

# PEMODELAN OPTIMISASI PEMANFAATAN AIRTAHAN UNTUK IRIGASI YANG BERKELANJUTAN<sup>1</sup>

*(The Model Of Optimum Groundwater Use For Sustainable Irrigation)*

Suhardi<sup>2</sup>, Budi I. Setiawan<sup>3</sup>

## ABSTRACT

The model of optimum groundwater use is developed by considering the environmental, economical and social aspects. The objectives of this model are to optimize groundwater use and to determine the distance between well which comply with those three aspects. The specific objectives of this optimisation are to maximise groundwater use, to irrigate broad sawah area, economic reasonable and to maintain the distance between well in order to avoid social conflict. Determinant approach is done based on the equation of groundwater flow in steady state to achieve groundwater head. The equation is solved numerically by using Solver Add-Ins in Microsoft Office Excel. The validation test of model on experimental result shows determinan coefficient of 0.85. The simulation shows the optimum distance between well is 480 m with 1,056 m<sup>3</sup>/d discharge for each well. If this scenario is applied, farmer will achieve additional income of Rp. 973,521/ha. On that well distance and discharge there well be no negative effect for other groundwater user farmer in that area.

Key Words: *Model, Optimum Groundwater Use, Irrigation, Sustainable.*

---

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

<sup>2</sup> Staf Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, FAPERTA, UNHAS, Makassar. E-mail: [hardi\\_bone@yahoo.com](mailto:hardi_bone@yahoo.com)

<sup>3</sup> Staf Departemen Teknik Pertanian, FATETA, IPB, Bogor. E-mail: [budindra@yahoo.com](mailto:budindra@yahoo.com)

## A. PENDAHULUAN

Airtanah merupakan sumber air bersih yang paling banyak dieksploitasi di seluruh dunia, tak terkecuali Pulau Sulawesi, seperti di Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan (Kusumayudha, 2003). Bahkan pada beberapa Negara, pemanfaatan airtanah sebagai sumber air telah melebihi dari sumber air lainnya seperti di Switzerland's, lebih dari 80% kebutuhan air penduduk berasal dari airtanah (Hartmann dan Michel, 1992 *dalam* Beyerle *et al.*, 1999). Sementara di Cuba, sekitar 70% kebutuhan air disuplai dari airtanah (Ortega *et al.*, 2000).

Mengingat pentingnya airtanah saat ini, dimana pemanfaatannya semakin berkembang baik dari segi jumlah maupun jenis penggunaan, maka dalam pengambilannya perlu memperhatikan aspek keseimbangan lingkungan agar berkelanjutan. Namun kadang pengambilan airtanah tidak sesuai dengan prinsip-prinsip keseimbangan hidrologi yang baik. Hal ini disebabkan karena pemanfaatannya secara bebas dengan biaya murah menggunakan pompa, baik oleh masyarakat maupun pelaku ekonomi dengan tanpa tindakan secara efisien dan efektif, sehingga seringkali menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap kelangsungan dan kualitas sumber daya airtanah. Dampak negatif pemanfaatan airtanah (yang berlebihan) dapat dibedakan menjadi dampak yang bersifat kualitatif (kualitas airtanah) dan kuantitatif (pasokan airtanah).

Dampak penggunaan airtanah sebagai sumber irigasi selain dapat menimbulkan kerusakan lingkungan, juga memiliki resiko timbulnya kerugian akibat penggunaan yang tidak tepat. Disamping itu, penggunaan airtanah sebagai sumber irigasi memiliki keterbatasan seperti debit maksimal yang dapat diambil serta jarak antar sumur yang dapat mengakibatkan tidak optimalnya debit yang dapat diperoleh pada suatu sumur. Debit maksimal harus diperhatikan kaitannya dengan luasan maksimal yang dapat diairi oleh sebuah sumur. Demikian halnya dengan jarak antara sumur, sangat penting kaitannya dengan keberlangsungan usahatani. Jika jarak antar sumur terlalu dekat, maka saling pengaruh antar sumur sangat besar sehingga sebuah sumur tidak dapat mencapai debit maksimal. Di samping itu, kerusakan lingkungan berupa pemampatan akuifer dapat terjadi. Akuifer yang mampat tidak dapat menyediakan air yang maksimal, sehingga produktivitas sumur akan menurun. Akibatnya yaitu penggunaan airtanah untuk irigasi selanjutnya tidak dapat memberikan keuntungan karena luasan yang dapat diairi sudah pasti menyusut.

