

MODEL PENGELOLAAN AIRBUMI BERKELANJUTAN UNTUK IRIGASI POMPA DI KABUPATEN WAJO, PROVINSI SULAWESI SELATAN¹⁾

(Sustainable Groundwater Management Model for Pump Irrigation at the District of Wajo in South Sulawesi Province)

Suhardi, Hidayat Pawitan²⁾, Budi Indra Setiawan²⁾, dan Roh Santoso B. Waspodo²⁾

ABSTRACT

Groundwater in the District of Wajo is stored in Siwa-Pompanua basin covering an area of 93,900 ha and discharge of around 379 millions m³/yr. The groundwater is utilized to irrigate rain-fed rice fields privately by farmers by means of wells. The distance between wells and pumping rate are designed without considering the characteristics of the aquifer and adequate irrigation management so that damage in environment might occur and consequently farming might not be sustainable. A research was conducted with the objectives to study the aquifer characteristics and to develop environmentally friendly groundwater management. Mathematical models were developed by combining equations of conservation of fluid mass (continuity equations) and Darcy's law, whereas models of groundwater management were based on crop water requirement and aquifer characteristics. Test of the model resulted in coefficient of determination equal to 0.848 for the prediction of the drawdown groundwater head. The result of the model optimization indicated the optimum discharge of each of the wells was different. One of the wells had a the biggest discharge of 1,268.33 m³/day irrigating 27.58 ha and one other of the wells had a the smallest discharge of 279.54 m³/day irrigating 6.08 ha of paddy fields based on the irrigation water requirement of 45.99 m³/ha.day. The reasonable minimum area (ha) determined with equation of power function in x , where x are irrigated hours per season. For one of planting season/yr, the coefficients of the power (α) equal to 0.0123 and the power functions (β) equal to 0.7247, while for two of planting season/yr with α equal to 0.0047 and β equal to 0.8413.

Key words: sustainable groundwater utilization, paddy field irrigation, groundwater management model

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir telah terjadi konversi atau alih fungsi lahan dari pertanian ke penggunaan bukan pertanian. Berdasarkan data BPS (Anonim, 2007), antara tahun 1999 dan 2003, di Indonesia telah terjadi alih fungsi sawah seluas 563.150 ha, terutama pada sawah tadah hujan. Oleh karena itu, produktivitas lahan sawah tadah hujan perlu ditingkatkan, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan airbumi (*groundwater*) sebagai sumber irigasi.

¹⁾ Bagian dari disertasi penulis pertama, Program Studi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Sekolah Pascasarjana IPB

²⁾ Berturut-turut Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing

Salah satu daerah di Indonesia yang memanfaatkan airbumi sebagai sumber irigasi adalah Kabupaten Wajo, yang merupakan salah satu sentra pengembangan produksi beras di Provinsi Sulawesi Selatan. Sawah yang ada di Kabupaten Wajo seluas 86.142 ha, tetapi pada umumnya berupa sawah tadah hujan, yaitu 76.36% atau 65.780 ha (Distan Kabupaten Wajo, 2004). Airbumi digunakan sebagai sumber irigasi karena memiliki potensi yang besar dan termasuk akuifer dangkal yang berada pada cekungan Siwa-Pompanua. Menurut Burhanul (2004), debit airbumi pada cekungan Siwa-Pompanua 379 juta m³/thn dengan luas 93.900 ha.

Menurut Kartasapoetra *et al.* (1994), kondisi akuifer ditentukan oleh struktur geologi dan bentuk topografi sehingga tahap dasar dalam penyelidikan airbumi meliputi (1) penyelidikan awal topografi dan geologi di tempat airbumi sangat diperlukan bagi pengairan; (2) pendugaan fisik dan uji pemboran untuk menduga potensi airbumi; (3) pengukuran airbumi dan pengujian akuifer untuk memperkirakan manfaat airbumi bagi pengairan.

Agar pemanfaatannya untuk irigasi dapat berkelanjutan, airbumi harus dikelola secara efektif dan efisien. Beberapa model optimisasi pengelolaan airbumi untuk irigasi sudah dikembangkan seperti IRRI (1990), Waspodo (1993), dan Ardani (1997) dalam Waspodo (2001), tetapi model tersebut tidak mempertimbangkan karakteristik akuifer. Oleh Waspodo (2001), model optimisasi yang dikembangkan mempertimbangkan karakteristik akuifer, tetapi aspek biaya tidak diperhitungkan. Padahal keberlanjutan dapat dicapai jika pemanfaatan airbumi secara optimal mempertimbangkan aspek lingkungan dan kebutuhan irigasi bagi tanaman serta aspek ekonomi.

