



PENGARUH KEBUTUHAN AIR IRIGASI TERHADAP PENURUNAN MUKA AIR TANAH MENGUNAKAN MODFLOW-USG DI SRAGEN, JAWA TENGAH

THE EFFECT OF IRRIGATION WATER NECESSITY ON GROUNDWATER LEVEL DEPLETION USING MODFLOW-USG IN SRAGEN, CENTRAL JAVA

Nuraini Azizah¹⁾* Heri Suprpto²⁾

^{1,2)}Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Indonesia

*Correspondence email: azizah.nuraini17@gmail.com

Diterima: 22 Agustus 2021; Direvisi: 03 November 2021; Disetujui: 07 Desember 2021

ABSTRACT

One of the determining factors in food security is the availability of agriculture water. Due to decreasing of rainfall and runoff, groundwater is one of the solutions for attaining agriculture's water needs. Groundwater has been depleted in the western region of Sragen Regency. It is necessary to investigate the groundwater level depletion in Sragen Regency so that production can be increased without overexploitation. MODFLOW-USG was used to simulate groundwater conditions mathematically. The model is based on current conditions and projected until 2033, with various scenarios for irrigation necessity which has 1, 0.8 and 0.7 l/s/ha that represented as conventional, System of Rice Intensification (SRI), and Alternate Wetting And Drying (AWD). For current conditions, model results show that groundwater level (GWL) decreased by 7.9 m from 1996 – 2019 without a scenario. Simulations from 2020 to 2033 using conventional water necessity show a decrease in GWL up to 2.585 m, 1.895 m for the SRI method, and 1.788 m for the AWD method. According to this result, the AWD water necessity is the most effective both in reducing groundwater table declining and maintaining plant productivity. However, the decreasing in GWL would occur as long as groundwater withdrawal continued, regardless of the scenario. Therefore, it is proposed to fulfill agricultural land's water with other water resources such as reservoir or retention basins. Furthermore, there is a need for cropping patterns and scheduling that affect the amount of water demand, so water needs are met and do not over-exploiting the groundwater.

Keywords: Groundwater, MODFLOW-USG, conventional, SRI, AWD

ABSTRAK

Ketersediaan air untuk lahan pertanian menjadi salah satu faktor penentu dalam ketahanan pangan. Curah hujan dan air permukaan yang kian menurun menjadikan air tanah sebagai salah satu solusi pemenuhan kebutuhan air lahan pertanian. Kabupaten Sragen bagian Barat telah mengalami penurunan air tanah. Kajian penurunan muka air tanah di Kabupaten Sragen perlu dilakukan sehingga produksi tetap dapat ditingkatkan tanpa eksploitasi berlebihan. Kondisi air tanah dimodelkan secara matematis menggunakan MODFLOW-USG. Pemodelan dilakukan pada kondisi aktual dan diproyeksi hingga tahun 2033 dengan berbagai skenario kebutuhan air irigasi sebesar 1, 0,8 dan 0,7 l/s/ha yang merepresentasikan metode pemberian air konvensional, System of Rice Intensification (SRI), dan Alternate Wetting And Drying (AWD). Hasil pemodelan menunjukkan penurunan muka air tanah (MAT) mencapai 7,9 m dari tahun 1996 – 2019 tanpa skenario. Simulasi dari tahun 2020 – 2033 menggunakan kebutuhan air konvensional menunjukkan penurunan MAT mencapai 2,585 m; metode SRI mencapai 1,895 m; dan metode AWD mencapai 1,788 m. Berdasarkan hasil tersebut, kebutuhan air AWD adalah yang paling efektif untuk mengurangi penurunan muka air tanah sekaligus mempertahankan produktivitas tanaman. Penurunan MAT akan tetap terjadi jika pengambilan air tanah tetap berlangsung walaupun dengan adanya skenario yang dilakukan. Oleh karena itu, diusulkan agar kebutuhan air lahan pertanian juga dapat dipenuhi dari sumber air lain seperti waduk atau embung. Selain itu, perlu adanya penjadwalan dan pola tanam yang berpengaruh terhadap besarnya kebutuhan air, sehingga kebutuhan air tetap terpenuhi dan tidak mengeksploitasi air tanah secara berlebihan.

Kata Kunci: Air tanah, MODFLOW-USG, konvensional, SRI, AWD

PENDAHULUAN

Ketersediaan pangan pada suatu negara merupakan komoditas strategis dari berbagai aspek sehingga menjadi isu strategis global, termasuk di Indonesia. Faktor penentu ketahanan pangan, salah satunya adalah ketersediaan air yang mencukupi untuk mengairi lahan pertanian. Curah hujan yang menurun dan menipisnya air permukaan di beberapa wilayah, menjadikan air tanah sebagai solusi dalam pemenuhan kebutuhan air salah satunya sebagai pemasok air untuk pertanian (Adam & Appiah-Adjei, 2019). Ketahanan dan kemandirian pangan dapat dicapai dengan memperhitungkan potensi serta besar debit pengisian kembali air tanah dalam perencanaan, sehingga tidak terjadi eksploitasi air tanah yang berlebihan dan mengakibatkan penurunan muka air tanah pada jangka panjang. Penggunaan air tanah dalam harus sesuai dengan daya dukung akuifer setempat yang pemanfaatannya diatur dalam Undang-Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air.

