

Vol. 6, No. 2, Oktober 2011

ISSN : 1907-5545

# JURNAL IRIGASI



Jurnal Irigasi	Vol. 6	No.2	Hal. 80 - 148	Bekasi Oktober 2011	ISSN 1907-5545
Terakreditasi B LIPI No. 270/AU1/P2MBI/05/2010					

ISSN : 1907-5545

Terakreditasi B - SK Kepala LIPI

Nomor : 270/AU<sub>1</sub>/P2MBI/05/2010

# JURNAL IRIGASI

Vol.6 No.2, Oktober 2011

Jurnal Irigasi merupakan publikasi ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, pengembangan, kajian atau gagasan dalam bidang ke-irigasi-an. Terbit pertama kali tahun 1986 dengan nama Jurnal Informasi Teknik dan pada tahun 2006 berganti nama menjadi Jurnal Irigasi yang diterbitkan 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan Juni dan November. Dengan komitmen terus menjaga dan meningkatkan kualitas dalam setiap terbitannya, mulai tahun 2011 penerbitan Jurnal Irigasi mempercepat penebitan dalam setiap tahunnya menjadi bulan **Mei** dan **Oktober**. Jurnal Irigasi terbuka untuk umum, peneliti, akademisi, praktisi dan pemerhati masalah irigasi.

## **Pembina**

Dr. Ir. Arie Setiadi Moerwanto, M. Sc

## **Penanggung jawab**

Dr. Ir. Isdiyana, CES

## **Penelaah Ahli/Mitra Bestari**

DR. A. Hafied A. Gany, M.Sc (Bidang Irigasi)

Prof. R. Ir. Dyah Rahayu Pangesti, Dipl.HE (Bidang Irigasi)

Prof. Dr. Ir. Sigit Supadmo Arif, M.Eng (Bidang Irigasi)

Prof. Dr. Ir. Efendi Pasandaran (Bidang Pertanian)

Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, MS (Bidang Irigasi)

Dr. Ir. Yanuar J Purwanto, M.Si (Bidang Irigasi)

Ir. Sukrasno, Dipl.HE (Bidang Irigasi)

Dr. Ir. Lily Montarcih L., M.Sc (Bidang Irigasi)

Dr. Simon S. Brahmana DEA. (Bidang Teknik Lingkungan Sumber Daya Air)

## **Redaktur**

Santi Lestari, S. Sos

## **Penyunting/Editor Ahli**

Ir. Damar Susilowati, M.Sc (Peneliti Utama Bidang Irigasi)

Subari, ME (Peneliti Madya Bidang Irigasi)

Ir. Muchammad Muqorrobin (Perekayasa Madya Bidang Irigasi)

## **Penyunting/Editor Pelaksana**

Ir. Dwi Kristianto, M.Eng

Marasi Deon Joubert, ST

## **Sekretariat**

Midiah Sulastry Abubakar, ST

Dewi Arifianty Agustina, SP

Suprptini Soerojo

N. Dedah Jubaedah

Jurnal Irigasi diterbitkan oleh Balai Irigasi, Puslitbang SDA, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum.

## **Alamat Redaksi/Penerbit :**

Balai Irigasi, Puslitbang SDA, Badan Litbang, Kementerian Pekerjaan Umum

Jl. Cut Meutia, Kotak Pos 147 Bekasi 17113

Telp.: 021-8801365, 8801345, Fax. : 021-8801345, E-mail : jurnalirigasi@yahoo.co.id

# JURNAL IRIGASI

Vol.6 No.2, Oktober 2011

	Halaman
<b>Daftar Isi</b>	i
<b>Editorial</b>	ii
<b>OPTIMASI PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK IRIGASI DI KAB. WAJO, PROVINSI SULAWESI SELATAN, INDONESIA (OPTIMIZATION OF GROUNDWATER UTILIZATION FOR IRRIGATION IN WAJO DISTRICT, SOUTH SULAWESI PROVINCE OF INDONESIA)</b>	80 - 89
<b>Oleh :</b> <i>Suhardi, Budi Indra Setiawan, Hidayat Pawitan, Roh Santoso Budi Waspodo</i>	
<b>STRATEGI ALOKASI AIR TANAH UNTUK AIR MINUM DAN IRIGASI DI DAS CIMANUK (GROUNDWATER ALLOCATION STRATEGY FOR DRINKING WATER AND IRRIGATION IN THE CIMANUK RIVER BASIN)</b>	90 - 103
<b>Oleh :</b> <i>Heni Rengganis</i>	
<b>POTENSI KEARIFAN LOKAL DALAM KELEMBAGAAN PENGELOLA IRIGASI DI PULAU JAWA (POTENCY OF LOCAL WISDOM ON IRRIGATION MANAGEMENT INSTITUTION IN JAVA)</b>	104 - 113
<b>Oleh :</b> <i>Dewi Arifianty Agustina dan Subari</i>	
<b>PENDEKATAN HIDRODINAMIKA DALAM PENGEMBANGAN JARINGAN TATA AIR DR TERUSAN RAYA KABUPATEN KAPUAS, KALIMANTAN TENGAH (HYDRODYNAMIC APPROACH ON DEVELOPMENT OF WATER MANAGEMENT SCHEME IN TERUSAN RAYA SWAMP AREA KAPUAS DISTRICT-KALIMANTAN TENGAH)</b>	114 - 128
<b>Oleh :</b> <i>Budi L. Triadi, Dery Indrawan, Rusdiana</i>	
<b>KALIBRASI MODEL SWAT DAN PEMODELAN KETERSEDIAAN DAN PERMINTAAN AIR DI DAERAH TANGKAPAN AIR IRIGASI GUMBASA (SWAT MODEL CALIBRATING AND MODELING OF WATER AVAILABILITY AND WATER DEMAND IN GUMBASA-PALU IRRIGATION CATCHMENT)</b>	129 - 139
<b>Oleh :</b> <i>N. Mulyana, C. Kusmana, K. Abdulah, L.B. Prasetyo</i>	
<b>EVALUASI ALGORITMA FAZI SEDERHANA SEBAGAI METODE KENDALI PINTU SORONG (EVALUATION OF SIMPLE FUZZY ALGORITHM AS SLUICE GATE CONTROL METHOD)</b>	140 - 148
<b>Oleh :</b> <i>Hanhan A. Sofiyuddin, Satyanto K. Saptomo, Budi I. Setiawan</i>	

