang relatif kecil (kurang dari 1000 km²), khususnya untuk sungai-sungai yang tidak mempunyai data debit alirannya. Penelitian yang dilakukan di DAS di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan ini, bertujuan menguji keandalan Model Kesetimbangan Air Beken dan Byloos dalam memprediksi volumetrik hasil air bulanan di DAS tersebut. Model ini dipengaruhi oleh 5 parameter dan membutuhkan data masukan berupa data curah hujan dan evapotranspirasi bulanan serta sifat fisik DAS. Pengujian secara grafik dan dengan analisa regresi dari hasil keluaran model, menunjukkan bahwa model cukup handal untuk memprediksi potensi sumberdaya air yang relatif kecil pada suatu DAS

Kata kunci : Model kesetimbangan air

ABSTRACT

Water Balance Model developed by Beken and Byloos is a hydrologic model used to predict monthly water yield volume of relatively small watersheds (i.e. less than 1.000 km²), especially for river that do not record discharge data. The research was conducted in watersheds in Gowa Regency, South Sulawesi. The research aim is to examine the accuracy of Beken and Byloos Water Balance Model in the prediction of monthly water yield volume in those watersheds. The model was influenced by 5 parameters and required input data such as rainfall dan evapotranspiration in monthly basis, as well as physical characteristics of watersheds. Based on graphical and regression analysis from model output, it was shown that the model was capable of predicting water resource potential in relatively small watersheds.

Keywords : Water balance model

PENDAHULUAN

Produksi air suatu DAS yang berupa debit aliran sangat dipengaruhi oleh sifat masukan hujan dan watak parameter fisik (karakteristik) DAS yang merupakan unsur penyusun DAS. Hal tersebut merupakan suatu fenomena yang tidak sederhana, disamping itu, DAS kecil biasanya dihadapkan pada masalah tidak tersedia data debit alirannya. Berdasarkan hal tersebut, maka dipergunakan pendekatan model hidrologi yang pada dasarnya adalah ingin mencoba menyederhanakan sistem hidrologi yang sebenarnya.

Model hidrologi biasanya terdiri dari persamaan yang digunakan untuk menghitung keluaran berupa hidrograf limpasan dari masukan yang berupa hujan efektif. Dalam persamaan tersebut terdapat tetapan dan parameter model yang menggambarkan watak suatu sumber air sehingga bagian dari siklus hidrologi tersebut dapat diketahui dengan lebih mudah, cepat dan dengan tingkat ketelitian yang relatif tinggi.

Model kesetimbangan Air yang dikembangkan oleh *Van Der Beken* dan *Byloos* (1977), mempunyai 5 parameter yang harus ditetapkan yaitu: parameter yang dipengaruhi sifat

fisik tanah dan jenis vegetasi, parameter yang dipengaruhi oleh kekasaran tanah, parameter yang analog dengan nilai koefisien limpasan, parameter yang berhubungan dengan perkolasi dalam dan parameter yang berhubungan dengan kehilangan air di saluran. Model ini berlaku untuk daerah aliran sungai yang relatif kecil (Singh, 1989).

Berbagai model hasil air yang telah dikembangkan oleh para ahli hidrologi, walaupun dilatar belakangi dengan konsep dan cara yang berbeda tetapi ditujukan untuk hal yang sama yaitu untuk menduga hasil air suatu DAS. Hal ini akan sangat mempermudah dalam pendugaan hasil air pada daerah-daerah yang mempunyai kelengkapan data yang mungkin sesuai dengan yang dibutuhkan oleh salah satu model tetapi tidak mempunyai kelengkapan data untuk model yang lain.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Pamukulu dan DAS Dingau yang terletak di Kab. Gowa, Sulawesi Selatan, sekitar 30 km dari Kota Makassar. Secara geografis DAS Pamukulu terletak 5°22'33" – 5°28'21" LS dan 119°34' - 119°43'12" BT, dengan luas DAS 103.84 km² dan DAS Dingau 119°27'54" – 119°38'39" BT dan 5°24'12" – 5°17'52" LS, dengan luas DAS 139.64 km².