Kabupaten Sragen merupakan salah satu daerah penghasil beras tertinggi di Indonesia. Luas lahan panen padi di Kabupaten Sragen sebesar 111.569,05 Ha dengan produksi padi sebesar 766.012 ton Gabah Kering Giling (GKG) atau produksi beras sebesar 439.461 ton. Dalam penyediaan pangan tersebut, masih banyak daerah yang terkendala ketersediaan air irigasi teknis sehingga menggunakan irigasi air tanah untuk memenuhi kebutuhan air tersebut. Penggunaan air untuk pertanian yang cukup besar terutama di musim kemarau, mengharuskan masyarakat mengatur dan menjaga kelangsungan ketersediaan cadangan air tanah agar tidak terpengaruh. Sudarmo et al. (2019) menyatakan bahwa terjadi penurunan muka air tanah di Kabupaten Sragen bagian Barat, khususnya wilayah Kecamatan Gemolong dan sekitarnya.

Penurunan muka air tanah akibat pemompaan untuk kebutuhan irigasi juga terjadi di negara lain seperti Arab Saudi. Menurut penelitian yang dilakukan Gabr et al., (2020) menunjukkan kondisi akuifer air tanah di Wadi Uranah, Makkah menurun sampai pada level kritis. Penurunan tersebut merupakan dampak dari penggunaan air irigasi yang lebih besar tujuh kali lipat dibandingkan besar pengisian kembali air tanah.

Penurunan muka air pada *Mississippi River Valley Alluvial Aquifer* (MRVAA) juga sebagian besar dikarenakan penggunaan air untuk irigasi padi. Atwill et al., (2020) melakukan penelitian berbagai alternatif irigasi padi yang dapat mengurangi ekstraksi dari MRVAA tanpa memiliki efek buruk pada hasil padi dan profitabilitas. Hasil yang

diperoleh adalah metode *Alternate Wetting And Drying* (AWD) dapat mengurangi penggunaan air untuk irigasi hingga 39% dengan mempertahankan atau meningkatkan produktivitas padi. Efisiensi penggunaan metode AWD mencapai 59% dibandingkan sistem konvensional.

Penelitian Seizarwati et al., (2018) juga menjelaskan bahwa terdapat hubungan yang erat antara pengambilan air tanah berlebihan dan penurunan kapasitas imbuhan dengan penurunan Muka Air Tanah (MAT). Simulasi dilakukan menggunakan IMOD (iMODFLOW) yang merupakan *software* model aliran air tanah secara numerik pengembangan dari MODFLOW-2005 yang secara *online* digabungkan ke dalam MetaSWAP. Hasil proyeksi air tanah menggunakan IMOD menunjukkan kontrol pengambilan air tanah merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap pemulihan air tanah Jakarta. Pengurangan ekstraksi air tanah sebesar 10%/tahun dapat memulihkan muka air tanah sekitar 0,3 - 0,6 m/tahun.

Shintya & Harisuseno (2016) membandingkan pemberian air irigasi metode *System of Rice Intensification* (SRI) dan konvensional. Persentase penghematan air irigasi metode SRI mencapai 87% dibandingkan dengan metode konvensional dan gabungan. Budidaya padi dengan metode SRI juga memiliki tingkat keuntungan yang besar dibandingkan dengan metode konvensional.

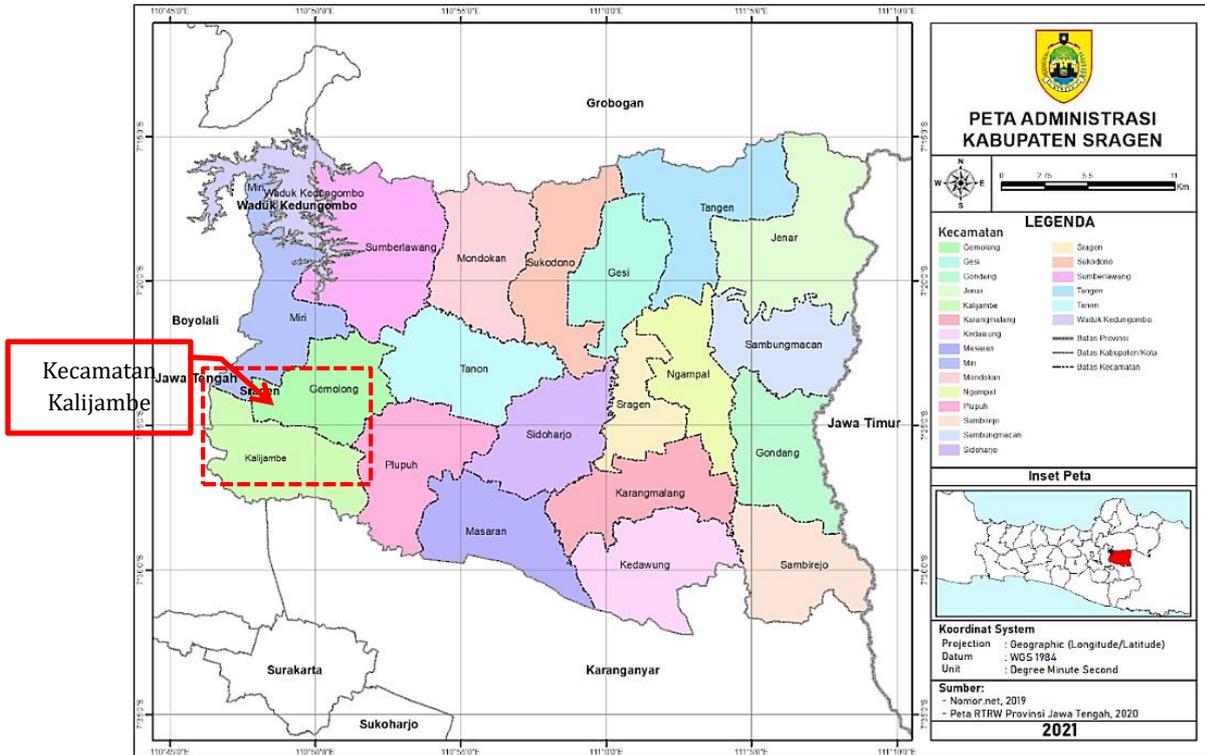
Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, perlu dilakukan kajian penurunan muka air tanah sebagai salah satu sumber air pada sektor pertanian di Kabupaten Sragen sehingga produksi pangan tetap meningkat tanpa melakukan eksploitasi air tanah berlebihan. Penurunan muka air tanah dapat dikurangi, salah satunya mengganti metode penanaman konvensional dengan metode SRI dan AWD.