**OPTIMASI PEMANFAATAN AIR TANAH UNTUK IRIGASI DI  
KABUPATEN WAJO, PROVINSI SULAWESI SELATAN, INDONESIA**  
*(THE OPTIMISM OF GROUND WATER UTILIZATION FOR IRRIGATION IN  
WAJO DISTRICT, SOUTH SULAWESI PROVINCE OF INDONESIA)*

Oleh :

**Suhardi<sup>1,2</sup>, Budi Indra Setiawan<sup>3</sup>, Hidayat Pawitan<sup>4</sup> dan Roh Santoso Budi Waspodo<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar, <sup>2</sup>Fisika Tanah dan Hidrologi. Dept. Teknik Sipil & Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, <sup>3</sup>Hidrologi & Sumber Daya Air. Laboratorium Hidrometeorologi, Institut Pertanian Bogor, <sup>4</sup>Departemen Teknik Sipil & Lingkungan, Institut Pertanian Bogor

<sup>5</sup>Komunikasi penulis, email : [rafis\\_hardi@yahoo.com](mailto:rafis_hardi@yahoo.com)

Naskah ini diterima pada 29 Agustus 2011; revisi pada 12 September 2011;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 20 September 2011

**ABSTRACT**

*The ground water in Siwa-Pompanua basin of Wajo Regency has a coverage area of 93,900 ha and a potential debit of 379 millions m<sup>3</sup>/yr. The ground water has been utilized since 1995 to irrigate rice fields managed by farmers themselves. Without well understanding and proper management of the ground water it is easy to witness that many problems have been accumulated. This study aims for optimizing the utilization of ground water for irrigating the rice fields with taking into account socio-economical and environmental aspects. Herewith, mathematical models were developed based on the water flow equations, crop water requirement and combined with socio-economical analysis and preventing degradation of the aquifers. The water flow model was compared to measured data and resulted in a good conformity. Based on the daily water requirement of 46 m<sup>3</sup>/ha and with preventing excessive drawdown, the optimum discharge of each well differs with the others. It's values are between 279 m<sup>3</sup>/d and 1,268 m<sup>3</sup>/d and the command areas range from 10 ha to 28 ha, respectively. A neighboring well should be in the radius of about 479 m away. In the average, farmers would gain an extra income if they manage the ground water in this sustainable way.*

**Keywords:** *ground water, socio-economy, environment, the optimism*

**ABSTRAK**

Air tanah di cekungan Siwa-Pompanua, Kabupaten Wajo memiliki luas 93.900 ha dengan potensi debit 379 juta m<sup>3</sup>/th. Air tanah telah digunakan sejak tahun 1995 untuk mengairi sawah yang dikelola oleh petani sendiri. Tanpa pengetahuan yang memadai dan manajemen air tanah yang tepat rawan menimbulkan banyak masalah. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan air tanah untuk mengairi sawah dengan memperhatikan aspek-aspek sosio-ekonomis dan lingkungan. Dalam hal ini, dikembangkan model matematika yang berdasarkan pada persamaan aliran air, kebutuhan air tanaman dan dikombinasikan dengan analisis sosial ekonomi dan mencegah degradasi terhadap akuifer. Model aliran air divalidasi dengan membandingkan data hasil pengukuran dan hasil model. Berdasarkan kebutuhan air tanaman per hari sebesar 46 m<sup>3</sup>/ha, dan mencegah pengambilan air tanah yang berlebihan, debit optimum setiap sumur berbeda satu dengan yang lain. Debit optimal antara 279 m<sup>3</sup>/hari dan 1268 m<sup>3</sup>/hari untuk masing-masing luasan secara berturut-turut adalah 10 ha dan 28 ha. Jarak antar sumur harus dalam radius sekitar 479 m. Pada kondisi ini, petani akan mendapatkan peningkatan penghasilan jika mereka mengelola air tanah secara berkelanjutan.

**Kata kunci:** *air tanah, sosio-ekonomi, lingkungan, optimasi*

## I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi konversi atau alih fungsi lahan dari sawah padi produktif menjadi lahan nonpertanian. Di antara 1999-2003 saja terdapat sekitar 563.150 ha sawah dikonversi menjadi bentuk penggunaan lahan lain. Di sisi lain, Pemerintah Indonesia terus mengupayakan meningkatkan produksi padi hasil panen siap giling misalnya dari 54.660.000 ton pada tahun 2006 menjadi 58,18 juta ton pada tahun 2007. Hal ini kemudian akan tergantung pada intensifikasi lahan kering yang kurang produktif dengan sangat bergantung pada pemanfaatan air tanah.

Kabupaten Wajo di Sulawesi Selatan (lihat Gambar 1) adalah contoh dimana sawah sangat tergantung pada pemanfaatan air tanah sejak tahun 1995. Sekarang, total sawah yang ada dalam Cekungan Siwa-Pompanua seluas 65.780 ha atau (75%) diklasifikasikan sebagai lahan kering dari total luas cekungan yaitu 86.142 ha. Cekungan tersebut merupakan akuifer produktif yang memiliki potensi debit sekitar 379 m<sup>3</sup>/th (Burhanul, 2004).