Berdasarkan kenyataan di lapangan, penggunaan airtanah untuk irigasi belum mempertimbangkan hal-hal tersebut, sehingga penggunaan airtanah tidak optimal dan

berpeluang terjadinya kerusakan lingkungan dan usahatani tidak menguntungkan. Dengan dasar tersebut, maka perlu disusun suatu model optimisasi sebagai dasar dalam pengelolaan airtanah agar pemanfaatannya efektif dan efisien sehingga menguntungkan, dapat memelihara kelestarian lingkungan dan tidak terjadi konflik antar pengguna sehingga usahatani berkelanjutan.

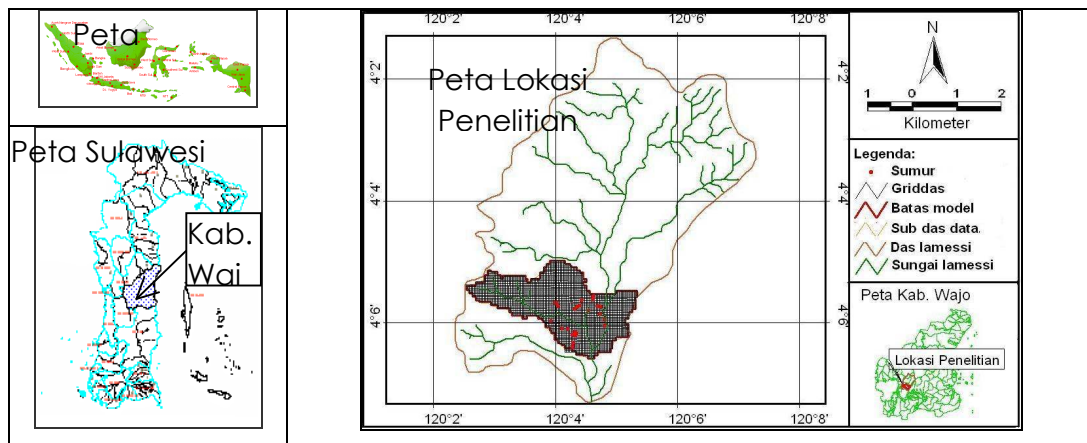
## B. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan suatu model yang dapat digunakan untuk menduga kondisi optimal berdasarkan aspek ekonomi, lingkungan dan sosial dalam pemanfaatan airtanah untuk irigasi agar berkelanjutan.
2. Memaksimalkan pemanfaatan airtanah, mampu mengairi luasan sawah yang luas dan layak secara ekonomi serta menjaga jarak antar sumur untuk menghindari konflik sosial.

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Lokasi Pengambilan Data



Gambar 1 Peta lokasi penelitian.

Pengambilan data untuk pengujian model dilaksanakan pada bulan Januari hingga Agustus 2006 yang berlokasi di Sub DAS Data, Desa Wajoriaja, Kecamatan Tanasitolo, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan dengan luasan sekitar 760,67 ha. Secara geografis terletak antara 4°4'30"- 4°7'20" LS dan 120°2'30"-120°6'46" BT (Gambar 1).

## 2. Penyusunan model optimisasi

Model optimisasi terdiri atas fungsi tujuan dan fungsi pembatas. Model tersebut diselesaikan dengan menggunakan *Solver Add-Ins* pada *Microsoft Office Excel*.

Sebelum memasuki *Solver*, langkah pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan dan memilih variabel keputusan, kendala dan fungsi tujuan dari suatu masalah. Langkah berikutnya adalah memasukkan data fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dalam Excel (Yulianto dan Sutapa, 2005).

Beberapa batas model diantaranya adalah debit minimum dan maksimum, tinggi muka airtanah minimum dan luas cakupan pengairan. Debit maksimum diperoleh dengan cara melakukan pemompaan hingga diperoleh kondisi tunak (*steady*). Debit pada kondisi tersebut merupakan debit maksimum untuk waktu yang tidak terhingga (*sustained yield*) sedangkan tinggi muka airtanah pada kondisi tersebut merupakan tinggi muka airtanah minimum bila posisi muka airtanah dapat kembali ke posisi awal.

