OPTIMASI PARAMETER TANK MODEL
Optimation of Tank Model's Parameters

Budi I. Setiawan
Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor
PO BOX 220, Bogor 16002
E-mal: budindra@ipb.ac.id

Abstract

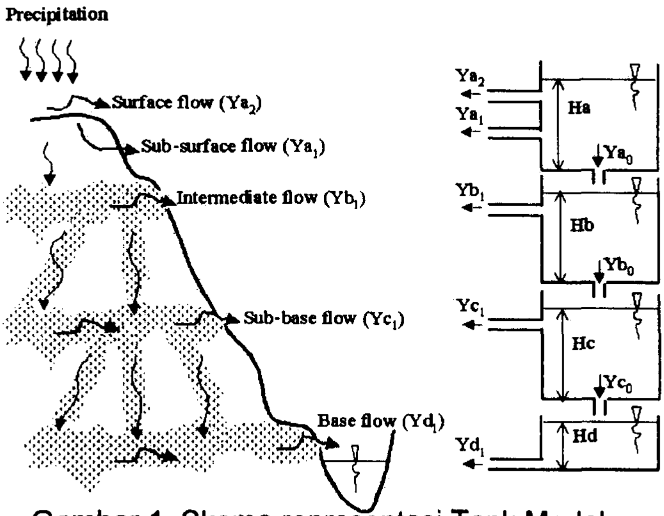
Tank Model is one of hydrological models to analize characteristics of river flow. The model can give information of water availability and be used to predict flood occurences. As it is commonplace, this model needs calibration, and it is usually done by setting the embodied parameters. In form of Standard Tank Model, the number of parameters accounts to 12. Many optimation methods have been recognized but so far there is no single method available for general application. This paper introduces an optimation technique to determine the parameters with taking into account conformity to water balance in addition to best-fitting. Here, two data from Cidanau and Terauchi Watershed were used for clarification, which show that this optimation technique gained fast and accurate results. This technique has been made available to use in form of an application software and openly possible to accommodate the other forms of Tank Model.

***Keywords**: Hydroligical Model, Tank Model, Parameter, Optimation, Application Program.*

LATAR BELAKANG

Berbagai upaya untuk mempelajari keseimbangan air dinamis dalam satuan daerah aliran sungai telah banyak dilakukan dan beberapa telah menghasilkan model hidrologi yang cukup baik. Diantaranya telah berkembang Tank Model dengan berbagai variasinya mengikuti kondisi aktual lapangan-nya (Elhassn *et.al.,* 2001). Tidak jarang beberapa set Tank Model disusun berlapis-lapis dalam rangka merepresentasikan kondisi lapang. Namun demikian, pada hakekatnya ia tetap konsisten mengikuti bentuk aslinya, yang disebut Standard Tank Model (Sugawara *et.al.*, 1986). Dewasa ini, arah perbincangan Tank Model bergeser pada penentuan parameter-parameternya.

Berbagai metode telah banyak dikembangkan (Kadoya 1981; Fujihara *et.al.*, 2001). Perbedaan metode menghasilkan nilai parameter yang berbeda walaupun menggunakan data yang sama. Tidak jarang seorang



Gambar 1. Skema representasi Tank Model

perancang Tank Model harus pula merancang algoritma optimasi sendiri yang sebagian besar masih menggunakan *trial-error.* Disini, muncul permasalahan disekitar penerimaan terhadap nilai-nilai parameter yang dihasilkan. Sebagian besar pengguna cukup puas bila diperoleh garis regresi yang baik. Tentu saja, kriteria optimum tidak hanya tergantung garis regresi tetapi yang lebih penting nilai-nilai parameter itu benar-benar merepresentasikan kondisi aktual. Sebagai contoh, tidak mungkin menerima paremeter tinggi genangan air dalam sawah di luar batas kemampuan sawah tersebut digenangi. Disamping itu, perlu ada justifikasi terhadap ketepatan satu rancangan Tank Model dalam satu wilayah studi berdasarkan pada sejauh mana Tank Model itu konsisten dalam menjaga keseimbangan air. Hal-hal seperti ini harus memberikan arahan gambaran bahwa Tank Model yang dirancang telah representatif, atau bahkan perlu dimodifikasi lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengembangkan teknik optimasi parameter Tank Model yang cepat dan akurat dengan memperhatikan keseimbangan airnya, dan 2) membangun Program Aplikasi yang bisa dimanfaatkan oleh perancang dan pengguna Tank Model pada umumnya.