Saat ini, peningkatan pengambilan air tanah telah menarik perhatian banyak pihak berkaitan dengan keberlangsungan penggunaan salah satu sumber air tersebut yang rentan terhadap kerusakan. Di Kabupaten Wajo sekarang ada sekitar 2.037 sumur, dan dalam sebuah kawasan tertentu saja ada 16 sumur yang meliputi wilayah pengairan seluas 232 ha. Kapasitas pemompaan berkisar antara 280 - 1.190 liter per menit. Hingga saat ini, belum ada keluhan dari petani tentang pengaruh produktivitas sumurnya akibat

pemompaan sumur di sekitarnya. Namun para petani telah sadar bahwa akibat pengambilan air tanah secara progresif menyebabkan posisi air tanah semakin dalam hingga mencapai 25-50 m sehingga diperlukan perlakuan khusus dan metode yang berbeda dengan metode yang selama ini mereka terapkan. Apa yang dihadapi petani sekarang adalah mereka harus mengalokasikan lebih banyak uang untuk membeli bahan bakar untuk pompa mereka untuk mendapatkan jumlah air yang sama seperti sebelumnya untuk luasan yang sama. Membuat sumur yang lebih dalam adalah merupakan suatu bentuk persaingan yang tidak diinginkan, yang mana dapat menimbulkan terjadinya konflik sosial dalam waktu yang tidak terlalu lama.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan air tanah untuk mengairi sawah dengan memperhatikan aspek-aspek sosio-ekonomis dan lingkungan. Sehingga dalam pencapaian target produksi beras, tidak disertai dengan terjadinya degradasi air tanah dan timbulnya konflik sosial.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Perkembangan Model Optimasi Pemanfaatan Air Tanah

Upaya untuk memadukan seluruh komponen yang berkaitan dengan optimasi pemanfaatan air tanah telah banyak diterapkan oleh peneliti seperti pada Tabel 2 (Wasposito, 2001). Namun dalam penelitian yang ada belum memadukan seluruh komponen optimasi, sehingga masih diperlukan suatu upaya untuk memperbaiki metode penelitian tersebut.

**Tabel 1** Beberapa model optimasi air tanah untuk irigasi (Wasposito, 2001 dan Suhardi, 2008)

No	Model	Komponen														
		Q	H	A	C	U	T	R	S <sub>0</sub>	r	f	h <sub>c</sub>	p	h <sub>l</sub>	E	s <sub>0</sub>
1	Gorelick (1983)	√	√	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-
2	Willis dan Liu (1984)	√	√	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-
3	Kinzelbach (1986)	√	√	-	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	-
4	Heckele (1988)	√	√	-	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	-
5	Mays dan Tang (1986)	√	-	-	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	-
6	Finney, et al (1992)	√	√	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-
7	Herlina, dkk (1997)	√	√	-	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	-
8	Nishikawa (1998)	√	√	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-
9	IRRI (1990)	√	-	-	-	√	-	-	-	-	√	√	√	√	√	-
10	Wasposito (1993)	√	-	-	-	√	-	-	-	-	√	√	√	√	√	-
11	Ardani (1997)	√	-	-	-	√	-	-	-	-	√	√	√	√	√	-
12	Wasposito, dkk (2001)	√	√	√	-	-	√	√	√	-	√	√	√	√	√	-
13	Suhardi (2008)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Keterangan Tabel :  $Q$  adalah debit sumur bor (lt/dt);  $h$  adalah head atau tinggi muka air tanah (m);  $A$  adalah luas lahan (ha);  $C$  adalah biaya (harga) airbumi (Rp/m<sup>3</sup>);  $U$  adalah keuntungan (Rp/ha);  $T$  adalah transmisivitas (m<sup>2</sup>/dt);  $R$  adalah resapan (m<sup>3</sup>/thn);  $S_y$  adalah hasil spesifik (tidak berdimensi);  $r$  adalah jari-jari pengaruh sumur (m);  $f$  adalah kebutuhan air tanaman padi (mm);  $h_e$  adalah curah hujan efektif (mm/hari);  $p$  adalah kebutuhan air untuk pengolahan tanah (mm/hari);  $h_j$  adalah curah hujan (mm/hari);  $e$  adalah efisiensi total dan  $sr$  adalah sumber resapan.

## 2.2 Dasar Pengembangan Model Optimasi

Persamaan aliran air tanah disusun berdasarkan persamaan kontinuitas dan persamaan Darcy's. Persamaan kontinuitas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$M_m - M_{out} = \Delta M \quad (1)$$

Persamaan kontinuitas ditinjau sebagai sistem aliran air tanah tiga dimensi :

$$-\frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_z}{\partial z} \pm R = -S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

Berdasarkan asumsi Dupuit, total head arah  $z$  pada semua titik dalam sisi  $x$  dan  $y$  adalah konstan, sehingga  $V_z = 0$ . Dengan demikian, maka tinjauan hanya dua dimensi yaitu dalam arah  $x$  dan  $y$ , sehingga persamaan (2) menjadi :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = S \frac{\partial h}{\partial t} \pm R \quad (3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan Darcy's untuk  $q_x$  dan  $q_y$  dan dibagi dengan  $-T \nabla^2 x^2 y$ , maka persamaan (3) menjadi :

$$T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} \pm R(x, y, t) \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa aliran air tanah dipengaruhi oleh: 1) Gradien hidraulik ( $dh/dx$  dan  $dh/dy$ ); 2) Sifat akuifer (transmisivitas dan storativitas); 3) Resapan (*recharge*); 4) Pengambilan (*discharge*) dan 5) Storativitas ( $S$ ).