Analisis Data

Kerangka Model

Model hidrologi volumetrik hasil air yang dikembangkan oleh *Beken* dan *Byloos* 1977 (Singh, 1989), menggunakan model kesetimbangan air (*water balance model*), yang bentuk skematiknya dapat dilihat pada Gambar 1, dengan bentuk persamaan dasar sebagai berikut:

$$\Delta S = N - q - R$$

Dimana:

- ΔS = Perubahan simpanan (mm)
- N = Hujan efektif (mm)
- q = Aliran air (mm)
- R = Kehilangan air karena perkolasi dan tambahan air dari rembesan (mm)

Inti dari model *Beken* dan *Byloos* adalah 5 parameter (a_1 sampai a_5) yang terdapat dalam persamaan evapotranspirasi, hujan efektif, aliran sungai, dan perkolasi dalam dan kehilangan air di saluran.

Evapotranspirasi

$$E_a = E_p [1 - \exp(-a_1 S)]$$

Dimana:

- a_1 = parameter, berhubungan dengan jenis vegetasi dan sifat fisik tanah.
- S = simpanan awal (mm/bulan)
- E_a = evapotranspirasi aktual (mm/bulan)
- E_p = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

Hujan Efektif

$$N = V_p - E_a$$

Dimana:

- N = curah hujan efektif (mm/bulan)
- V_p = curah hujan keseluruhan (mm/bulan)

Bila evapotranspirasi lebih kecil dari hujan keseluruhan maka kelebihan hujan akan mengisi reservoir (penyimpanan air), selebihnya mengalir ke sungai

Perkolasi dalam dan kehilangan air di saluran

$$R = a_4 S - a_5$$

Dimana:

- R = Perkolasi (mm/bulan)
- a_5 = Parameter, berhubungan dengan rembesan air di saluran
- a_4 = Parameter, berhubungan dengan perkolasi dalam

Aliran Sungai

$$V_q = a_2 S + a_3 N$$

Dimana:

- a_2 = Parameter yang berhubungan dengan kekasaran tanah
- a_3 = Parameter yang analog dengan nilai koefisien

Parameter Model

Penentuan parameter model menggunakan persamaan-persamaan regresi yang telah dikalibrasi oleh Khoiriyah, 1995 dalam Sayogo (1997), sebagai berikut :

$$a_1 = -0.018 + 0.216M - 0.260G + 0.038A - 0.131K$$

$$a_2 = 0.426 - 1.856G - 0.316K$$

$$a_3 = 0.021 + 0.891M - 0.897G$$

$$a_4 = 0.159 - 1.244G + 0.723W$$

$$a_5 = 11.777 - 10.338A$$

dengan:

- M = Kemiringan DAS
- G = Gradien sungai
- A = Luas tegalan/luas DAS
- K = Luas kampung/luas DAS
- W = Luas sawah/luas DAS

Asumsi dan Batasan Model

- a. Selama periode penelitian kondisi DAS dianggap tidak berubah.
- b. Data hujan yang digunakan dianggap dapat mewakili wilayah DAS yang ditinjau.
- c. Hujan yang diterima DAS bersifat seragam dalam ruang dan waktu.
- d. Faktor geomorfologi DAS dianggap telah dapat mencerminkan faktor fisik DAS.

Pengujian Validitas Model

- Pengujian model dilakukan dengan menggunakan program Microsof Excel, yaitu pendekatan secara grafik meliputi *grafik time series* dan pengujian secara statistik (regresi) antara hasil pehitungan debit model dengan debit observasi. Test ini dimaksudkan untuk melihat adanya hubungan satu-satu antara nilai prediksi oleh model dan nilai observasi. Untuk memungkinkan pelaksanaan test regresi ini, digunakan data 3 tahun terakhir (data curah hujan dan evapotranspirasi bulanan) pada setiap DAS.
- Jika model di atas ternyata tidak memiliki ‘performance’ yang baik (Ho ditolak), maka parameterisasi konstanta a1 sampai a5 akan dilakukan dengan mempergunakan prinsip-prinsip penyelesaian simultan persamaan-persamaan linier. Selanjutnya test ‘performance’ akan dilakukan kembali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Daerah Aliran Sungai

DAS Pamukkulu dan DAS Dingau, masing-masing mempunyai luas 103,84 km² dan 139,64 km², terletak pada kemiringan topografi 15% dan 14%, serta mempunyai gradien sungai 2,6% dan 1,4%. Penggunaan lahan masing-masing DAS, dapat dilihat pada Tabel 2. Sebagian besar (80%) DAS Pamukkulu berupa penggunaan lahan hutan dan hanya 0,7% merupakan kampung atau pemukiman penduduk. Sedangkan pada DAS Dingau luas hutan hanya 39% dari luas DAS dan 0,8% merupakan pemukiman penduduk.