DESKRIPSI SINGKAT TANK MODEL

Gambar 1 memperlihatkan *Standard Tank Model* dan pergerakan air hipotetis dalam satu daerah aliran sungai. Model ini tersusun atas 4 (empat) *reservoir* vertikal, dimana bagian atas merepresentasikan *Surface Reservoir* (*A*), di bawahnya *Intermediate Reservoir* (*B*), kemudian *Sub-base Reservoir* (*C*), and paling bawah *Base*

Reservoir (*D*). Dalam konsep *Tank Model* ini air dapat mengisi *reservoir* di bawahnya, dan bisa terjadi sebaliknya bila evepotranspirasi sedemikian berpengaruh. Lubang outlet horizontal mencerminkan aliran air, yang terdiri dari *Surface Flow* (Ya_2), *Subsurface Flow* (Ya_1), *Intermediate Flow* (Yb_1), *Sub-base Flow* (Yc_1), and *Base Flow* (Yd_1). Aliran ini hanya terjadi bila tinggi air pada masing-masing reservoir (*Ha, Hb, Hc dan Hd*) melebihi tinggi lubangnya (Ha_1, Ha_2, Hb_1 dan Hc_1). Aliran air di setiap lubang outlet dipengaruhi pula oleh karakteristik lubang itu sendiri, masing-masing yaitu A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, C_0, C_1, dan D_1, yang selanjutnya disebut sebagai parameter *Tank Model* yang akan ditentukan. Jadi secara keseluruhan terdapat 12 (dua belas) parameter.

Secara global persamaan keseimbangan air ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dH}{dt} = P(t) - ET(t) - Y(t) \quad (1)$$

Dimana, *H* adalah tinggi air (mm), *P* hujan (mm/hari), *ET* evapotranspirasi (mm/hari), *Y* aliran total (mm/day), dan *t* adalah waktu (hari).

Aliran Total merupakan perjumlahan dari komponen aliran yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y(t) = Ya(t) + Yb(t) + Yc(t) + Yd(t) \quad (2)$$

Lebih rinci lagi keseimbangan air dalam setiap reservoir dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dHa}{dt} = P(t) - ET(t) - Ya(t) \quad (3)$$

$$\frac{dHb}{dt} = Ya_0(t) - Yb(t) \quad (4)$$

$$\frac{dHc}{dt} = Yb_0(t) - Yc(t) \quad (5)$$

$$\frac{dHd}{dt} = Yc_0(t) - Yd(t) \quad (6)$$

Dimana, *Ya*, *Yb*, *Yc* and *Yd* komponen aliran horizontal dari setiap reservoir, dan Ya_0, Yb_0 dan Yc_0 aliran vertikal.

Dalam prakteknya, Aliran Total (*Y*) sering dinyatakan sebagai akumulasi aliran air dari satu sistem daerah pergerakan air. Dalam satu daerah aliran sungai, Aliran Total ini dapat merepresentasikan debit sungai, dan di sawah dapat dianggap sebagai aliran drainase. Pada kenyataannya, pasti terdapat pula jenis aliran air lainnya yang sulit didefinisikan yang akan berpengaruh pada keseimbangan air. Jelas bahwa Tank Model hanya merepresentasikan daerah studi secara global dan tergambar betapa sulit menelusuri setiap komponen aliran tersebut di lapangan untuk proses kalibrasi atau verifikasi.