Penelitian dilakukan di daerah irigasi Kecamatan Kalijambe yang terletak di ujung barat daya Kabupaten Sragen (**Gambar 1** dan **Gambar 2**). Luas lokasi penelitian sebesar 11,818 km² dengan luas area persawahan mencapai 7,28 km². Wilayah penelitian tidak terbatas secara administratif karena menyesuaikan jumlah titik sumur dan ketersediaan data dari uji pemompaan sumur-sumur yang ada.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kebutuhan air irigasi yang diterapkan terhadap penurunan Muka Air Tanah (MAT). Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan alternatif lain kepada pemerintah setempat khususnya Dinas ESDM Wilayah Solo mengenai konservasi air tanah di CAT

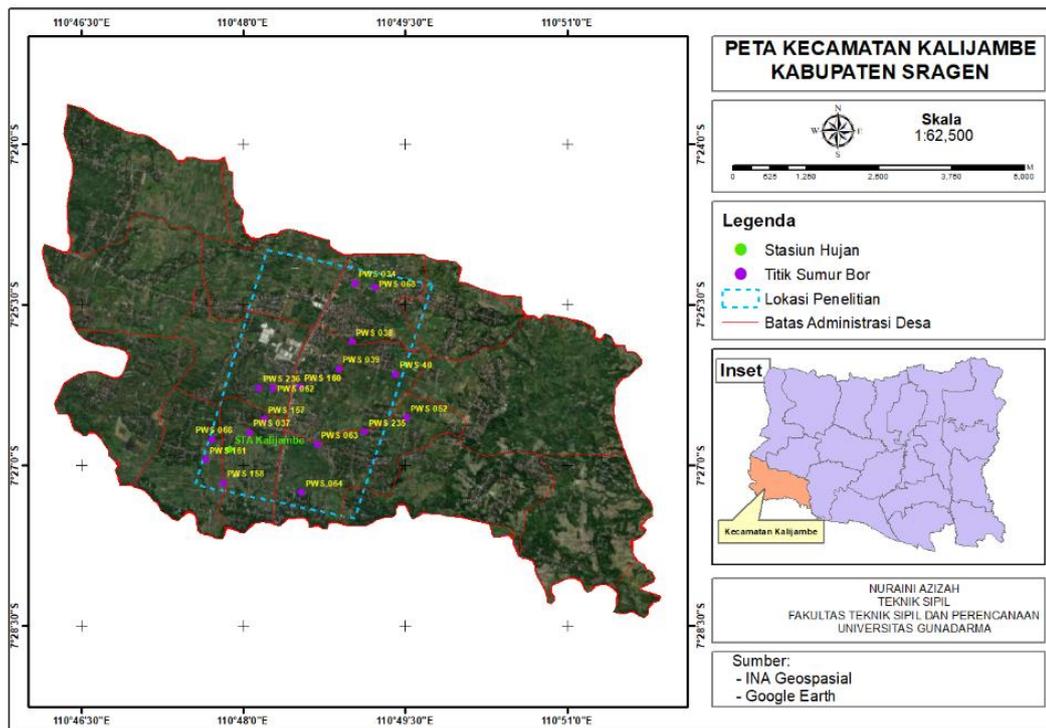
Karanganyar-Boyolali yang dapat dilakukan dari bidang irigasi dan Dinas PUPR Kabupaten Sragen dalam merencanakan jaringan irigasi air tanah

sehingga penggunaan air irigasi lebih efisien dan efektif.



Sumber: Kreasi Geologi, 2021

Gambar 1 Peta Administrasi Kecamatan Kalijambe, Kabupaten Sragen



Gambar 2 Lokasi penelitian

METODOLOGI

Sistem air tanah dapat dipahami dengan melakukan banyak pengeboran sumur eksplorasi, pemompaan, dan beberapa eksperimen geofisika serta serangkaian eksperimen dalam waktu yang cukup lama dan memakan biaya. Pemodelan air tanah dengan model matematis dapat membantu dalam penggambaran kondisi air tanah (Aghlmand & Abbasi, 2019). Simulasi pemodelan air tanah menggunakan software GMS 10.5. MODFLOW-USG (*UnStructured Grid*) telah dikembangkan dan dirilis pada tahun 2013 dengan menerapkan *grid* tidak terstruktur dan solusi numerik untuk volume terbatas (Panday et al., 2013). Prinsip yang digunakan pada MODFLOW-USG sama halnya dengan MODFLOW versi lainnya. Model MODFLOW menyimulasikan aliran air tanah secara 3 (tiga) dimensi menggunakan metode beda hingga untuk aliran tunak dan transien. Aliran air tanah tiga dimensi dengan kerapatan konstan melalui media berpori heterogen dan anisotropik dapat digambarkan dengan persamaan:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \dots (1)$$

Dimana:

- S_s : Simpanan spesifik dari material pori (m^{-1})
- h : Muka air potensiometrik atau *pressure head* (m)
- W : Besar pengisian atau pengambilan air per unit volume (s^{-1})
- $K_{xx}, K_{yy},$ dan K_{zz} : Koefisien konduktivitas hidrolis sepanjang koordinat x, y, dan z (m/s)

Pemodelan tersebut melalui beberapa tahap yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Data yang diperlukan untuk mendukung penelitian tersebut adalah data *borlog*, hasil geolistrik, lokasi dan hasil *pumping test* sumur, serta data untuk perhitungan imbuan air tanah (data klimatologi dan tutupan lahan). Peta *Digital Elevation Model* (DEM) juga digunakan untuk mengetahui topografi daerah penelitian. Data-data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait.