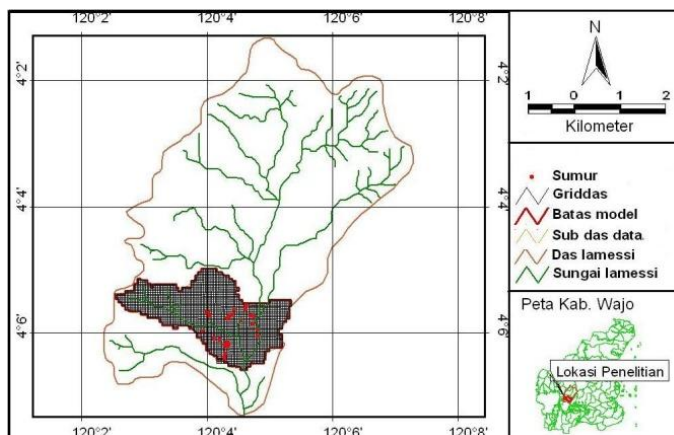
Penelitian ini bertujuan (1) menyusun model matematik pendugaan karakteristik akuifer; (2) menyusun model pengelolaan airbumi untuk irigasi dengan akurat sehingga keberlanjutan; (3) menyusun model biaya dan pendapatan untuk mendapatkan luas minimum layak.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga September 2006 yang berlokasi di Sub-DAS Data, Desa Wajoriaja, Kecamatan Tanasitolo, Kabupaten Wajo, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1). Secara geografis terletak pada 4°4'30"- 4°7'20" LS dan 120°2'5"-120°5'46" BT.

Dalam penelitian ini digunakan peralatan seperti (1) alat ukur jarak (meteran), (2) waterpas dengan kompas, (3) alat ukur kedalaman muka airbumi (dirakit dengan menggunakan multimeter yang diberi *meteran* sepanjang kabel dengan ujung kabel tidak saling berhubungan), (4) alat ukur debit (penampung dan *stopwatch*), dan (5) seperangkat unit komputer yang dilengkapi dengan software *Microsoft Office*, *Visual Delphi 5*, *Surfer 8*, *Autodesk Map 6*, *Arc/Info 3.5.1*, *ArcView 3.3*, *WMS 7.0*, dan *Global Mapper 6*.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Bahan dan Alat

Analisis aliran airbumi

Persamaan pengendali aliran airbumi

Persamaan aliran airbumi disusun berdasarkan persamaan kontinuitas dan persamaan Darcy's. Di samping itu, beberapa asumsi dilakukan berhubungan dengan kondisi lapangan seperti (1) aliran hanya dua dimensi yaitu arah x dan y (asumsi Dupuit), (2) aliran tidak tunak (*unsteady state*), (3) akuifer bebas (*unconfined aquifer*), dan (4) sistem yang dipengaruhi oleh pengambilan dan pengisian airbumi (*recharge*). Transmisivitas pada akuifer bebas akan berubah akibat perubahan *head* sehingga disubsitusi dengan konduktivitas hidraulik, sedangkan storativitas disubstitusi dengan *specific yield* (Bear dan Verruijt, 1987), sehingga model aliran airbumi dituliskan:

$$K \cdot h \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \pm R(x, y, t) \dots \dots \dots (1)$$

Penyelesaian numerik persamaan aliran airbumi

Solusi numerik untuk persamaan nonlinear dapat digunakan beda hingga (*finite difference*) (Simpson dan Clemen, 2003), sehingga penyelesaian persamaan aliran digunakan metode beda hingga dengan pendekatan implisit (*implicit*) atau beda maju (*forward finite difference*) dengan setiap ruang dievaluasi untuk waktu berikutnya ($t+1$) yang dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t}{\Delta t} \dots \dots \dots (2)$$

sedangkan turunan kedua *head* terhadap arah x diselesaikan dengan persamaan (Wang dan Anderson, 1982)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \cong \alpha \frac{h_{i+1,j}^{t+1} - 2h_{i,j}^{t+1} + h_{i-1,j}^{t+1}}{\Delta x^2} + \alpha \frac{h_{i+1,j}^t - 2h_{i,j}^t + h_{i-1,j}^t}{\Delta x^2} \dots \dots \dots (3)$$

Untuk arah y analog dengan persamaan (7) dengan $0 \leq \alpha \leq 1$. Jika $\alpha = 1$, penyelesaian implisit penuh. Jika $\alpha = 0$ eksplisit penuh dan $\alpha = 1/2$ pendekatan Crank-Nicolson.