Transmisivitas akan berubah akibat perubahan head pada akuifer tak tertekan. Atas dasar tersebut, maka transmisivitas disubstitusi dengan menggunakan konduktivitas yang tidak berubah akibat perubahan head. Storativitas hanya pada akuifer tertekan, sedangkan untuk akuifer tak tertekan digunakan specific yield (Bear and Verruijt, 1987). Hubungan antara konduktivitas dan transmisivitas yang merupakan fungsi dari head dirumuskan sebagai berikut:

$$T = K h \quad (5)$$

Dengan mensubstitusi transmisivitas dengan konduktivitas dan storativitas dengan menggunakan specific yield, maka persamaan (4) menjadi:

$$K h \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \pm R(x, y, t) \quad (6)$$

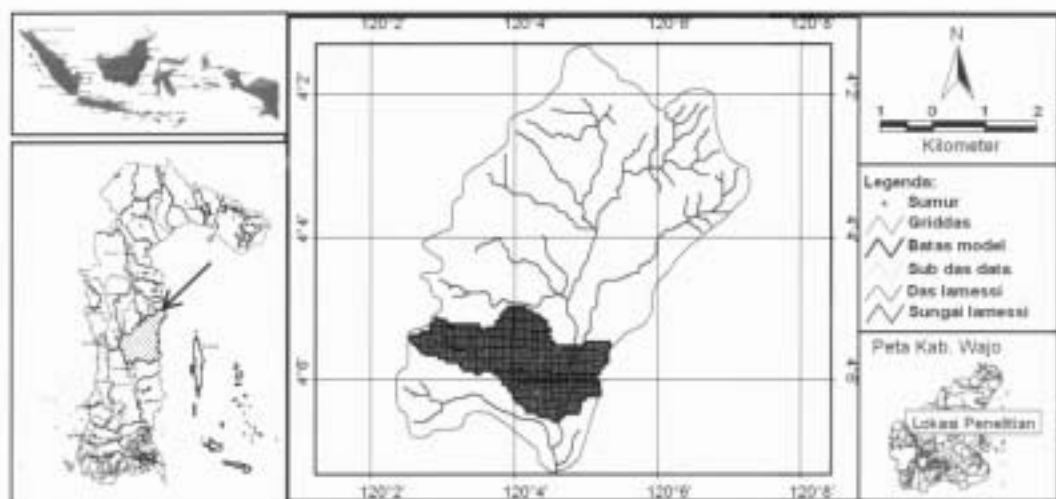
Dalam kondisi homogen dan isotropik, maka persamaan (6) untuk aliran air tanah pada sumur dapat dituliskan menjadi (Todd, 1995):

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \pm R(r, t) \quad (7)$$

## III METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan Tempat

Wilayah kajian ini ditunjukkan dalam Gambar 1, berada pada koordinat (120:2:30-120:6:46 BT, 04: 4:30 - 04:07:20 LS) dengan luas 760 Ha yang merupakan sawah tadah hujan di Kabupaten Wajo dan penelitian dilaksanakan dari bulan Januari hingga bulan Agustus 2006.



**Gambar 1** Sudut kiri atas adalah negara Indonesia, pojok kiri bawah adalah Sulawesi Selatan, di tengah adalah bagian dari Cekungan Siwa Pompanua dan daerah yang diarsir adalah wilayah penelitian