Proses awal pemodelan adalah pembuatan geometri akuifer (lihat **Gambar 4a** dan **Tabel 2**) dengan mengkorelasikan litologi dan nilai resistivitas hasil geolistrik (Budiarjo & Hendrayana, 2020). Paramater hidrogeologi pada akuifer (lihat **Tabel 1**) ditentukan sesuai jenis

material pada lapisan tersebut (Putri et al., 2018; BPSDM, 2019) serta dihitung dari hasil *pumping test* pada 14 sumur bor dengan mengkalkulasikan nilai transmisivitas menjadi *hydraulic conductivity* (K) menggunakan persamaan:

$$K = \frac{T}{b} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- T : Transmisivitas ($m^2/detik$)
- K : Koefisien permeabilitas (m/detik)
- b : Tebal akuifer (m)

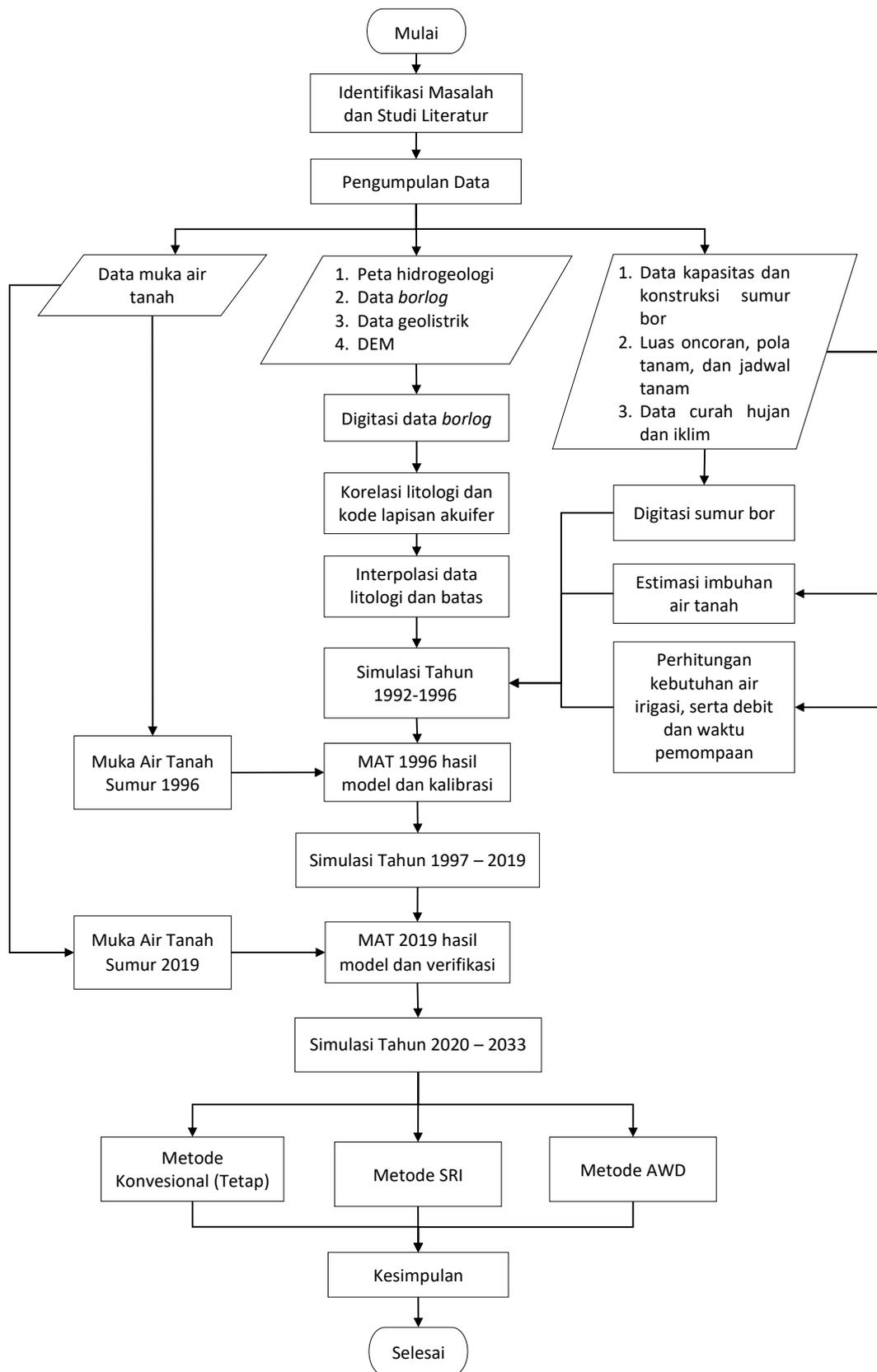
Tabel 1 Nilai parameter hidrogeologi pemodelan

Parameter	Nilai Parameter
Konduktivitas Horizontal (KH)	5 – 50 m/hari untuk lapis Akuifer, 1,5 – 2 untuk lapis Akuitar, dan 0,0001 – 0,0005 untuk lapis Akuiklud 0,3 – 0,5
Storativitas (S)	0,3 – 0,01 untuk lapis akuifer 1 serta 0,001 – 0,00001 untuk lapis akuifer 2 dan 3
Specific Yield (Sy)	0,03 – 0,7 tergantung jenis tanah.