Penentuan komponen aliran sebagai sasaran untuk mengecek kelaikan Tank Model sangat ditentukan oleh tujuan penggunaannya. Pengamatan yang terfokus pada aliran total (*Y*) sangat diperlukan dalam mempelajari banjir. Sementara, informasi Base Flow (Yd_1) akan bermanfaat bagi perencanaan penggunaan air, misalnya untuk irigasi, perikanan, penjernihan air dan sebagainya khususnya pada perioda musim kering. Fokus pengamatan ini memberi perhatian pada teknik optimasi yang akan dikembangkan.

TEKNIK OPTIMASI

Melihat sudah begitu banyak struktur *Tank Model* yang ada, adalah satu maksud untuk merancang suatu teknik optimasi yang dapat memfasilitasi setiap struktur *Tank Model* tersebut. Teknik optimasi ini tidaklah perlu mengetahui informasi detail dalam setiap *Tank Model* tetapi cukup mendapat informasi mengenai hasil perhitungannya dan komparasinya dengan data serta berapa banyak parameter yang ada dengan masing-masing kisarannya. Di sini, Tank Model diasumsikan sebagai satu *Black-Box* saja yang diamati tingkah lakunya bila mendapat perubahan parameter. Pengamatan ini dilakukan oleh satu sistem optimasi, yang disini menggunakan algoritma Marquardt. Dalam kasus sederhana *Single Input Single Output* (*SISO*), algoritma ini sangat cepat dan efektif dalam menemukan parameter yang optimum walaupun untuk model yang sangat non-linear sekalipun. Disamping itu ia juga dilengkapi dengan batas atas dan batas bawah untuk setiap parameter yang akan dicari. Dengan melihat struktur *Tank Model* ini yang berwujud *Multi Input Multi Output* (*MIMO*), penulisan algoritma Tank Model ini disusun sedemikian rupa sehingga kompatibel dengan Algoritma Marquardt yang telah dikembangkan sebelumnya (Setiawan and Shiozawa, 1992).

Dengan *Tank Model* yang mempunyai 4 (empat) *reservoir*, disini dibuat suatu algoritma dalam bentuk **procedure** dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut: 1) mempunyai input argument untuk menerima parameter (**P**); 2) mempunyai input argument untuk menerima netto data hujan minus evapotranspirasi (**X**); dan 3) mempunyai output argument untuk mengeluarkan hasil perhitungan *Tank Model* (**Yc**). Dalam bahasa Pascal, kerangka **procedure** ini dapat ditulis sebagai berikut:.

```
procedure TankModel(P:ArrayM
; X:single; var Yc: single);
begin
...
end;
```

Pada Lampiran 1 dapat dilihat penulisan program lengkapnya. Di dalamnya terdapat 4 (empat) **procedure** masing-masing untuk menghitung *outflow* dari setiap *reservoir*, dan pada bagian utamanya dipakai untuk menghitung tinggi air di setiap reservoir.

Algoritma Marquardt disusun dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut: 1) mempunyai input argument untuk menerima Batas Bawah (**Pmin**) dan Batas Atas (**Pmax**) Parameter; 2) mempunyai input argument untuk menerima netto hujan dan evapotranspirasi (**X**); 3) mempunyai input argument untuk menerima data debit (**Yd**); dan 4) mempunyai input/output argument untuk menerima dan mengeluarkan parameter (**P**). Berikut ini kerangka **procedure Marquardt** yang dirancang:

procedure Marquardt (Bmin, Bmax:ArrayM; X,Yd:ArrayN; var B:ArrayM);
begin {Main of Marquardt}
...
end;{End of Marquardt}

Dalam prosedur Marquardt ini terdapat **procedure derivative** yang berfungsi untuk melakukan penurunan pertama *Tank Model* secara numerik, **procedure leastsquare** untuk minimisasi kesalahan, dan **procedure gauss** untuk menghitung parameter yang telah diperbaharui. Di bagian **global declaration** dapat dilihat nilai toleransi untuk setiap paramater yang diperbaharui. Dimana, bila selisih parameter baru dan lama berada di bawah nilai tersebut maka parameter baru tersebut diterima sebagai solusi akhir. Bila nilai toleransi belum terpenuhi proses iterasi akan terus berlajut sampai jumlahnya melampaui iterasi maksimum.