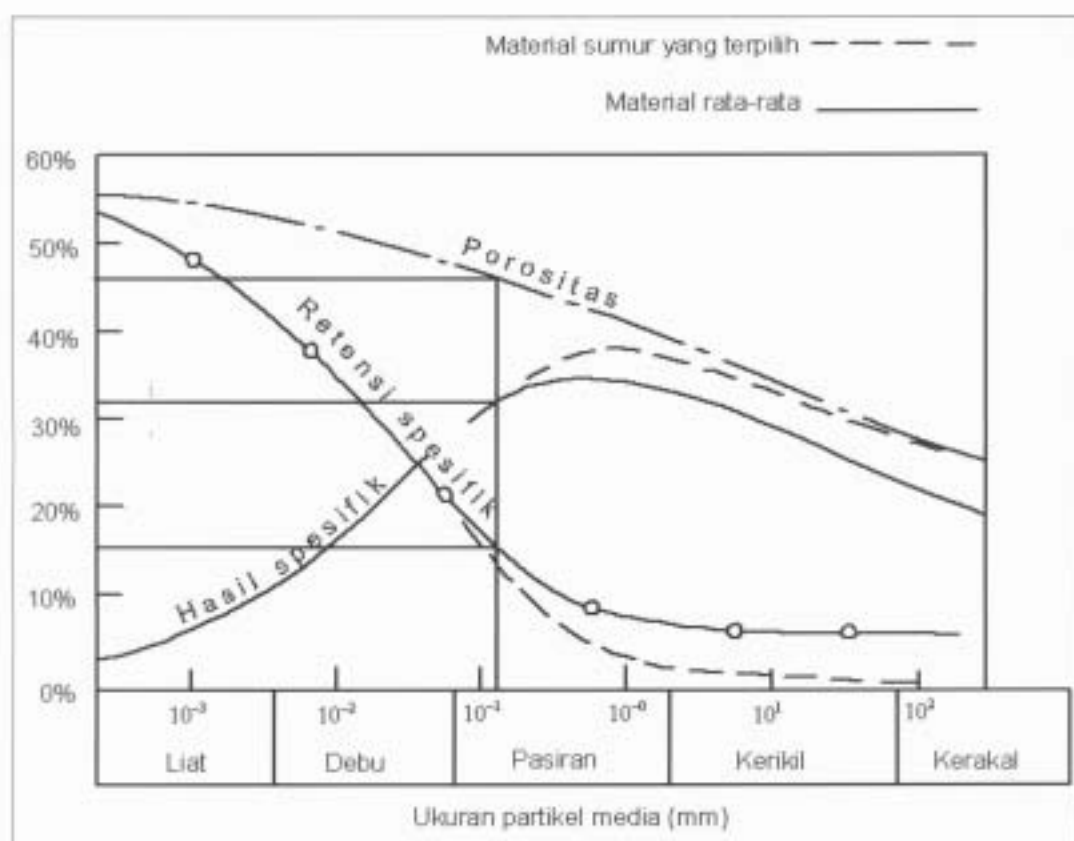
### 3.2 Penentuan Karakteristik Akuifer

Karakteristik akuifer terdiri atas ketebalan akuifer, konduktivitas hidraulik, transmisivitas, hasil spesifik, retensi spesifik dan storativitas. Ketebalan dan posisi akuifer diduga dengan melakukan interpretasi peta litologi yang diperoleh dari P2AT (Proyek Pengelolaan Air Tanah) Sulawesi Selatan tahun 2006. Hasil interpretasi litologi yang didasarkan pada tahanan jenis dihubungkan dengan data geologi, hidrogeologi, dan penampang litologi pada beberapa sumur bor, maka ketebalan dan posisi akuifer dapat diduga. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap pemompaan untuk mengetahui konduktivitas hidraulik dengan menggunakan persamaan berdasarkan asumsi Dupuit untuk kondisi *steady state* sebagai berikut:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = K \cdot \frac{h}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial h}{\partial r} \right) + q \quad (8)$$

dimana:  $r$  adalah jari-jari pengaruh sumur (L atau m);  $S_s$  adalah hasil spesifik akuifer (tidak berdimensi);  $K$  adalah konduktivitas hidraulik akuifer ( $LT^{-1}$  atau m/s);  $h$  adalah head atau muka air tanah (L atau m); dan  $q$  adalah volume pemompaan per satuan luas selama waktu tertentu ( $LT^{-1}$  or m/s).

Nilai konduktivitas hidraulik rata-rata yang diperoleh digunakan untuk memprediksi hasil spesifik, retensi spesifik dan storativitas, dimana sebelumnya dilakukan pendekatan hubungan antara konduktivitas hidraulik dengan tekstur akuifer. Setelah tekstur diketahui, maka ukuran partikel akuifer dapat diketahui dengan menggunakan pengklasifikasian berdasarkan USDA (Hillel, 1980). Selanjutnya hasil spesifik, retensi spesifik dan storativitas dapat diketahui berdasarkan ukuran partikel akuifer dengan menggunakan kurva (Bear dan Verruijt, 1987) berikut:



Gambar 2 Hubungan antara hasil spesifik, retensi spesifik dan porositas (Bear dan Verruljt, 1987).

Karakteristik akuifer yang perlu diketahui dalam penggunaan persamaan aliran air tanah untuk menentukan kondisi optimal adalah konduktivitas hidraulik, hasil spesifik, dan tahanan spesifik. Disamping itu, pengujian dilakukan dengan debit pompa 145 m<sup>3</sup>/hari dilakukan untuk mendapatkan konduktivitas hidraulik yang konstan sehingga dicapai kondisi tunak (*steady state*), kemudian digunakan persamaan aliran air tanah dalam sistem koordinat bola (persamaan 8) dengan diameter sumur 4 inci.

### 3.3 Penyusunan Model Optimisasi

Model optimisasi terdiri atas fungsi tujuan dan fungsi pembatas sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

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

Fungsi pembatas:

$$T \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = -Q(x, y, t) \quad (10)$$

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

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

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

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

$A_{ij}$  = luas minimum layak

dimana:  $Z$  adalah fungsi tujuan;  $h$  adalah tinggi muka air tanah (m);  $Q$  adalah debit pengambilan (m<sup>3</sup>/hari);  $S_y$  adalah koefisien simpanan;  $A$  adalah luas lahan (m<sup>2</sup>) dan  $T$  adalah transmisivitas (m<sup>2</sup>/hari).

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 air tanah minimum dan luas cakupan pengairan.

### 1. Debit maksimum dan tinggi muka air tanah minimum

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 air tanah pada kondisi tersebut merupakan tinggi muka air tanah minimum apabila posisi muka air tanah dapat kembali ke posisi awal.

### 2. Debit minimum

Debit minimum ditentukan berdasarkan pada kebutuhan air tanaman (kolom air) pada fase kebutuhan air tanaman tertinggi dan luasan yang harus diairi untuk setiap sumur. Besarnya kebutuhan air tanaman ditentukan oleh efek sifat tanaman terhadap penggunaan air kaitannya dengan koefisien tanaman ( $k_c$ ) yang dikalikan dengan  $ET_0$  yang disebut evapotranspirasi tanaman ( $ET_{crop}$ ).

Nilai  $ET_0$  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):

$$I_n = ET_c - Pe_o - Ge_p - Wb \quad (11)$$

dimana:  $I_n$  adalah kebutuhan air irigasi;  $ET_{crop}$  adalah  $(k_c) \times ET_0$ ;  $k_c$  adalah koefisien tanaman;  $ET_0$  adalah evapotranspirasi tanaman acuan;  $Pe$  adalah hujan efektif;  $Ge$  adalah kontribusi air tanah; dan  $Wb$  adalah lengas tanah yang tersedia untuk tanaman.

### 3. Uji kepulihan

Uji kepulihan dimaksudkan untuk mengetahui kedalaman air tanah saat pemompaan dilakukan untuk mencapai debit maksimum dalam waktu tak terhingga, namun setelah dihentikan posisi

air tanah kembali ke posisi sebelum pemompaan. Uji kepulihan dilakukan dengan teknik sebagai berikut:

- Pemompaan dilakukan secara menerus hingga kondisi tunak (*steady state*) kemudian pemompaan dihentikan.
- Dilakukan pengukuran kenaikan muka air tanah hingga posisi sebelum pemompaan untuk mengetahui waktu pencapaian kondisi pulih.