Oleh karena itu, penyelesaian persamaan (1) secara implisit dapat dituliskan dengan

$$T \left(\frac{h_{i+1,j}^{t+1} - 2h_{i,j}^{t+1} + h_{i-1,j}^{t+1}}{\Delta x^2} + \frac{h_{i,j+1}^{t+1} - 2h_{i,j}^{t+1} + h_{i,j-1}^{t+1}}{\Delta y^2} \right) = S \frac{h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t}{\Delta t} - R_{i,j}^t \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan (4) diselesaikan dengan metode *Alternating Direction Implicit (ADI)* dalam dua langkah dengan durasi tiap langkah $\Delta t/2$. Langkah pertama implisit dalam arah x dan langkah kedua implisit dalam arah y . Dengan menggunakan sebuah nilai antara $h_{i,j}^*$, dengan $*$ = $t+1$, nilai akhir pada langkah pertama (implisit dalam arah x) adalah

$$S \frac{h_{i,j}^* - h_{i,j,t}}{\Delta t/2} \pm R = T \left(\frac{h_{i+1,j}^* - 2h_{i,j}^* + h_{i-1,j}^*}{\Delta x^2} + \delta_y^2 h_{i,j,t} \right) \dots \dots \dots (5a)$$

Langkah kedua (implisit dalam arah y) adalah:

$$S \frac{h_{i,j,t+1} - h_{i,j}^*}{\Delta t/2} \pm R = T \left(\delta_x^2 h_{i,j}^* + \frac{h_{i,j,t+1} - 2h_{i,j,t} + h_{i,j-1,t}}{\Delta y^2} \right) \dots \dots \dots (5b)$$

Persamaan (5.a) dituliskan dengan lengkap sebagai berikut:

$$\frac{2S}{T} \left(\frac{h_{i,j}^* - h_{i,j,t}}{\Delta t} \right) \pm \frac{R}{T} = \frac{h_{i+1,j}^* - 2h_{i,j}^* + h_{i-1,j}^*}{\Delta x^2} + \frac{h_{i,j,t+1} - 2h_{i,j,t} + h_{i,j-1,t}}{\Delta y^2} \dots \dots \dots (6)$$

Jika $\Delta x = \Delta y$, dan $a = \Delta x^2 / \Delta t$, persamaan (6) menjadi

$$-h_{i-1,j}^* + 2 \left(\frac{aS}{T} + 1 \right) h_{i,j}^* - h_{i+1,j}^* = h_{i,j-1,t} + 2 \left(\frac{aS}{T} - 1 \right) h_{i,j,t} + h_{i,j+1,t} \pm \frac{R}{T} \Delta x \Delta y \dots \dots \dots (7a)$$

Dengan cara yang sama, persamaan (5.b) dapat dituliskan menjadi

$$-h_{i,j-1,t+1} + 2 \left(\frac{aS}{T} + 1 \right) h_{i,j,t+1} - h_{i,j+1,t+1} = h_{i-1,j}^* + 2 \left(\frac{aS}{T} - 1 \right) h_{i,j}^* + h_{i+1,j}^* \pm \frac{R}{T} \Delta x \Delta y \dots \dots \dots (7b)$$

Persamaan (7.a) dan (7.b) diselesaikan dengan membentuk matriks tridiagonal. Elemen matriks tridiagonal dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & & & \\ a_2 & b_2 & c_2 & & \\ & a_3 & b_3 & c_3 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & a_i & b_i & c_i \\ & & & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & & & a_{N-1} & b_{N-1} & c_{N-1} \\ & & & & & & a_N & b_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_i \\ \vdots \\ h_{N-1} \\ h_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_i \\ \vdots \\ d_{N-1} \\ d_N \end{bmatrix} \dots \dots \dots (8)$$

Untuk langkah pertama

$$\left. \begin{aligned} d_i &= h_{i,j-1} + f.h_{i,j} + h_{i,j+1}, \\ a_i &= -1 \\ c_i &= -1 \end{aligned} \right\} \text{ untuk } i = 2, \dots, N-1$$

$$\left. \begin{aligned} d_i &= h_{i,j-1} + f \cdot h_{i,j} + h_{i,j+1} + h_{i-1,j} \\ a_i &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ untuk } i=0$$

$$\left. \begin{aligned} d_i &= h_{i,j-1} + f \cdot h_{i,j} + h_{i,j+1} + h_{i+1,j} \\ c_i &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ untuk } i=n.$$

Untuk langkah kedua analog dengan langkah pertama.

$$b = 2 \left(\frac{a \cdot S}{T} + 1 \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$f = 2 \left(\frac{a \cdot S}{T} - 1 \right) \dots\dots\dots (10)$$

$$a = \Delta x^2 / \Delta t \dots\dots\dots (11)$$

Matriks tridiagonal tersebut diselesaikan dengan *Thomas Algorithm*.