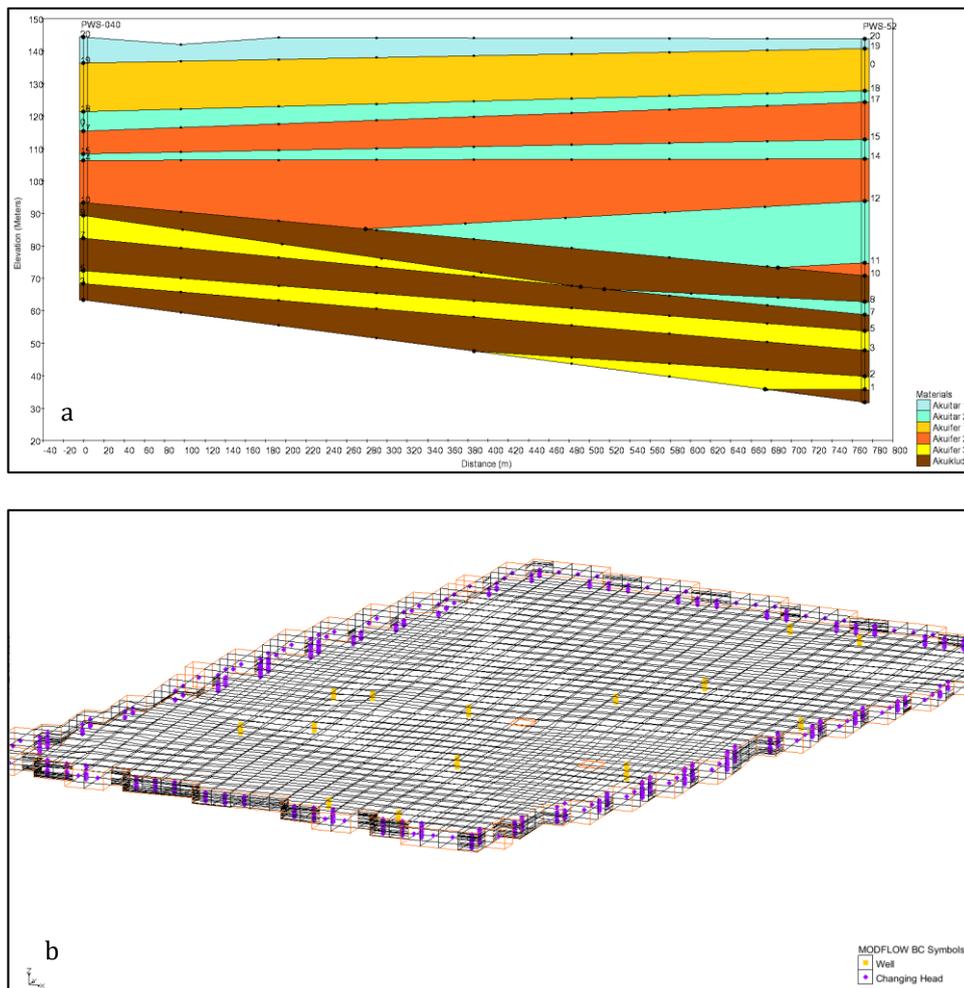
Sumber: Yousafzai et al. (2008)

Lokasi penelitian memiliki jenis tanah yang didominasi pasir, lempung berpasir, dan pasir berlempung. Kondisi iklim pada area tersebut pun memiliki curah hujan rata-rata sebesar 5,00 – 12,500 mm/hari, evapotranspirasi potensial rata-rata 3,000 – 6,300 mm/hari, serta perkolasi 2,000 mm/hari.

Kondisi batas yang digunakan untuk kondisi awal pemodelan adalah *boundary condition Specified Head* (CHD) dengan besar tinggi muka air diperoleh dari data tinggi muka air tanah dan kontur air tanah pada tahun 1996 dan 2019. Data tinggi muka air tanah dijadikan acuan untuk kalibrasi pemodelan sehingga dapat digunakan untuk berbagai simulasi. Data *Source/ Sink* yang dimasukkan ke dalam pemodelan adalah imbuan air tanah dan debit pemompaan untuk irigasi (lihat **Gambar 4b**). Metode perhitungan imbuan air tanah menggunakan metode neraca air yang mempertimbangkan beberapa faktor yaitu curah hujan, evapotranspirasi, dan tata guna lahan. Perhitungan kebutuhan air irigasi mengikuti Surat Edaran Menteri PUPR No. 07/SE/M/2018 dan Modul Jaringan Irigasi Air Tanah (BPSDM PUPR, 2017).