Tabel 1. Karakteristik DAS

No.	Sifat Fisik DAS	DAS Pamukkulu	DAS Dingau
1.	Luas (km ²)	103,84	139,64
2.	Kemiringan (%)	15	14
3.	Gradien sungai (%)	2,6	1,4

Tabel 2. Tata Guna Lahan DAS

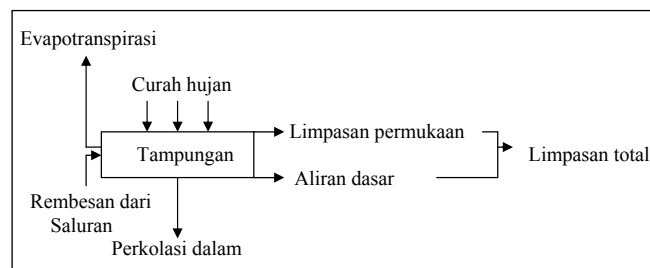
Tata Guna Lahan	Pamukkulu		Dingau	
	km ²	%	km ²	%
Hutan	82.9	79.83	54.4	38.96
Sawah	2.04	2.0	24.5	17.55
Ladang	6.23	6	4.46	3.2
Kampung	0.7	0.67	1.12	0.8
Padang rumput	2.4	2.3	2.76	1.98
Kebun campuran	9.57	9.2	5.9	4.23
Jumlah	103.84	100	139.64	100

Parameter Model

Hasil perhitungan parameter a1 sampai a5 Model *Beken* dan *Byloos* masing-masing DAS, dapat dilihat pada Tabel 3. Parameter a1, cenderung dipengaruhi oleh keadaan tekstur tanah dan vegetasi penutup. Parameter ini mengendalikan simpanan yang mempengaruhi evapotranspirasi aktual. Pada tekstur tanah yang lebih lembut akan mempertinggi nilai a1, yang menyebabkan evapotranspirasi aktual makin mendekati evapotranspirasi potensial, demikian pula sebaliknya.

Tabel 3. Parameter Model *Beken* dan *Byloos*

Parameter	Pamukkulu	Dingau
a1	0.01	0.02
a2	0.38	0.40
a3	0.13	0.13
a4	0.14	0.27
a5	9.96	7.36



Gambar 1. Bentuk Skematik Model *Beken* dan *Byloos* (Singh, 1989)

Pada Tabel 3. terlihat bahwa DAS Pamukkulu mempunyai tekstur tanah yang lebih kasar. Pada tanah kasar, air cenderung mengalir ke bawah, sehingga evapotranspirasi berkurang. Evapotranspirasi yang tinggi akan mengurangi volume limpasan, simpanan air dan hasil air.

Untuk parameter a2, DAS Dingau mempunyai nilai parameter yang lebih tinggi daripada DAS Pamukkulu. Hal tersebut menggambarkan bahwa sebagian besar simpanan air pada DAS tersebut cenderung mengalir vertikal ke bawah

tanah, bersama-sama dengan air tanah akan mengalir ke sungai.

Demikian pula dengan parameter a3, yang mengendalikan faktor hujan yang menjadi limpasan. Nilainya banyak dipengaruhi oleh faktor topografi DAS dan perbedaan penggunaan lahan pada masing-masing DAS.

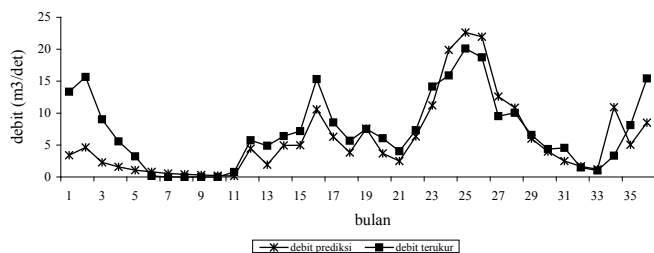
Parameter a4 mengendalikan faktor simpanan yang menjadi perkolasi dalam. Perkolasi dalam ini menyebabkan simpanan menjadi berkurang. Semakin tinggi nilai a4 menyebabkan makin tingginya perkolasi dalam yang kemudian mengurangi simpanan.