### a. Debit Minimum

Debit minimum ditentukan berdasarkan pada kebutuhan air tanaman (kolom air) dan luasan yang harus diairi. Besarnya kebutuhan air tanaman ditentukan oleh efek sifat tanaman terhadap penggunaan air kaitannya dengan koefisien tanaman ( $k_c$ ) yang dikalikan dengan  $ET_o$  yang disebut evapotranspirasi tanaman ( $ET_{crop}$ ).

Nilai  $ET_o$  ditentukan dengan menggunakan perangkat lunak *CropWat 4 Windows versi 4.2* yang dikembangkan oleh Clarke *et al.* (1998).

Kebutuhan air irigasi bersih pada tingkat usahatani dihitung dengan menggunakan persamaan Doorenbos dan Pruitt (1977):

$$I_n = ET_{crop} - Pe - Ge - Wb \quad \dots\dots\dots (1)$$

- di mana:
- $ET_{crop}$  = koefisien tanaman ( $k_c$ ) x  $ET_o$  (evapotranspirasi tanaman acuan)
  - $Pe$  = hujan efektif
  - $Ge$  = kontribusi airtanah
  - $Wb$  = lengas tanah yang tersedia untuk tanaman

### b. Uji Kepulihan

Uji kepulihan dimaksudkan untuk mengetahui kedalaman airtanah setelah dipompa dan dapat pulih kembali dengan teknik sebagai berikut:

- 1) Pemompaan dilakukan secara menerus hingga kondisi tunak (*steady state*) kemudian pemompaan dihentikan.
- 2) Dilakukan pengukuran kenaikan muka airtanah untuk mengetahui waktu pencapaian kondisi pulih.

### 3. Metode Simulasi Model

- a. Simulasi model dilakukan dengan memenuhi segala persyaratan model, baik fungsi tujuan maupun fungsi pembatasnya,
- b. Dari simulasi model dapat diketahui debit maksimum dari suatu sumur, sehingga luasan yang optimal dapat dihitung dengan persamaan:

$$A = \frac{8,64xQ}{ET_{crop}} \dots\dots\dots (2)$$

- di mana:  $A$  = luas optimal (ha)  
 $Q$  = debit maksimum (m<sup>3</sup>/hari)  
 $ET_{crop}$  = kebutuhan air tanaman (mm/hari)

- c. Jarak antar sumur ditentukan berdasarkan luasan yang dapat diairi dengan debit maksimal.

### 4. Validasi

Validitas model ditentukan berdasarkan nilai korelasi antara tinggi muka airtanah hasil pengukuran dan hasil simulasi model dengan analisis korelasi linear (Gaspersz, 1995).

### 5. Penentuan Jarak Antar Sumur

Jarak antar sumur ditentukan berdasarkan pada hasil simulasi yang memberikan debit optimal untuk beberapa jarak antar sumur dan kebutuhan debit untuk memenuhi kebutuhan tanaman seluruh areal setiap jarak antar sumur. Hubungan tersebut digambarkan dalam grafik. Di samping itu, jarak antar sumur dikonversi ke luasan daerah irigasi kemudian dihubungkan dengan kebutuhan air tanaman untuk luasan tersebut, kemudian digambarkan dalam bentuk grafik. Nilai absis berupa jarak pada perpotongan kedua grafik merupakan jarak antar sumur yang optimal.

## D. HASIL

### 1. Model Optimisasi Pengelolaan Airtanah Untuk Irigasi

Fungsi tujuan model yaitu memaksimalkan debit dengan pembatas terdiri atas: 1) aliran airtanah dalam kondisi tunak dengan debit pengambilan tertentu; 2) muka airtanah minimum, berdasarkan pada hasil uji kepulihan; 3) luasan yang harus diairi; dan 4) debit minimum untuk setiap pompa berdasarkan kebutuhan maksimum tanaman. Model disusun dengan asumsi: akuifer bebas, homogen, isotrofik, berdimensi dua dan *steady state*. Secara matematik dituliskan:

Fungsi tujuan:

$$\text{Maksimumkan } Z = \sum_{i,j} Q(i, j) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Fungsi pembatas:

$$T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = -Q(x, y, t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$h \min_{i,j} \leq h_{i,j} \leq h \max_{i,j}$$

$h \min_{i,j} \geq h$  pada kondisi tunak dan dapat kambuh kembali

$$Q \min_{i,j,t} \leq Q_{i,j,t} \leq Q \max_{i,j,t}$$

$$Q_{i,j,t} \geq ETCrop_{i,j,t} + Perc_{sawah} + losses$$

$$A_{i,j} \geq \text{luas minimum layak}$$

di mana:  $Z$  = fungsi tujuan

$h$  = tinggi muka airtanah (m)

$Q$  = debit pengambilan (m<sup>3</sup>/hari)

$S_y$  = koefisien simpanan

$A$  = luas lahan (m<sup>2</sup>)

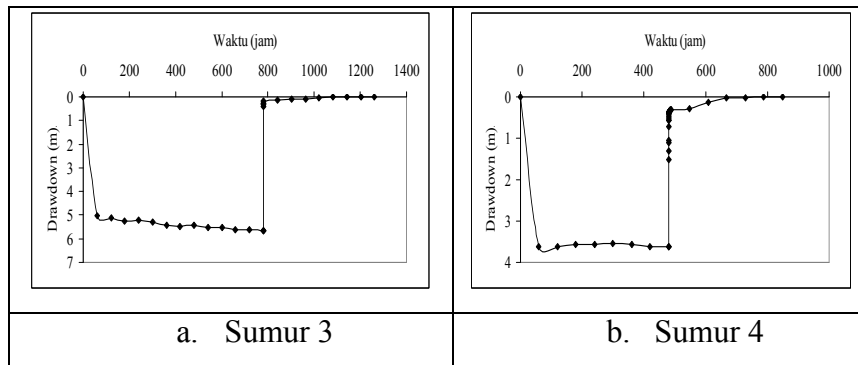
$T$  = transmisivitas (m<sup>2</sup>/hari)

### 2. Pembatas Model

#### a. Muka Airtanah Minimum

Berdasarkan uji kepulihan (*recovery*) seperti ditunjukkan pada grafik kepulihan (Gambar 2a dan 2b) dimana posisi muka airtanah awal akan segera tercapai kembali dalam waktu kurang dari 72 jam untuk sumur 3 dengan penurunan muka airtanah (*drawdown*) hingga 3,75 m dan debit 1,65 lt/dt yang dapat mengairi sekitar 3,10 ha.

Sedangkan untuk menurunkan muka airtanah hingga 5,5 m (sumur 4) yaitu dengan debit pengambilan sebesar 3 lt/dt yang dapat mengairi sekitar 5,64 ha, kondisi pulih dapat dicapai dalam waktu kurang dari 120 jam setelah pemompaan dihentikan.



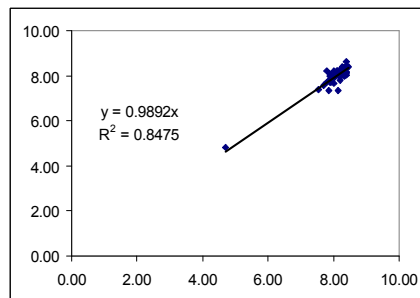
Gambar 2 Uji kepulihan setelah pemompaan untuk sumur 3 dan 4.

### b. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan nilai  $ET_0$  dan curah hujan efektif dari CropWat 4 Windows versi 4.2, diperoleh bahwa kebutuhan irigasi terbesar yaitu 4,60 mm/ha.