## 3.4 Metode Simulasi Model

Persamaan (9) dan (10) digunakan untuk mensimulasikan penurunan muka air tanah ( $h$ ) dengan tujuan untuk memaksimalkan debit pemompaan ( $q$ ) dimana penurunan muka air tanah berada di bawah batas toleransi ( $h \leq h_{max}$ ). Dengan demikian, nilai  $q$  harus lebih besar dari kebutuhan air tanaman ( $ET_{crop}$ ). Memaksimalkan debit pemompaan berarti memperbesar wilayah pengaruhnya, namun harus tetap dijaga agar tidak mempengaruhi debit pompa di sekitarnya.

Untuk tinjauan secara ekonomi, diasumsikan bahwa bertambahnya debit akan memperbesar luasan irigasi sehingga meningkatkan pendapatan petani. Indikator ekonomi akan diberikan dalam bentuk nilai B/C rasio, dimana irigasi air tanah dianggap layak apabila B/C rasio lebih besar dari 1 (satu).

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

$$A = \frac{8,64 \times Q}{ET_{crop}} \quad (12)$$

dimana:  $A$  adalah luas optimal (ha);  $Q$  adalah debit maksimum ( $m^3/hari$ ); dan  $ET_{crop}$  adalah kebutuhan air tanaman ( $mm/hari$ ).

## 3.5 Validasi Model

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

### 3.6 Penentuan Jarak Optimal antar Sumur

Jarak antar sumur ditentukan berdasarkan 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, lalu digambarkan kembali dalam bentuk grafik. Kedua persamaan grafik tersebut disamakan untuk menentukan jarak antar sumur yang optimal.

## IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Akuifer

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan sumur pantau sebanyak dua buah dengan jarak masing-masing 57,10 m dan 149,10 m dari sumur uji. Dari pengujian diperoleh penurunan muka air tanah (drawdown) pada sumur pantau 1 ( $s_1 = 0,64$  m), dan pada sumur pantau 2 ( $s_2 = 0,54$  m). Kondisi ini diperoleh ketika debit pemompaan sebesar 145,15 m<sup>3</sup>/hari. Nilai konduktivitas hidraulik seperti pada Tabel 2. Konduktivitas hidraulik diperoleh dengan menggunakan *solver* yaitu sebesar 16,13 m/hari.

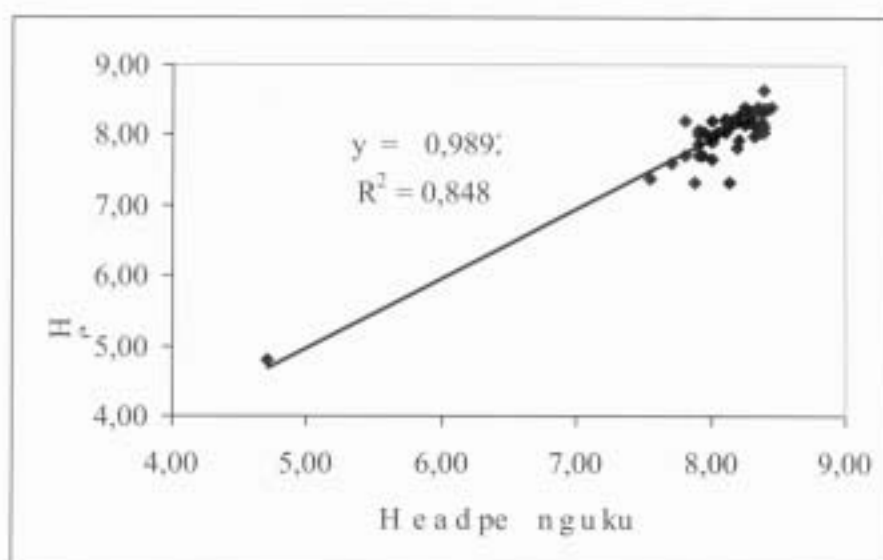
Tabel 2 Konduktivitas hidraulik tiap pengamatan

Waktu (jam)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$r_1$ (m)	$r_2$ (m)	Q (m <sup>3</sup> /hr)	Konduktivitas hidraulik (m/hr)
1	14,43	14,52	57,10	149,10	136,51	16,02
2	14,40	14,49	57,10	149,10	136,51	16,05
4	14,33	14,42	57,10	149,10	136,51	16,13
24	14,29	14,38	57,10	149,10	136,51	16,17
48	14,28	14,37	57,10	149,10	134,78	15,98
72	14,25	14,33	57,10	149,10	133,06	17,79
96	14,22	14,30	57,10	149,10	132,19	17,71
120	14,20	14,28	57,10	149,10	131,33	17,62
144	14,17	14,26	57,10	149,10	135,65	16,21
168	14,01	14,11	57,10	149,10	145,15	15,78
192	14,12	14,22	57,10	149,10	128,74	13,89
Rata-rata						16,30

Dengan diketahuinya nilai konduktivitas hidraulik sebesar 16,13 m/hari, maka akuifer termasuk jenis pasir (Todd, 1995). Jenis akuifer tersebut sesuai dengan jenis akuifer pada peta litologi dari P2AT. Berdasarkan pengklasifikasian ukuran partikel dalam USDA (Hillel, 1980), ukuran partikel pasir sekitar 0,12 mm. Nilai ukuran partikel tersebut, diplot kedalam Gambar 2, sehingga diperoleh hasil spesifik sebesar 32% dan retensi spesifik 15% serta porositas 46%.

Pengamatan dilakukan selama 60 hari pada sumur uji dalam rangka pengujian mosel. Pengamatan dimulai ketika debit sumur uji

sebesar 145 m<sup>3</sup>/hari, dimana muka air tanah menurun tajam dari 4,7 m sampai 8,17 m dari permukaan tanah dan relatif konstan pada level tersebut hingga pengoperasian pompa dihentikan. Secara teoretis dapat dikatakan bahwa model telah mencapai kondisi tunak (*steady*) pada posisi 8,39 m, namun kenyataannya level muka air tanah berfluktuasi pada kisaran 7,90-8,55 m. Koefisien regresi ( $R^2$ ) muka air tanah antara hasil perhitungan model dengan hasil pengukuran adalah 0,85, seperti pada Gambar 3. Setiap penyimpangan diakibatkan karena besar pemompaan yang tidak stabil dan karena air yang telah dipompa mengisi kembali akuifer melalui resapan dari sawah.