Batas Sistem DAS Airbumi

Batas sistem ditentukan berdasarkan sifat aliran airbumi, terutama sumber dan batas aliran. Untuk airbumi bebas, batas aliran diasumsikan sama dengan batas DAS. Oleh karena itu, batas DAS dijadikan sebagai batas sistem DAS airbumi.

Validasi Model Aliran Airbumi

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

Model Optimisasi Pengelolaan Airbumi untuk Irigasi

Model optimisasi pengelolaan airbumi secara efektif dan efisien dengan memelihara kelestarian lingkungan bertujuan memaksimalkan debit dengan menjaga muka airbumi hingga ketinggian tertentu. Model disusun dengan asumsi akuifer bebas, homogen, isotrofik, berdimensi dua dan tunak (*steady state*). Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut.

Fungsi tujuan:

$$\text{Maksimumkan } Z = \sum_{i,j} Q \cdot \left[\frac{h}{h_{\min}} \right] \dots\dots\dots (12)$$

Fungsi pembatas:

$$T \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = -Q \cdot \left[\frac{h}{h_{\min}} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$h_{i,j} \geq h_{\min}$, $Q_{i,j} \geq A_{i,j} \cdot ET_{crop}$, $A_{i,j} \geq A_{\min}$ dengan Z = fungsi tujuan; h = tinggi muka airbumi (m); Q = debit pengambilan (m^3 /hari); T = transmisivitas (m^2 /hari); ET_{crop} = kebutuhan air tanaman (m^3 /ha/hari); $A_{\min}$ = luas minimum (ha); i dan j = subscript koordinat grid.

Model matematika untuk optimisasi diselesaikan dengan menggunakan *Solver Add-Ins* pada Microsoft Excel.

Analisis Ekonomi Usaha Tani Irigasi Airbumi dengan Pompa

Biaya air irigasi airbumi

Perhitungan biaya air irigasi airbumi menggunakan pompa per hektar menggunakan persamaan Diametan 74 (Soejadmiko, 1974 *dalam* Irwanto, 1982):

$$BAI = R \times T \times \frac{I \times 24}{Q \times J \times E} \times \frac{1}{C} \dots\dots\dots (14)$$

dengan BAI = biaya air irigasi (Rp/ha); R = total biaya perjam dari pompa dan motor penggerak (Rp/jam); T = total jam kerja pompa dan motor penggerak (jam/musim); $(I \times 24)$ = total debit air irigasi yang dibutuhkan per jam selama 24 jam atau (m^3 /jam) $\times$ (24 jam/hari) = (m^3 /hari); Q = kapasitas pompa berdasarkan ukuran pompa (m^3 /jam); J = rata-rata jam kerja pompa per hari (jam/hari); E = efisiensi Irigasi (%); C = kapasitas mengairi (ha/musim). Total biaya per jam merupakan penjumlahan antara biaya tetap dan biaya tidak tetap.

Total biaya produksi usaha tani

Total biaya produksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BP = BAI + BPT + BB + BT + BM \dots\dots\dots (15)$$

dengan BP = biaya produksi (Rp/ha); BAI = biaya air irigasi (Rp/ha); BPT = biaya pengolahan tanah (Rp/ha); BB = biaya bibit (Rp/ha); BT = biaya tanam (Rp/ha); BM = biaya pemeliharaan (Rp/ha).

Pendapatan usaha tani

Pendapatan usaha tani sebelum dikurangi dengan biaya adalah

$$B = Prod \times HGP \dots\dots\dots (16)$$

dengan B = pendapatan (Rp/ha); $Prod$ = produktivitas (ton/ha); dan HGP = harga gabah panen (Rp/ton).

Penentuan Luas Minimum Layak

Luas minimum layak diperoleh dari simulasi dengan beberapa skenario berupa luasan (3, 5, dan 7 ha), lama pengairan (740, 1 080 dan 1 440 jam/musim tanam) dan jumlah musim tanam per tahun (1 dan 2). Luasan minimum yang layak untuk setiap lama pengairan dan banyaknya musim tanam dihitung dengan persamaan

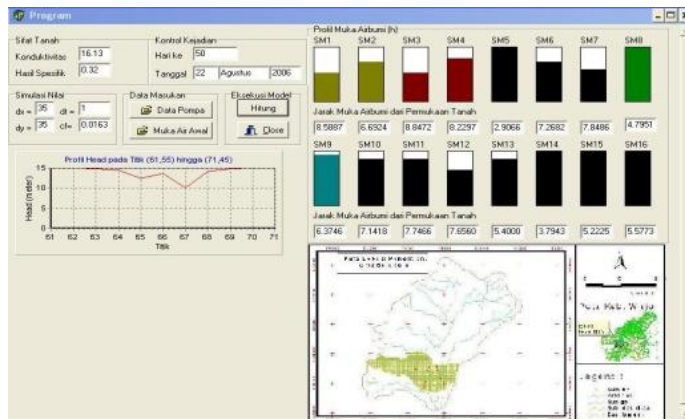
$$Y_B - 0,3Y_C \geq 0 \dots\dots\dots (17)$$

dengan Y_B = persamaan garis pendapatan; Y_C = persamaan garis biaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