BAHAN DAN METODE

Teknik Optimasi ini diujicobakan untuk menentukan parameter Tank Model pada 2 (dua) daerah aliran sungai, yaitu DAS Terauchi di Jepang dan DAS Cidanau di Indonesia. Daerah aliran sungai Terauchi berada di Fukuoka mencakup luasan sekitar 5055 ha. Data harian curah hujan, evapotranspirasi dan debit sungai tercatat dengan baik selama 11 (sebelas) tahun, mulai 1986 sampai 1996 (Fukuda and Nakano, 2001). Data dari DAS Cidanau diperoleh selama 2 (dua) tahun pengamatan, yaitu pada tahun 1996 dan 1997 (Sutoyo *et.al.*, 2000). Data curah hujan dan evapotranspirasi di kedua daearah aliran sungai tersebut masing-masing diberi faktor koreksi 1.1 dan 0.8.

Inisiasi nilai parameter diperlukan untuk memulai proses iterasi. Di sini digunakan nilai parameter yang diintroduksikan oleh Sugawara *et.al.*(1986) seperti terlihat pada Tabel 1, yang juga memuat batas bawah dan batas atas dari setiap parameter tersebut. Disamping itu, perlu pula memberikan nilai awal untuk tinggi air (*Ha, Hb, Hc* dan *Hd*) di setiap reservoir. Informasi ini dapat diperkirakan dengan mencermati Base Flow (*Yd*) pada saat debit terendah untuk memperoleh perkiraan *Hd* sedangkan komponen aliran lainnya diasumsikan 0 (Suga-wara *et.al.*, 1986, pages 43-45).

Untuk memulai proses optimasi, mengingat nilai awal tinggi air di setiap reservoir tidak diketahui, pertama kali ditentukan nilai *Hd* yang dihitung dari data debit minimum yang terjadi pada musim kering dan diasumsikan tidak terjadi ada aliran air dari ketiga reservoir yang berada di atasnya (*Ha*=*Hb*=*Hc*=0), dimana $Hd=Qmin/d_1$, dan nilai d_1 sebesar 0.001. Keempat nilai tinggi air ini selanjutnya dikoreksi setelah dilakukan penghitungan menggunakan data satu tahun dan diperoleh deviasi keseimbangan air yang minimum. Nilai akhirnya selanjutnya dijadikan nilai awal untuk memulai proses iterasi untuk memperbaiki nilai parameter.

Tabel 1. Parameter Awal

Parameter	Initial	Min	Max
A_0	0.2	0	1
A_1	0.1	0	1
A_2	0.1	0	1
B_0	0.06	0	1
B_1	0.03	0	1
C_0	0.012	0	1
C_1	0.006	0	1
D_1	0.001	0	1
Ha_1	15	5	15
Ha_2	25	25	60
Hb_1	15	0	30
Hc_1	15	0	60

Proses iterasi dihentikan bila melampaui batas maksimumnya atau perjumlahan absolut perubahan parameter lebih kecil dari toleransinya. Disini diberikan 1000 iterasi sebagai batas maskimumnya dan toleransi kesalahan sebesar 0.00001. Proses iterasi dilanjutkan lagi bila presentase descrepancy keseimbangan air dan koefisien regresi masih mungkin untuk diperbaiki dengan memberikan nilai awal tinggi air di setiap reservoir yang telah dikoreksi lagi. Selanjutnya, proses iterasi dimulai lagi dari awal. Presentase *descrepancy* ini dihitung menggunakan Pers. 1.