Gambar 3 Diagram alir penelitian



Sumber: Hasil Pemodelan, 2021

Gambar 4 Model geometri (a) akuifer (b) grid, boundary condition, dan sumur

Tabel 2 Kondisi dan kapasitas sumur serta debit pemompaan

Nama Sumur	Debit Sumur (liter/detik)	Luas Oncoran (Ha)	Kondisi Sumur	Debit Pemompaan (m ³ /hari)		
				Konvensional	SRI	AWD
PWS-031	16,03	15	Ada	972,00	777,60	680,40
PWS-034	11,01	10	Tidak	-	-	-
PWS-037	20,03	15	Ada	972,00	777,60	680,40
PWS-038	13,18	10	Ada	648,00	518,40	453,60
PWS-039	12,11	10	Ada	648,00	518,40	453,60
PWS-040	8,08	10	Ada	523,58	518,40	453,60
PWS-062	35,00	30	Ada	1944,00	1555,20	1360,80
PWS-063	25,00	20	Tidak	-	-	-
PWS-064	30,00	25	Ada	1620,00	1296,00	1134,00
PWS-068	15,00	15	Ada	784,73	777,60	680,40
PWS-157	55,00	45	Ada	2916,00	2332,80	2041,20
PWS-160	20,00	24	Ada	1296,00	1244,16	1088,64
PWS-235	24,00	20	Ada	784,73	784,73	784,73
PWS-236	38,01	30	Ada	1944,00	1555,20	1360,80

Kalibrasi model dilakukan dengan *sensitivity analysis*, yaitu mencari parameter hidrogeologi yang paling berpengaruh terhadap pemodelan. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengamati tinggi air tanah pada titik observasi dan menyesuaikan nilai parameter pada rentang nilai yang memungkinkan. Parameter hidrogeologi disesuaikan untuk meminimalkan perbedaan tinggi muka air tanah pada titik pantau.

Simulasi dilakukan pada kondisi tunak (*steady state*) dan *transient*. Kondisi *steady state* dilakukan pada tahun 1996 saat sumur dalam proses konstruksi, sedangkan kondisi *transient* pada tahun 1997 – 2019 dan proyeksi hingga tahun 2033. Proyeksi dilakukan dengan penerapan beberapa kebutuhan air irigasi yaitu kebutuhan air metode konvensional, SRI, dan AWD. Metode ini menerapkan sistem pemberian air yang berbeda sehingga kebutuhan air untuk irigasi pun berbeda. Kebutuhan yang berbeda berpengaruh terhadap besar debit pemompaan pada setiap sumur yang dimodelkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Aliran Air Tanah Aktual

Aliran air tanah yang masuk pada akuifer diperoleh dari *boundary condition* dan *recharge rate*. Tinggi muka air *boundary condition* pada bagian Utara dan Barat yang lebih tinggi, mengindikasikan adanya aliran masuk dari bagian tersebut. *Recharge rate* yang digunakan pada pemodelan merupakan curah hujan rata-rata tahunan dikurangi evapotranspirasi dan limpasan rata-rata. *Recharge rate* yang digunakan sebesar 1,68 mm/hari pada tahun 1992 – 1996, 1,45 mm/hari pada tahun 1997 – 2012, dan 0,52 mm/hari selama tahun 2013 – 2019.

Aliran yang keluar dari akuifer setempat merupakan aliran akibat *boundary condition* dan *discharge* untuk keperluan irigasi. Kebutuhan air irigasi pada lokasi penelitian yang hanya berasal dari sumur bor, ditentukan sebesar 1 L/detik/Ha dengan metode konvensional sesuai kondisi di lapangan.

Kalibrasi Model dan Analisis Sensitivitas

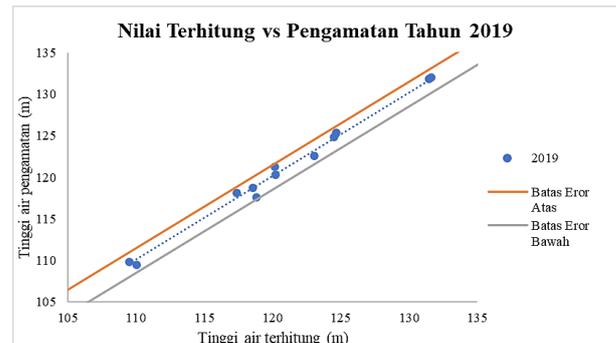
Kalibrasi dilakukan menggunakan tinggi muka air tanah (SWL) pada sumur tahun , lalu dimodelkan kembali pada tahun 1997 - 2019 dan diverifikasi pada tahun 2019. Prosedur kalibrasi mengikuti prosedur menurut (Qiu et al., 2015) bahwa nilai parameter hidrogeologi disesuaikan untuk meminimalkan perbedaan tinggi muka air tanah.

Hasil akhir parameter hidrogeologi dapat dilihat pada **Tabel 3**. Tinggi muka air tanah yang diamati dan yang dihitung dibandingkan dengan grafik *scatter* yang dapat dilihat pada gambar dengan batas *error* tinggi muka air tanah sebesar 1,5 meter (Meredith & Blais, 2019).

Berdasarkan grafik pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa tinggi muka air tanah yang dihitung dengan yang diamati terdapat kecocokan dan tidak melebihi batas *error* yang ada. Kesalahan rata-rata adalah 0,163 m dengan *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *R squared* sebesar 0,624 m dan 1. Perbedaan tinggi muka air tertinggi dan terendah adalah 1,214 m dan 0,116 m. Perbedaan tersebut disebabkan sebaran titik sumur yang sedikit dan tingkat akurasi muka air tanah cukup rendah.