Parameter a5 mengendalikan faktor rembesan (*seepage*). Rembesan mempengaruhi simpanan, makin tinggi nilai a5 makin tinggi pula rembesan yang akan memperbesar jumlah simpanan. Kepekaan parameter a5 paling rendah dibandingkan dengan parameter lainnya, hal ini disebabkan oleh jumlahnya yang relatif kecil.

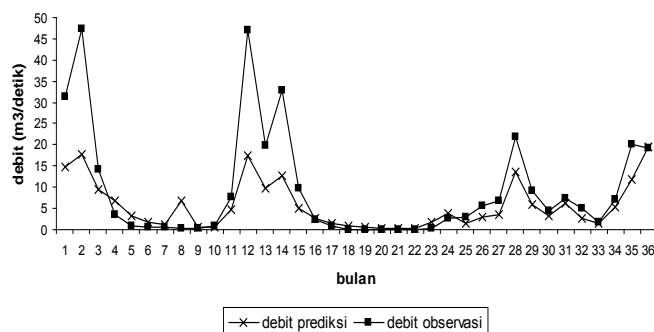
Validasi Debit Observasi dan Debit Prediksi

Pengujian dengan Grafik

Analisis tingkat keandalan Model *Beken* dan *Byloos* dilakukan dengan membandingkan debit observasi dan debit prediksi hasil perhitungan model. Pengujian dengan mempergunakan kriteria secara grafis untuk masing-masing DAS dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Debit Observasi dan Debit Prediksi DAS Pamukkulu selama 3 tahun



Gambar 3. Grafik Perbandingan Debit Observasi dan Prediksi DAS Dingau Selama 3 tahun

Pada Gambar 2. terlihat bahwa DAS Pamukkulu mempunyai debit aliran sungai, baik debit observasi maupun debit prediksi meningkat rata-rata pada Bulan Oktober hingga Bulan Maret. Demikian pula untuk DAS Dingau pada Gambar 3. debit observasi dan debit prediksi meningkat rata-rata pada Bulan Nopember hingga Bulan April.

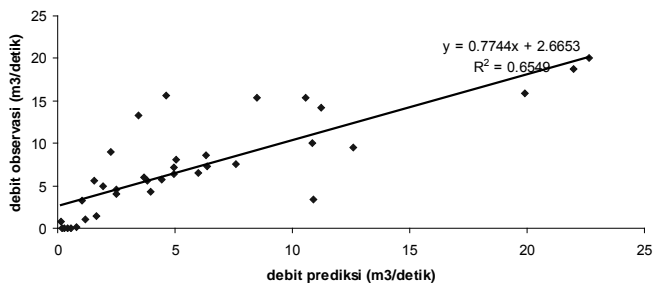
Gambar grafik perbandingan untuk masing-masing DAS tersebut memperlihatkan nilai debit menunjukkan fluktuasi debit yang serupa (Gambar 2 dan 3). dimana terjadinya peningkatan debit observasi juga akan diikuti oleh peningkatan debit prediksi model, sehingga nilai debit observasi dengan debit prediksi berbanding lurus. Dengan demikian tolok ukur secara grafik dapat dikatakan Model Kesetimbangan Air *Beken* dan *Byloos* cukup layak dan dapat diterima.

Analisis Regresi

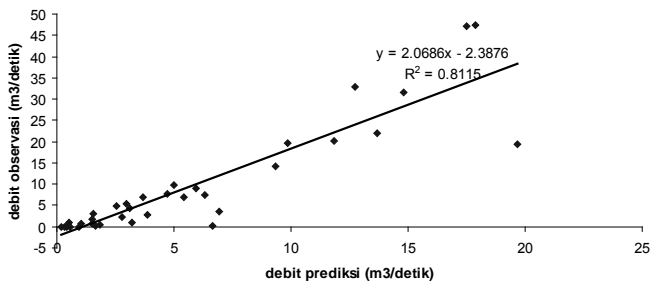
Pengujian keandalan model dengan nilai koefisien determinasi menggambarkan presentase variabel bebas (debit observasi) yang dapat dijelaskan oleh variabel tak bebas (debit prediksi). Pada Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan persamaan regresi yang menunjukkan hubungan antara debit observasi dan debit prediksi model masing-masing DAS. Persamaan regresi dapat layak dipakai untuk menggambarkan hubungan antara debit observasi dan debit prediksi model bila nilai koefisien determinasinya mendekati satu.