Untuk melihat keberhasilan *Tank Model* dalam merepresentasikan debit sungai, disini digunakan 3 (tiga) indikator kesalahan, yaitu 1) *Root Mean Square Error* (*RMSE*), 2) *Mean Absolute Error* (*MAE*), dan 3) *Logaritmic RMSE* (*LOG*) (Fujihara, et.al., 2001). Sebagai gambaran, *RMSE* berguna dalam melihat ketepatan model dalam memperkirakan *Surface Flow*, *MAE* memberikan informasi ketepatan model dalam memperkirakan aliran secara keseluruhan sedangkan *LOG* memberikan informasi dalam memperkirakan *Base Flow*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 memperlihatkan parameter akhir setelah melalui proses optimasi dan hasil pengujian untuk kedua daseah aliran sungai, Cidanau tahun 1996 dan Terauchi tahun 1986. Dengan melihat persentase decrepancy yang mendekati nol, Tank Model ini telah memenuhi kriteria kese-imbangan air dengan sangat memuaskan. Demikian pula, ketepatan data debit dan hasi perhitungan sangat baik terlihat dari koefisien determinasi (*R2*) yang cukup tinggi, 0.88 dan 0.91 masing-masing untuk DAS Cidanau dan DAS Terauchi. Seperti diperlihatkan nilai *RMSE, MAE* dan *LOG,* kedua tank model cukup baik dalam memperkirakan debit tinggi dan debit keseluruhan tetapi tidak sebaik dalam memper-kirakan debit rendah (*Base Flow*).

Tabel 2. Parameter Akhir dan Indikator Kinerja

Parameter	Cidanau	Terauchi
a0	0.18	0.25
a1	0.001	0.07
Ha1	5.49	5.00
a2	0.16	0.06
Ha2	60.00	57.98
b0	0.001	0.22
b1	0.44	0.46
Hb1	11.89	30.00
c0	0.001	0.04
c1	0.001	0.25
Hc1	48.19	60.00
d1	0.001	0.001
Ha0	14.36	5.76
Hb0	76.39	7.42
Hc0	157.77	30.23
Hd0	481.19	856.31
Ha	39.75	6.36
Hb	24.81	6.96
Hc	40.50	29.05
Hd	423.19	1075.60
Descr (%)	1.5E-06	-2.4E-07
R2	0.88	0.91
RMSE	6.50	3.02
MAE	2.08	1.06
LOG	0.49	0.17

Untuk DAS Cidanau tahun 1997 nilai *R2*=0.82, *RMSE* = 4.56, *MAE*=1.93 dan *LOG*=0.76. Terlihat ada sedikit penurunan *R2* dan *LOG* tetapi terjadi perbaikan pada *RMSE* dan *MAE*. Untuk DAS Terauchi dari pada tahun 1987 sampai tahun 1990 diperoleh *R2* berturut-turut 0.93, 0.92, 0.90 dan 0.86; *RMSE* sebesar 3.10, 1.81, 1.32 dan 2.73; *MAE* sebesar 1.18, 1.02, 0.92 dan 0.94; dan *LOG* sebesar 0.18, 0.20, 0.18 dan 0.17. Melihat sedikit sekali terjadi perubahan nilai-nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter yang ditemukan sudah sangat akurat dalam menggambarkan fluktuasi debit air di DAS Terauchi.

Pada Lampiran 2 disajikan kurva hidrograf untuk DAS Cidanau tahun 1996 dan tahun 1997, dan pada Lampiran 3 disajikan kurva hidrograf untuk DAS Terauchi tahun 1986 dan tahun 1987. Kurva hidrograf ini memperlihatkan curah hujan minus evapotranspirasi, dan debit sungai yang diamati dan yang dihitung. Untuk DAS Cidanau, jelas terlihat pada tahun 1996 terjadi dispersi pada bagian debit tinggi, dan dispersi ini hampir tidak terlihat pada tahun 1997 seiring dengan terjadinya penurunan *RMSE*. Sementara untuk DAS Terauchi, dispersi pada debit tinggi masih terus terlihat pada tahun-tahun berikutnya.