Tabel 3 Kondisi akhir parameter hidrogeologi

Lapisan	Horizontal K, KH (m/hari)	Specific Storage, Ss (1/m)	Specific Yield, Sy
Akuitar 1	0,50	$5,00 \times 10^{-4}$	0,40
Akuitar 2	1,50	$3,00 \times 10^{-4}$	0,20
Akuifer 1	6,00	0,30	0,44
Akuifer 2	10,00	0,25	0,55
Akuifer 3	12,00	$1,00 \times 10^{-3}$	0,66
Akuiklud	$1,00 \times 10^{-4}$	$4,00 \times 10^{-4}$	0,03



Gambar 5 Scatter plot tinggi air terhitung vs pengamatan pada tahun 2019

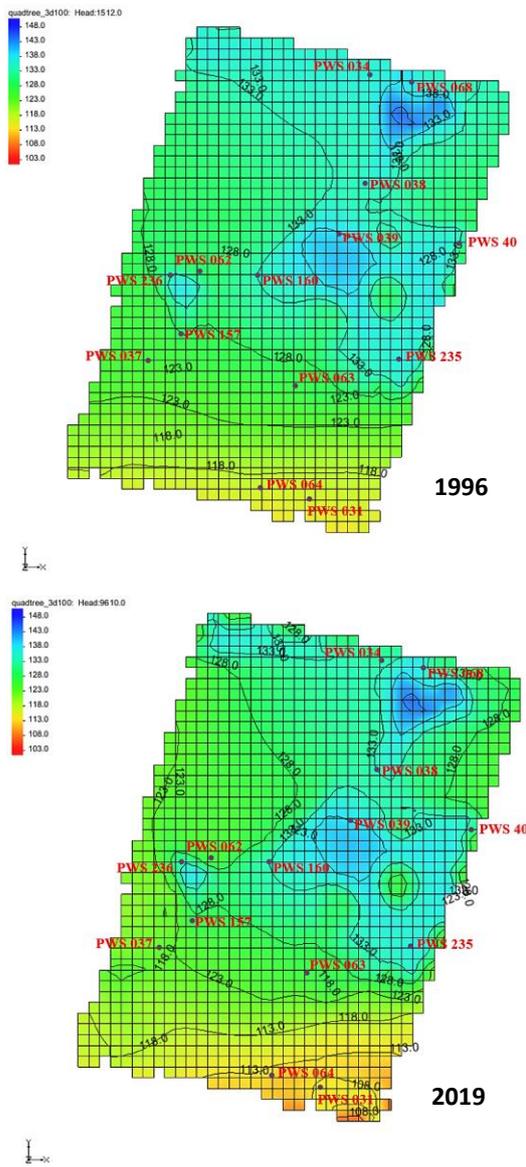
Analisis sensitivitas dilakukan pada parameter seperti *hydraulic conductivity*, *specific yield*, *specific storage*, dan *recharge*. Analisis dilakukan dengan memasukkan nilai parameter bervariasi di seluruh rentang nilai kemungkinan (Yousafzai et al., 2008). Nilai suatu parameter meningkat atau menurun sebesar 5%, 10%, dan 20% pada kondisi parameter lain tetap atau tidak berubah. Model tersebut sangat responsif terhadap perubahan parameter *recharge* dan *hydraulic conductivity*, sedangkan *specific yield* dan *specific storage* relatif kecil. Tanda negatif menunjukkan perubahan tinggi muka air tanah menurun, sedangkan tanda positif sebaliknya. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Perubahan tinggi MAT terhadap perubahan nilai parameter

Kategori	Perubahan Tinggi Muka Air Tanah (%)			
	K	Ss	Sy	RCH
-20%	-0,048	-0,040	-0,004	-0,053
-10%	-0,021	-0,019	-0,002	-0,026
-5%	-0,010	-0,009	-0,001	-0,013
+5%	0,009	0,009	0,001	0,013
+10%	0,017	0,018	0,001	0,026
+20%	0,031	0,035	0,004	0,053

Simulasi Kondisi Aktual

Simulasi dilakukan secara bertahap dengan simulasi pada tahun 1996 dan 2019. Hasil simulasi pada tahun 1996 dan 2019 (lihat **Gambar 6**) dibandingkan besar penurunannya dan faktor yang mempengaruhi aliran air tanah.



Gambar 6 Hasil Simulasi Air Tanah Aktual

Berdasarkan hasil terlihat perubahan muka air tanah yang cukup signifikan terutama pada bagian Selatan dan Barat lokasi. Perubahan terbesar mencapai -7,9 meter dan terendah sebesar -1 meter. Penurunan terjadi akibat tingginya aliran air tanah yang keluar dari *Southern-Eastern boundary* mencapai 60% dari total air tanah yang keluar. Kondisi batas pada wilayah tersebut menggunakan aliran *transient* karena tinggi muka air tanah berubah setiap periode waktunya. Pemompaan sumur bor pun cukup memengaruhi tinggi muka air tanah pada lokasi penelitian dengan persentase sekitar 30%. Kondisi sumur yang mengalami kerusakan pada tahun 2012-2018 menjadikan dampak penurunan air tanah akibat pemompaan semakin kecil. Sedangkan besar aliran yang masuk tersimpan sangat baik pada akuifer hingga 50% dari total air masuk. Hasil tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Kumulatif Neraca Air Pemodelan

Source/ Sink	Computed Flow In (m ³)	Computed Flow Out (m ³)
Western-Northern boundary	9,50 × 10 ⁷	
Southern-Eastern boundary		-2,93 × 10 ⁸
Aquifer Storage	2,34 × 10 ⁸	-4,78 × 10 ⁵
Recharge	1,14 × 10 ⁸	
Wells		-1,51 × 10 ⁸

Hasil tersebut sesuai dengan penjelasan Mainuddin et al., (2020) - studi kasus irigasi air tanah di Bangladesh Barat Laut - bahwa penggunaan air tanah untuk irigasi tidak memiliki dampak penurunan tinggi muka air tanah sebesar yang diperkirakan. Hal tersebut dikarenakan air irigasi akan kembali masuk ke dalam tanah dan mengisi kembali akuifer. Namun pengisian tersebut lebih kecil dari pengambilan yang dilakukan akibat evaporasi dan air yang melimpas menuju jalan atau saluran air. Adapun penggunaan air yang berlebihan, dapat menyebabkan penurunan air tanah yang cukup signifikan sehingga perlu adanya penerapan irigasi yang hemat air.