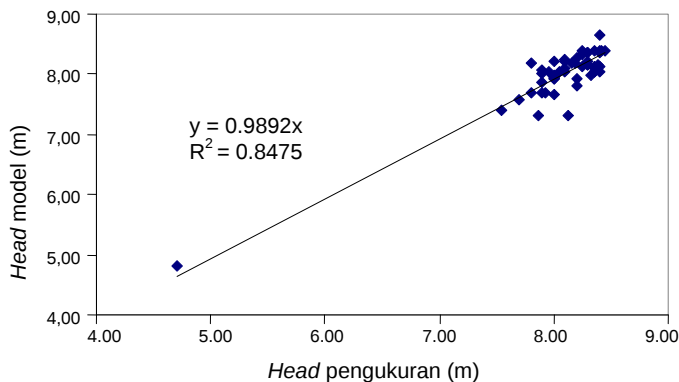
Pengujian Model Aliran Airbumi

Berdasarkan uji pemompaan, konduktivitas hidraulik akuifer adalah 16.13 m/hari. Spesifik yield 0.32 ditentukan berdasarkan hubungan konduktivitas dan porositas. Hasil pengujian model aliran airbumi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil eksekusi model untuk hari ke-50

Penurunan muka airbumi dipengaruhi oleh besarnya debit pengambilan dan jarak antarsumur. Makin besar debit pengambilan dan makin dekat jarak antarsumur, penurunan muka airbumi semakin besar. Jarak antarsumur berpengaruh terhadap penurunan muka airbumi akibat adanya saling pengaruh antar sumur. Adapun hasil uji validasi model pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara penurunan muka airbumi hasil pengukuran hasil model

Berdasarkan uji korelasi, diperoleh koefisien determinasi sebesar 0,848. Dengan demikian, model dapat digunakan di tempat lain dengan ketentuan harus dilakukan uji pemompaan untuk menentukan karakteristik akuifernya.

Prediksi Kondisi Optimal dalam Pengambilan Airbumi

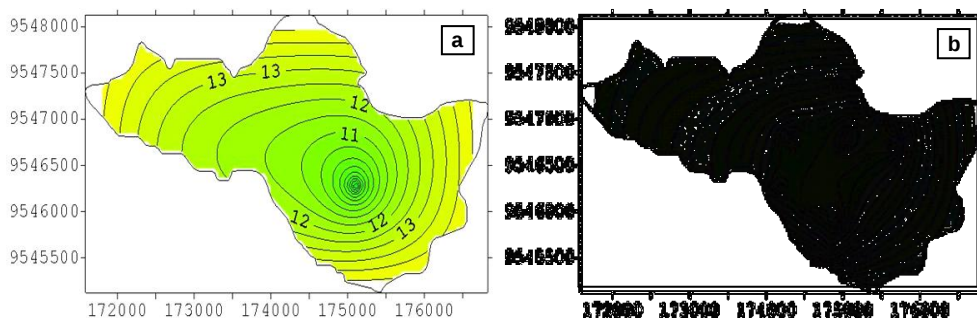
Simulasi model optimisasi dikondisikan pada muka airbumi minimum 5 m dari dasar akuifer atau penurunan muka airbumi maksimal 10 m dari muka airbumi awal. Untuk sumur tunggal diperoleh debit optimal sebesar 2 303.73 m³/hari, dapat mengairi sawah seluas 50.09 ha, sedangkan untuk sumur ganda, digunakan kondisi sebenarnya di lapangan, dengan debit optimal seperti pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa debit optimal mendekati nilai hasil uji coba yang dilakukan oleh P2AT Sulawesi-Selatan (2006), yaitu sebesar 8.47 lt/dt atau 731.81 m³/hari. Perbedaan debit optimal untuk setiap sumur pada sumur ganda disebabkan oleh perbedaan jarak antarsumur.