Pada Gambar 4. terlihat nilai koefisien determinasi (R^2) 0,655 yang berarti 65,5% variabel bebas dapat dijelaskan oleh variabel tak bebas. Sedangkan koefisien kolerasinya (R) 0,809 yang menunjukkan tingkat linierisasi debit observasi dan debit prediksi model. Sedangkan persamaannya menunjukkan bahwa jika terjadi peningkatan debit observasi maka debit prediksi juga akan meningkat.

Sedangkan Gambar 5. terlihat nilai koefisien determinasi (R^2) 0,812 berarti 81,2% variabel bebas dapat dijelaskan oleh variabel tak bebas. Sedangkan koefisien kolerasinya (R) 0,901 yang menunjukkan tingkat linierisasi debit observasi dan debit prediksi model. Nilai koefisien kolerasi pada kedua DAS tersebut bernilai positif yang berarti kenaikan debit observasi secara positif diikuti oleh kenaikan debit prediksi model. Sedangkan nilai signifikan F dengan analisa varians untuk masing-masing DAS pada Tabel 4. mempunyai nilai lebih kecil dibandingkan 0,05, sehingga dapat dikatakan nilai koefisien pada persamaan regresinya signifikan (tidak sama dengan nol), yang berarti secara bersama-sama koefisien regresi mempunyai pengaruh terhadap perubahan variabel tak bebas atau persamaan tersebut dapat menggambarkan hubungan atau pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas.



Gambar 4. Grafik Kolerasi DAS Pamukkulu



Gambar 5. Grafik Kolerasi DAS Dingau

Tabel 4. Nilai Signifikan F

DAS	Signifikan F
Pamukkulu	0,0127 10 ⁻⁶
Dingau	0.0267 10 ⁻⁸

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Debit observasi dan debit prediksi model menunjukkan fluktuasi yang serupa, dimana jika terjadi peningkatan debit observasi maka debit prediksi juga akan meningkat, demikian pula sebaliknya
2. Koefisien determinasi DAS Pamukkulu dan DAS Dingau masing-masing 0,901 dan 0,809
3. Pengujian secara grafik dan dengan analisis regresi menunjukkan model *Beken* dan *Byloos* cukup layak dan dapat digunakan untuk memprediksi volumetrik hasil air DAS yang relatif kecil, yaitu DAS dengan luas kurang dari 1.000 km²

Saran

Model yang dipergunakan belum dibuat dalam bentuk paket program, sehingga perlu dibuat suatu program baru yang dapat dengan mudah dipergunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Allred, B. dan Haan, C.T. (1996). Small Watershed Monthly Hydrologic Modeling System. *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*. Vol. 32. No.3.

Haan, C.T. dan Brakenslek, D.L. (1982). *Hydrologic Modeling of Small Watersheds. An ESAE Monograph* No. 5. St. Joseph, Michigan. USA.

Hidayat, L. (1995). *Analisis Kepekaan Model Hidrologi Pada Berbagai Karakteristik Daerah Aliran Sungai*. Tesis S-2 Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Linsley, R.K., Kohler, M.A. dan Paulus, J.L.H. (1986). *Hydrology for Engineers*. Mc. Graw – Hill Inc. New York.

Singh, V.P. (1989). *Hydrology System*. Vol II – Watershed Modeling, Prentice Hall Englewood Cliffs. New Jersey. India.

Sayogo (1997). *Model Hidrologi Volumetrik Hasil Air*. Skripsi S1. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Sudira, P.(1989). *Runoff Prediction Model Based on Soil Moisture Analysis*. Disertasi S3. UPLB, Filipina.

Susanto, S. (1991). *Tropical Hydrology Simultan Model-1 for Watershed Management*. Disertasi S3. Universitas Kyoto. Japan.

Susanto, S. (1993). *Perkiraan Hasil Air Bulanan dengan Model Hujan Limpasan*. Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Viessman, W., Knap, J.W., Lewis, G.L. dan Harbaugh, T.E. (1977). *Introduction to Hydrology*. Third Edition. Mc Graw-Hill Book Company (UK) Limited.