Gambar 3 Hubungan antara penurunan muka air tanah (*head*) model dengan pengukuran

Pada Tabel 3 menunjukkan hasil optimasi pemompaan untuk semua sumur yang ada yaitu 16 buah. Lokasi sumur masing-masing dinyatakan dalam koordinat X-Y. Dalam kasus ini, penurunan muka air tanah diset pada kedalaman 15 m dari permukaan tanah, dimana pada kondisi

tersebut muka air tanah dapat kembali pulih dalam waktu kurang dari 5 hari. Penurunan muka air tanah dipengaruhi oleh jarak antara sumur, dan setiap sumur memiliki debit maksimum yang berbeda dalam wilayah yang diujikan.

Tabel 1 Debit optimal dan luas yang diairi untuk setiap sumur

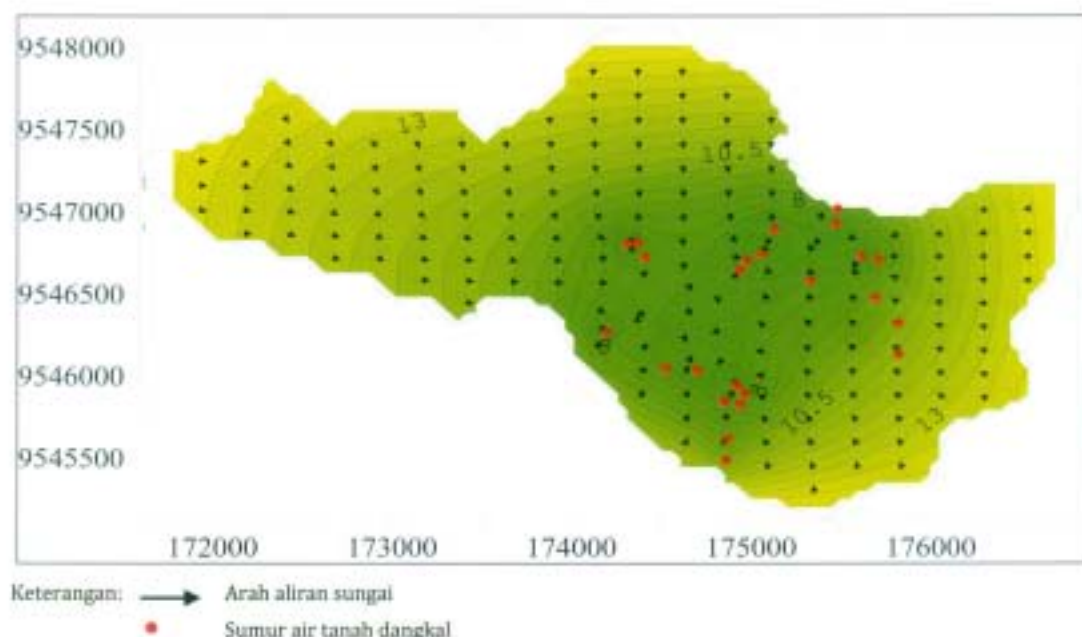
No	Sumur	Posisi sumur		Muka Air Tanah (m)	Transmisivitas (m <sup>2</sup> /d)	Debit Optimal (m <sup>3</sup> /d)	Luas Irigasi (ha)
		BT	LS				
1	SM1	120°04'38,00"	4°05'34,20"	8,64	139,33	808,43	17,58
2	SM2	120°04'37,54"	4°05'37,22"	8,64	139,32	463,50	10,08
3	SM3	120°04'26,51"	4°05'38,22"	9,85	158,91	865,97	18,83
4	SM4	120°03'59,97"	4°05'40,86"	9,31	150,20	1.268,33	27,58
5	SM5	120°04'24,14"	4°05'43,14"	10,00	161,30	868,91	18,89
6	SM6	120°04'42,10"	4°05'43,69"	8,79	141,75	601,47	13,08
7	SM7	120°04'45,11"	4°05'44,24"	8,66	139,65	750,94	16,33
8	SM8	120°03'56,23"	4°05'58,46"	8,91	143,72	1.095,87	23,83
9	SM9	120°04'06,72"	4°06'05,67"	8,14	131,32	480,75	10,45
10	SM10	120°04'12,47"	4°06'06,12"	8,16	131,68	342,78	7,45
11	SM11	120°04'19,58"	4°06'08,95"	8,98	144,85	635,97	13,83
12	SM12	120°04'20,95"	4°06'10,77"	8,55	137,90	532,49	11,58
13	SM13	120°04'17,30"	4°06'12,23"	8,37	135,06	279,54	6,08
14	SM14	120°04'20,13"	4°06'12,87"	8,25	133,15	406,02	8,83
15	SM15	120°04'17,94"	4°06'19,71"	6,54	105,54	473,50	10,08
16	SM16	120°04'17,57"	4°06'23,99"	5,62	90,64	808,43	17,58
Total						10.672,90	232,07

Berdasarkan hasil simulasi model, diperoleh bahwa debit optimal terbesar terjadi pada sumur 4 (SM4) yaitu 1.289 m<sup>3</sup>/hari dapat mengairi sawah 28 ha dan sumur lainnya debit optimal sebesar 473 m<sup>3</sup>/hari untuk mengairi sawah 10 ha, dalam memenuhi kebutuhan air tanaman sehari-hari yang bervariasi dalam tiga fase

pertumbuhan tanaman. Namun, pada saat ini petani hanya menggunakan pompa yang memiliki kapasitas isap kurang lebih hanya 8,6 m. Jadi, masih ada peluang untuk meningkatkan debit pemompaan dan selanjutnya dapat memperluas wilayah pengairan.