Tabel 1. Debit dan luasan irigasi untuk setiap sumur berdasarkan hasil optimisasi

Sumur	Posisi sumur		Debit optimal (m ³ /hari)	Luas irigasi (Ha)
	BT	LS		
SM1	120°04'38,00"	4°05'34,20"	808.43	17,58
SM2	120°04'37,54"	4°05'37,22"	463.50	10,08
SM3	120°04'26,51"	4°05'38,22"	865.97	18,83
SM4	120°03'59,97"	4°05'40,86"	1 268.33	27,58
SM5	120°04'24,14"	4°05'43,14"	868.91	18,89
SM6	120°04'42,10"	4°05'43,69"	601.47	13,08
SM7	120°04'45,11"	4°05'44,24"	750.94	16,33
SM8	120°03'56,23"	4°05'58,46"	1 095.87	23,83
SM9	120°04'06,72"	4°06'05,67"	480.75	10,45
SM10	120°04'12,47"	4°06'06,12"	342.78	7,45
SM11	120°04'19,58"	4°06'08,95"	635.97	13,83
SM12	120°04'20,95"	4°06'10,77"	532.49	11,58
SM13	120°04'17,30"	4°06'12,23"	279.54	6,08
SM14	120°04'20,13"	4°06'12,87"	406.02	8,83
SM15	120°04'17,94"	4°06'19,71"	463.50	10,08
SM16	120°04'17,57"	4°06'23,99"	808.43	17,58
Jumlah			10 672.90	232.07

Profil muka airbumi pada kondisi optimal untuk sumur tunggal dan ganda disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Dari Gambar 4b terlihat bahwa semakin dekat jarak antarsumur, pengaruh antarsumur semakin besar yang ditunjukkan oleh beberapa sumur berada dalam satu kontur.

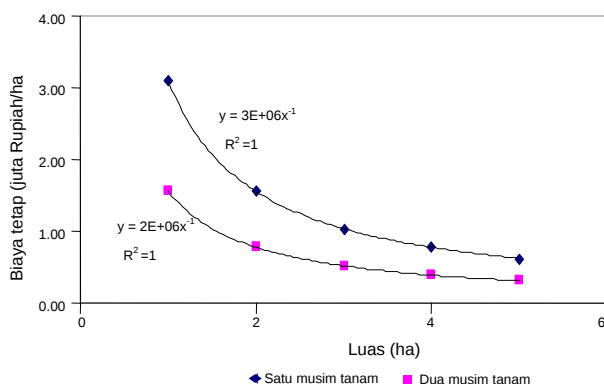


Gambar 4. Profil muka airbumi pada kondisi optimal untuk sumur tunggal (a) dan sumur ganda (b)

Analisis Ekonomi Irigasi Airbumi dengan Pompa

Biaya tetap

Biaya tetap per tahun selalu sama, tidak bergantung pada besar kecilnya usaha tani. Namun, jika diukur berdasarkan per unit luasan, biaya tetap akan menurun dengan bertambahnya luasan peruntukan seperti grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik biaya tetap untuk satu dan dua musim tanam

Biaya tidak tetap

Biaya tidak tetap per jam mesin dan pompa tidak berubah akibat perubahan umur mesin dan pompa. Demikian pula, luas yang diairi dan jumlah musim tanam tidak berpengaruh terhadap biaya tidak tetap per jam. Hal ini disebabkan karena biaya yang dikeluarkan per jam adalah sama untuk seluruh debit yang dikehendaki. Biaya mesin per jam untuk satu dan dua musim tanam per tahun disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Biaya mesin per jam untuk satu dan dua musim tanam per tahun

Musim tanam/ tahun	Biaya Tetap (juta Rp/thn)	Biaya tidak tetap (Rp/jam)	Biaya mesin/jam(Rp/jam)		
			720 jam/thn	1080 jam/thn	1440 jam/thn
1	3.109	8 606.76	12 924.54	11 485.28	10 765.65
2	3.109	8 606.76	10 765.65	10 046.02	9 686.20

Biaya air irigasi airbumi

Biaya air irigasi airbumi menggunakan pompa per jam tidak dipengaruhi oleh luas yang diairi, melainkan dipengaruhi oleh frekuensi tanam dan jumlah jam operasi pompa per tahun. Biaya air irigasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya air irigasi untuk satu dan dua musim tanam per tahun

Musim tanam	I x 24	Q (m ³ /jam)	J (jam/hr)	Ef (%)	Kap (ha/ms)	Biaya Air Irigasi (juta Rp/ha)		
						720 (jam/thn)	1080 (jam/thn)	1440 (jam/thn)
1	151.2	6.3	24	0.95	3	3.265	4.352	5.439
	259.2	10.8	24	0.95	5	1.959	2.611	3.263
	345.6	14.4	24	0.95	7	1.399	1.865	2.331
2	151.2	6.3	24	0.95	3	2.719	3.806	4.894
	259.2	10.8	24	0.95	5	1.631	2.284	2.936
	345.6	14.4	24	0.95	7	1.165	1.631	2.097