Teknik optimasi ini telah dikemas dalam bentuk program aplikasi dalam lingkungan Window mengunakan bahasa pemrograman Delphi (Lampiran 4). Pada intinya program ini dapat menerima masukan data harian hujan, evapotraspirasi dan debit sungai dalam satuan mm/hari, dan menghasilkan keluaran semua parameter *Tank Model* dan hasil pengujiannya yang bisa disimpan dalam bentuk file dan grafik. Setelah data dimasukkan, langsung akan diberikan nilai awal untuk d_1, dan dalam proses **CHECK** akan dihasilkan nilai-nilai awal untuk tinggi air di setiap reservoir. Bila nilai-nilai awal ini dipandang cukup memuaskan, keseimbangan air tercapai, selanjutnya dapat dilakukan **OPTIMIZE** untuk meng-*update* parameter-parameter. Walaupun iterasi dibatasi sampai 1000, proses optimasi biasanya berlangsung sangat cepat dan jarang mencapai angka tersebut. Program ini dengan mudah dapat dikembangkan untuk mengakomodasikan bentuk lain dari *Tank Model*.

KESIMPULAN

Makalah ini telah menjelaskan teknik optimasi parameter *Tank Model* dan mengujinya pada 2 (dua) daerah aliran sungai di Indonesia dan di Jepang. Teknik optimasi ini juga dilengkapi prosedur untuk memberikan perkiraan awal tinggi air di setiap reservoir sebelum memulai proses optimasi. Dalam proses optimasi digunakan algoritma Marquardt yang memperlihatkan keefektifan dan kecepatannya dalam menentukan parameter. Hasil pengujian pada dua DAS memperlihatkan *Tank Model* dapat merepresentasikan hubungan antara hujan minus evapotranspirasi dan debit air dengan menghasilkan kinerja yang sangat baik dilihat dari keseimbangan air dan koefisien determinasi. Teknik optimasi ini telah dikemas dalam bentuk program aplikasi yang siap digunakan dan dikembangkan untuk *Tank Model* dalam struktur yang lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari JSPS-Core University Program in Applied Biosciences, antara The University of Tokyo and Institut Pertanian Bogor 1998-2008.

PUSTAKA

Elhassan, A.M., A. Goto and M. Mizutani. 2001. Combining a Tank Model with a Groundwater Model for Simulating Regional Groundwater Flow in an Alluvial Fan. Trans. Of JSIDRE, No 215, Pages 21-29.

Fujihara, Y., H. Tanakamaru, T. Hatta and A. Tada. 2001. Objective functions for calibration of rainfall-runoff models. Proceeding of Annual Meeting of JSIDRE, Morioka, July 25-27, 2001. Pages: 124-125. (In Japanese)

Fukuda, T. and Y. Nakano. 2001. Collections of hydrologic data for Terauchi Watershed. Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Kyushu University, Japan. (unpublished)

Kadoya, M. 198. Methods for Discharge Analysis. JSIDRE. Japan. Pages: 851-943. (in Japanese) arquardt, D.W. 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. J. Soc. Indust. Appl. Math, 11, 431-441

Sutoyo, M.Yanuar, K. Yoshida and A. Goto. 2000. Prediction of river runoff based onrainfall data using tank model in Cidanau watershed. Proceeding of International Seminar on Environmental Management for Sustainable Rural Life. Bogor 19th, 2000.

Sugawara, M., I. Watanabe, E. Ozaki and Y. Katsuyama. 1986. Tank Model Programs for Personal Computer and the Way to Use. Research Report of National Research Center for Disaster Prevention, No37. Japan. (In Japanese)

Setiawan, B.I. and S. Shiozawa. 1992. Marquardt Algorithm in Pascal Language. Department of Agricultural Engineering laboratory, Bogor Agricultural University. Indonesia. (Unpublished)