### 3. Hasil Uji Validitas Model Aliran Airtanah

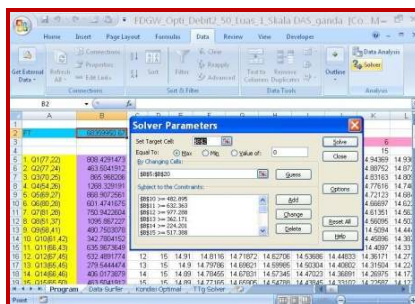
Hasil uji validasi dengan metode grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Hubungan antara Penurunan Muka Airtanah Hasil Pengukuran dengan Model

### 4. Hasil Simulasi Model untuk Posisi Sumur Petani

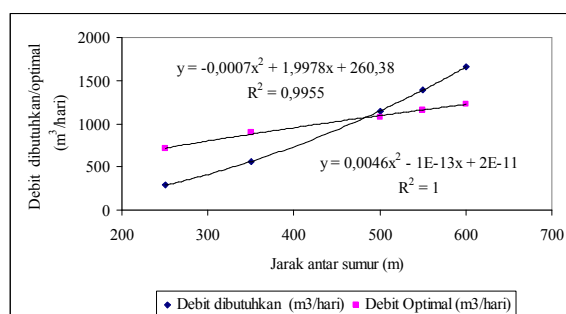
Hasil simulasi model menggunakan Solver seperti pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Tampilan program optimisasi dengan *Solver* yang sudah dieksekusi.

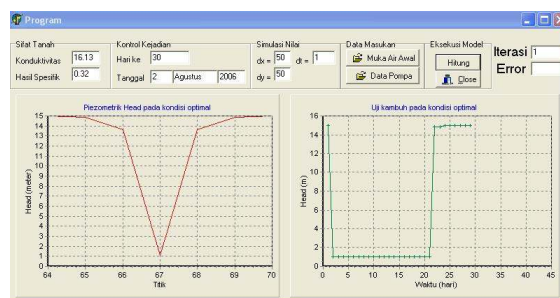
## 5. Jarak antar Sumur Optimal

Kondisi optimal dicapai saat terjadi perpotongan antara persamaan kecenderungan hubungan jarak antara sumur dengan debit yang dibutuhkan tanaman dan persamaan hubungan jarak antara sumur dengan debit optimal pada kondisi tunak dimana muka airtanah pada kondisi tersebut masih dapat pulih. Hasil simulasi model dengan beberapa skenario diperoleh suatu persamaan garis seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan jarak antar sumur dengan debit yang dibutuhkan dan debit optimal

Agar kondisi ini benar-benar optimal, maka perlu dilakukan pengujian dengan uji jari-jari pengaruh dan uji pulih seperti pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6 Hasil uji jari-jari pengaruh dan uji kepulihan pada kondisi optimal



## E. PEMBAHASAN

Karena kondisi pulih dapat dicapai dalam waktu singkat (kurang dari lima hari), hal ini menunjukkan bahwa sistem pengambilan airtanah yang ada sekarang belum mencapai debit optimal sehingga perlu memaksimalkan debit hingga kondisi optimal agar dapat meminimalkan biaya (biaya pengadaan sumur dan operasional mesin). Akibatnya adalah total biaya operasional pompa besar sehingga pendapatan usahatani budidaya padi dengan irigasi airtanah tidak maksimal. Untuk itu perlu suatu upaya agar kondisi optimal dapat diketahui melalui sebuah model. Model ini bertujuan untuk memaksimalkan debit dengan pembatas berupa head minimum dan kebutuhan airtanaman.

Dalam simulasi model, besar kebutuhan air tanaman yang digunakan adalah kebutuhan air maksimal selama pertumbuhan tanaman padi yaitu 4,60 mm/hari. Hal ini dilakukan agar tidak ada masa selama pertumbuhan tanaman yang memungkinkan terjadinya defisit air.

Namun sebelum dilakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan uji validasi untuk menyatakan kesahihan model aliran airtanah dan metode penyelesaiannya dan kebenaran karakteristik akuifer yang diperoleh. Dan berdasarkan uji korelasi, koefisien determinasi diperoleh sebesar 0,848. Dengan demikian, model dinyatakan sah atau dapat digunakan di tempat lain dengan ketentuan harus dilakukan uji pemompaan untuk menentukan karakteristik akuifernya.

Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa sumur petani memiliki perbedaan debit optimal. Hal ini disebabkan karena perbedaan jarak antar sumur. Debit optimal terbesar adalah 1.268,33 m<sup>3</sup>/hari untuk mengairi 27,58 ha dengan asumsi kebutuhan air irigasi 4,60 mm/hari dan debit terkecil adalah 279,54 m<sup>3</sup>/hari untuk mengairi 6,08 ha.