Total biaya produksi usaha tani

Selain biaya air irigasi, komponen lain dari biaya pokok produksi tidak berubah akibat perubahan jam kerja mesin atau pompa, tetapi meningkat akibat bertambahnya luasan usaha tani. Hal ini disebabkan karena biaya pengolahan tanah, biaya bibit, biaya tanam, dan biaya pemeliharaan ditentukan berdasarkan satuan luasan. Biaya produksi usaha tani disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya produksi setiap masa tanam, luasan usaha tani dan jam operasi

Musim tanam	Luas (ha)	Jam/musim	BAI (Rp)	BPT (Rp)	BB (Rp)	BT (Rp)	BM (Rp)	BP (Rp)
1	3	720	3 265 146.39	1 800 000	360 000	900 000	1 650 000	7 975 146.39
		1080	4 352 316.07	1 800 000	360 000	900 000	1 650 000	9 062 316.07
		1440	5 439 485.75	1 800 000	360 000	900 000	1 650 000	10 149 485.75
	5	720	1 959 087.83	3 000 000	600 000	1 500 000	2 750 000	9 809 087.83
		1080	2 611 389.64	3 000 000	600 000	1 500 000	2 750 000	10 461 389.64
		1440	3 263 691.45	3 000 000	600 000	1 500 000	2 750 000	11 113 691.45
	7	720	1 399 348.45	4 200 000	840 000	2 100 000	3 850 000	12 389 348.45
		1080	1 865 278.32	4 200 000	840 000	2 100 000	3 850 000	12 855 278.32
		1440	2 331 208.18	4 200 000	840 000	2 100 000	3 850 000	13 321 208.18
	3	720	2 719 742.88	3 600 000	720 000	1 800 000	3 300 000	12 139 742.88
		1080	3 806 912.56	3 600 000	720 000	1 800 000	3 300 000	13 226 912.56
		1440	4 894 082.25	3 600 000	720 000	1 800 000	3 300 000	14 314 082.25
2	5	720	1 631 845.73	6 000 000	1 200 000	3 000 000	5 500 000	17 331 845.73
		1080	2 284 147.54	6 000 000	1 200 000	3 000 000	5 500 000	17 984 147.54
		1440	2 936 449.35	6 000 000	1 200 000	3 000 000	5 500 000	18 636 449.35
	7	720	1 165 604.09	8 400 000	1 680 000	4 200 000	7 700 000	23 145 604.09
		1080	1 631 533.95	8 400 000	1 680 000	4 200 000	7 700 000	23 611 533.95
		1440	2 097 463.82	8 400 000	1 680 000	4 200 000	7 700 000	24 077 463.82

Pendapatan usaha tani irigasi airbumi

Besarnya pendapatan per hektar ditentukan oleh produktivitas lahan dan harga gabah. Semakin lama masa pengairan, pendapatan semakin besar karena produktivitas lahan semakin tinggi akibat lama penyinaran lebih lama dan kebutuhan air tanaman selalu tersedia. Pada Tabel 5 disajikan besarnya pendapatan untuk satu dan dua musim tanam.

Tabel 5. Pendapatan setiap 1 dan 2 musim tanam pada luasan 3, 5, dan 7 ha

Musim tanam/tahun	Luas (ha)	Pendapatan (juta Rp)		
		720 jam/musim	1080 jam/musim	1440 jam/musim
1	3	26.58	26.86	27.31
	5	44.29	44.77	45.52
	7	62.01	62.68	63.73
2	3	53.15	53.72	54.63
	5	88.58	89.54	91.05
	7	124.02	125.36	127.47

Luas Minimum Layak

Berdasarkan pada hasil simulasi dengan beberapa skenario, diperoleh suatu model matematika yang merupakan persamaan garis biaya dan pendapatan seperti pada Tabel 5.

Tabel 6. Persamaan garis biaya dan pendapatan

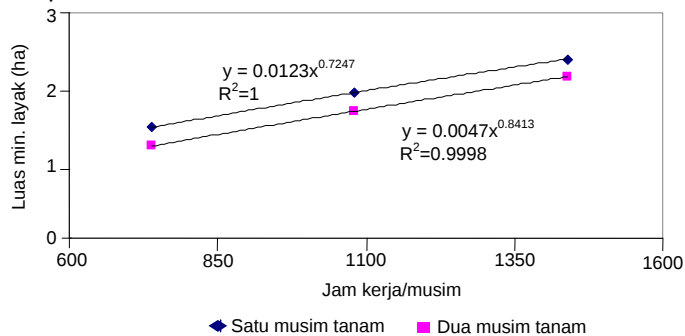
Musim tanam	Lama pengairan (jam/musim)	Persamaan garis			
		Biaya	R ²	Pendapatan	R ²
1	740	$Y_C = 0,157x + 9,7954$	1	$Y_B = 8,8584x$	1
	1080	$Y_C = 0,157x + 13,057$	1	$Y_B = 8,954x - (8 \cdot 10^{-14})$	1
	1440	$Y_C = 0,157x + 16,318$	1	$Y_B = 9,1049x$	1
2	740	$Y_C = 0,314x + 16,318$	1	$Y_B = 17,717x$	1
	1080	$Y_C = 0,314x + 22,841$	1	$Y_B = 17,908x - (2 \cdot 10^{-14})$	1
	1440	$Y_C = 0,314x + 29,364$	1	$Y_B = 18,21x$	1