Optimasi dalam bentuk lain adalah untuk menemukan jarak optimal antara dua sumur yang berdekatan dalam mencegah saling pengaruh. Dalam hal ini, diperoleh jarak antar sumur yang optimal adalah sekitar 479 m yang mampu mengairi sawah seluas 23 ha dengan laju pemompaan sekitar 1.000 m<sup>3</sup>/hari. Jika kondisi

ini diterapkan maka keuntungan lebih akan diperoleh khususnya efektivitas penggunaan satu sumur dengan luasan yang lebih luas. Kondisi optimal hasil simulasi model seperti pada Gambar 4, yang menunjukkan garis ekuipotensial (potensi air tanah yang sama) dan arah aliran air tanah.



**Gambar 4** Profil Ekipotensial dan arah aliran air tanah pada kondisi debit optimal.

Biaya yang terdiri atas biaya irigasi (biaya tetap dan tidak tetap) dan biaya biaya pengolahan tanah, biaya tanam, bibit, biaya saprodi dan pemeliharaan. Sementara pendapatan merupakan hasil produksi setelah dikurangi dengan biaya. Besarnya biaya dan pendapatan ketika debit optimal diterapkan pada luas wilayah pengairan sebesar 22,97 ha ditunjukkan dalam Tabel 4. Biaya dan pendapatan yang berbeda antara musim tanam 1 dan musim tanam

2 karena kondisi cuaca yang berbeda sehingga mempengaruhi kebutuhan air tanaman. Perbedaan lama masa pengoperasian pompa mengakibatkan B/C berbeda untuk kedua musim tanam tersebut. Dalam hal ini, untuk kedua jenis musim tanam, jika lama masa operasi pompa lebih dari 720 jam/musim akan mengakibatkan nilai B/C menurun. Jadi, lama masa operasi pompa 720 jam/musim dapat dipertimbangkan sebagai lama masa irigasi yang terbaik.

**Tabel 1** Biaya dan pendapatan usaha tani pada kondisi optimal untuk luasan 22,97 ha

Musim Tanam	Komponen	Lama pengoperasian pompa per musim (jam)		
		720	1080	1440
1	Biaya (Rp)	13.401.729	16.663.238	19.924.747
	Pendapatan (Rp)	190.075.592	189.009.503	189.213.699,52
	B/C	14	11	10
2	Biaya (Rp)	11.765.518	15.027.027	18.288.536
	Pendapatan (Rp)	191.711.802	190.645.714	190.849.910
	B/C	16	12	10

## V KESIMPULAN

Studi ini menggambarkan pemanfaatan air tanah untuk irigasi di Kabupaten Wajo dan diperoleh bahwa petani selama ini mendapatkan penghasilan yang baik dari sawah mereka. Namun, peningkatan jumlah sumur mengancam keberlanjutan pemanfaatan air tanah. Karakteristik akuifer juga terwakili oleh persamaan aliran air tanah, dan dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pemanfaatan air tanah selama ini masih jauh dari pengelolaan yang efektif. Kemudian dengan proses optimasi, petani masih memungkinkan memperoleh pendapatan lebih baik jika mereka memanfaatkan air tanah dengan debit sekitar 1.000 m<sup>3</sup>/hari untuk luasan 23 ha dan lama pemompaan 720 jam setiap musim tanam tanpa mengganggu akuifer dan tidak terjadi saling pengaruh antar sumur. Nilai B/C dapat mencapai 16 untuk dua kali masa tanam per tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bear, J. dan A. Verruijt, 1987. *Modelling Ground water Flow and Pollution*. Dordrecht: D. Reidel Publ. Co. p:85-122
- Burhanul, A.M., 2004. *Ground water Basin Covering in Sulawesi Island of South Part (Sulawesi II)*. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan. <http://www.dgtl.esdm.go.id/cekungan.html> [1 Feb 2006].
- Clarke, D., M. Smith and K.E. Askari, 1998. *CropWat for Windows: User Guide*. <http://72.14.235.104/Manuales/CROPWAT4W.pdf> [diakses pada tanggal 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.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. New York: Academic Press.
- Kartasapoetra, A.G., M.M. Sutedjo dan E. Pollean, 1994. *Technological Irrigating Of Agriculture (Irrigation in Indonesian)*. Jakarta: Bumi Aksara. p: 121-145.
- [P2AT SUL-SEL] *Proyek Pengelolaan Air Tanah, Sulawesi Selatan, 2006. Uji Pendahuluan, Lakessi dan Manurung*. Makassar: P2AT Sul-Sel, Tidak Dipublikasikan.
- Simpson, M.J., dan T.P. Clemen, 2003. Comparison of finite difference and finite element solutions to the variably saturated flow equation. *J Hydrology* 270: 49-64.
- Wang, H.F., dan M.P. Anderson, 1982. *Introduction to Ground water Modeling, Finite Difference and Finite Element Methods*. San Francisco: W.H. Freeman and Co. p: 67-91.
- Waspodo, R.S.B. 2001. *Model Optimasi Pemanfaatan Air tanah pada Lahan Kering untuk Menentukan Keperluan Air bagi Tanaman Padi (Oryza Sativa) di Majalengka, Jawa Barat [disertasi]*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suhardi, 2008. *Ground water management model for irrigation using single and multiple pump operations: a case for Data sub-watershed, Wajo regency, South Sulawesi province. [Dissertation in Indonesian]*. Graduate School of Bogor Agricultural University. Indonesia.
- Todd, D.K. 1995. *Ground water Hydrology*. Edisi ke-2. Singapore: John Wiley & Sons.
- Yulianto, H.D. dan L.N. Sutapa, 2005. *Riset Operasi dengan Excel*. Yogyakarta: ANDI