Karena kondisi ini belum merupakan kondisi optimal yang sebenarnya, maka dilakukan simulasi untuk mendapatkan jarak antara sumur yang dapat memberikan keuntungan terbesar karena dapat meminimalkan biaya sementara kebutuhan air tanaman terpenuhi, lingkungan tidak mengalami penurunan kualitas karena pengambilan masih dalam batas aman dan tidak menimbulkan konflik antar pengguna karena tidak terjadi saling pengaruh.

Berdasarkan persamaan garis pada Gambar 5, perpotongan persamaan garis debit yang dibutuhkan dengan debit optimal terjadi pada jarak antar sumur sejauh 479,30 m atau untuk satu sumur mengairi sawah seluas 22,97 ha dengan debit sebesar 1.056,39 m<sup>3</sup>/hari. Pada

kondisi tersebut usahatani irigasi airtanah pada daerah penelitian memberikan keuntungan terbesar karena meminimalkan jumlah sumur sehingga biaya pengadaan dan operasional sumur minimal. Jika luasan pada kondisi optimal diterapkan, maka petani akan mendapatkan tambahan pendapatan sebesar Rp. 973,521/ha. Ini dapat diperoleh karena adanya penghematan biaya operasi pompa akibat bertambahnya luasan yang diairi untuk satu buah sumur dari 7 ha/pompa menjadi 22,97 ha/pompa.

Kondisi tersebut masih perlu diuji tentang jari-jari pengaruh antar sumur dan uji kepulihan sehingga kondisi tersebut benar-benar merupakan kondisi optimal yang dapat menjamin tidak terjadinya kerusakan lingkungan. Pada Gambar 6 disajikan hasil uji jari-jari pengaruh dan hasil uji kepulihan.

Hasil uji jari-jari pengaruh menunjukkan bahwa jarak antar sumur pada kondisi optimal lebih besar dari dua kali jari-jari pengaruh akibat pemompaan sehingga antar sumur tidak saling mempengaruhi. Dengan demikian, maka kemungkinan terjadinya konflik antar pengguna airtanah tidak akan terjadi. Sedangkan hasil uji kepulihan menunjukkan bahwa kondisi pulih terjadi setelah tiga hari pemberhentian pemompaan. Hal ini menunjukkan bahwa pengambilan dapat dilakukan hingga debit sebesar 1.056,39 m<sup>3</sup>/hari yang dapat mengairi 22,97 ha.

## **F. KESIMPULAN**

1. Model dinyatakan valid dengan koefisien determinasi sebesar 0,848.
2. Kondisi optimal diperoleh ketika jarak antara sumur sejauh 479,30 m atau untuk satu sumur mengairi sawah seluas 22,97 ha dengan debit sebesar 1.056,39 m<sup>3</sup>/hari.
3. Penerapan kondisi optimal dapat memberikan tambahan pendapatan petani sebesar Rp. 973,521/ha jika dibandingkan sistem yang diterapkan sekarang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beyerle, U., W. Aeschbach-Hertig, M. Hofer, D.M. Imboden, H. Baur and R. Kipfer, 1999. Infiltration of river water to shallow aquifer investigated with  $^3\text{H}/^3\text{He}$ , noble gases and CFCs. *J Hydrol* 220: 169-185.
- Clarke, D., M. Smith and K.E. Askari, 1998. CropWat for Windows: User Guide. <http://72.14.235.104/Manuales/CROPWAT4W.pdf> [19 Mei 2007].
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977. *Guidelines for Predicting Crop Water requirements*. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. Rome: FAO-UN.
- Gaspersz, V., 1995. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Bandung: Tarsito. Hal: 1-35.
- Kusumayudha, S.B. 2003. Mengelola Airtanah, Perlu Model yang Pas <http://publik.geopangea.or.id/saribk/artikel.shtml> [6 Feb 2006].
- Ortega, R.M.V., J.G. Espinosa and R. Spandre, 2000. An alternative method to evaluate aquifer permeability. *J Env Hydrol* 8(8):1-8.
- Yulianto, H.D. dan L.N. Sutapa, 2005. *Riset Operasi dengan Excel*. Yogyakarta: ANDI