Dari persamaan biaya dan pendapatan di atas, maka luas minimum layak dapat ditentukan seperti pada Table 7.

Tabel 7. Luas minimum layak untuk satu dan dua musim tanam per tahun

Jam kerja per musim	Luas minimum layak (ha)	
	Satu musim tanam	Dua musim tanam
740	1.47	1.23
1080	1.94	1.70
1440	2.38	2.14

Dari Tabel 7 dapat dibuat grafik kecenderungan luas minimum layak untuk setiap jam operasi pompa/musim berupa persamaan garis fungsi pangkat (*power function*) seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik luas minimum layak untuk setiap jam operasi pompa/musim

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- (1) Hasil uji validasi model aliran airbumi menunjukkan koefisien determinasi 0.848 sehingga model dinyatakan valid dan dapat digunakan pada tempat lain, tetapi harus dilakukan penentuan karakteristik akuifer terlebih dahulu.
- (2) Debit optimal maksimum yang dapat diambil untuk suatu wilayah tidak dapat dicapai dengan satu sumur saja. Semakin banyak sumur, total debit yang dapat diambil semakin besar dengan kondisi lingkungan yang tetap baik.
- (3) Hubungan antara luas minimum layak dengan lama masa pengairan per musim tanam berupa persamaan fungsi pangkat. Semakin lama masa pengairan, semakin besar luas minimum layak yang diperlukan.

Saran

Agar diperoleh keuntungan yang maksimal dan lingkungan tetap awet, suatu sumur harus dioptimalkan agar biaya pengadaan dan operasional mesin dan pompa per hektar minimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [Anonim], 4 Apr 2007. Konservasi Lahan Melaju. UU Lahan Pertanian Pangan Abadi Tidak Bisa Ditunda. *Kompas*:18 (kolom 4-7).
- Bear, J. and Verruijt, A. 1987. *Modelling Groundwater Flow and Pollution*. Dordrecht: D. Reidel Publ. Co. hlm: 85-122.
- Bock, R.K. 1998. Linear Equations, Iterative solutions. <http://abbaneo.home.cern.ch/rkb/AN16pp/node155.html> [8 Mei 2007].
- Burhanul, A.M., 2004. Cekungan air tanah di P. Sulawesi bagian selatan (Sulawesi II). Direktoral Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan. <http://www.dgtl.esdm.go.id/cekungan.html> [1 Feb 2006].
- [DISTAN KABUPATEN WAJO] Dinas Pertanian Kabupaten Wajo, 2004. Peta Produktivitas dan Rancang Bangun Kawasan Usaha Produktivitas Padi. Bagian proyek Peningkatan Produktivitas Padi dan Pengembangan Agribisnis Jagung Kabupaten Wajo Tahun Anggaran 2004. Sengkang: Distan. Kabupaten Wajo. 24 hlm.
- Gaspersz, V. 1995. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Bandung: Tarsito. hlm: 1-35.
- Irwanto, A.K. 1982. *Ekonomi Enjiniring*. Bogor: Institut Pertanian Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian, Jurusan Keteknikan Pertanian.
- Kartasapoetra, A.G., Sutedjo, M.M., dan Pollean, E. 1994. *Teknologi Pengairan Pertanian (Irigasi)*, Cetakan ke-2. Jakarta: Bumi Aksara. hlm: 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. and Clemen, T.P. 2003. Comparison of finite difference and finite element solutions to the variably saturated flow equation. *J Hydrology* 270: 49-64.
- Wang, H.F. and Anderson, M.P. 1982. *Introduction to Groundwater Modeling. Finite Difference and Finite Element Methods*. San Francisco: W.H. Freeman and Co. hlm: 67-91.
- Waspodo, R.S.B. 2001. Model optimasi pemanfaatan airtanah pada lahan kering untuk menentukan keperluan air bagi tanaman padi (*Oryza sativa*) di Majalengka, Jawa Barat [disertasi]. Bandung: Institut Teknologi Bandung.