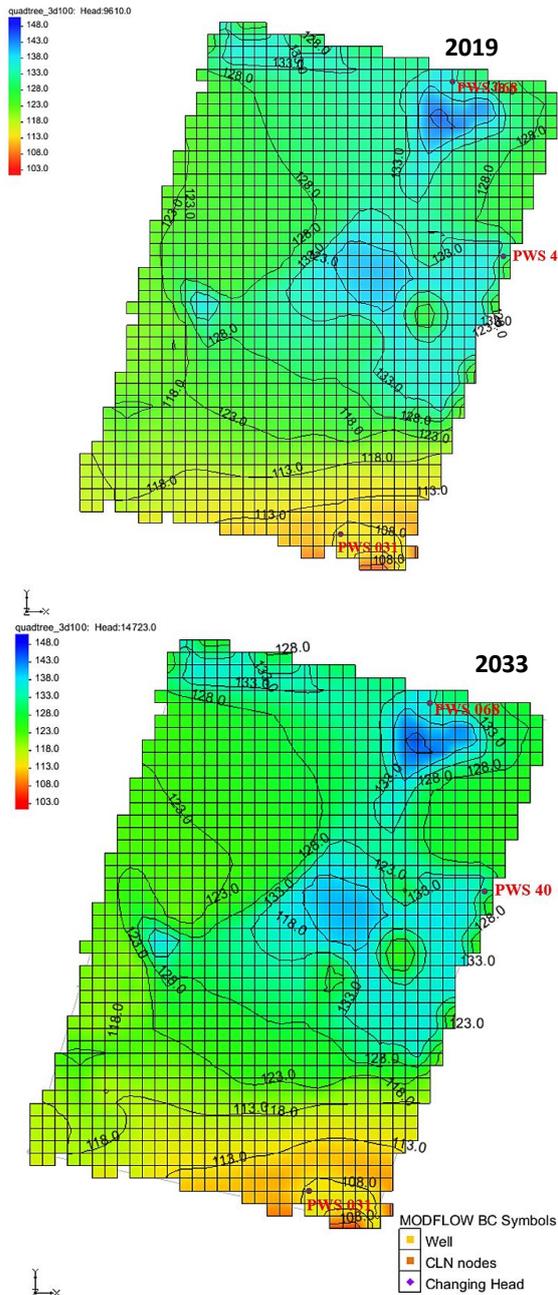
Dalam penelitiannya, Gabr et al., (2020) pun menjabarkan bahwa penyebab penurunan muka air tanah di wilayah Wadi Uranah Makkah adalah penggunaan air tanah untuk irigasi yang begitu besar. Namun metode irigasi yang digunakan saat ini juga berkontribusi terhadap penggunaan air yang tinggi dikarenakan kehilangan air akibat penguapan.

Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode irigasi menjadi faktor penting dalam

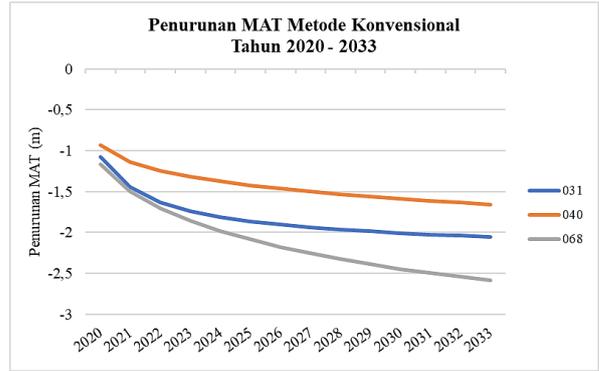
besarnya kebutuhan irigasi. Irigasi yang lebih hemat air akan mengurangi dampak penurunan air tanah.

Simulasi Skenario Efisiensi Penggunaan Air

- 1) Kebutuhan Air Metode Konvensional
 Pemodelan pada skenario 1 dilakukan sesuai dengan kondisi di lapangan dengan asumsi tidak ada upaya penggantian metode irigasi. Kebutuhan air untuk metode konvensional adalah 1 L/detik/Ha.



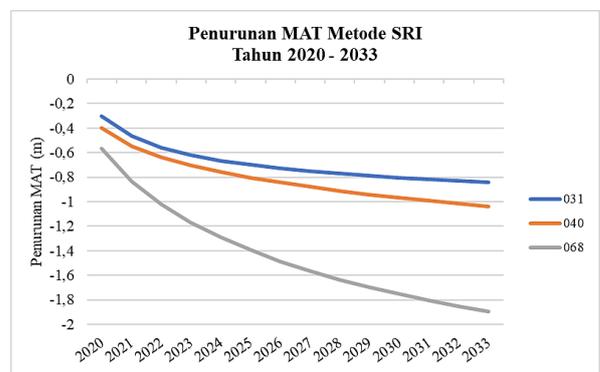
Gambar 7 Perbandingan Hasil Simulasi Metode Konvensional Tahun 2033 dengan 2019



Gambar 8 Penurunan MAT Metode Konvensional Tahun 2020-2033

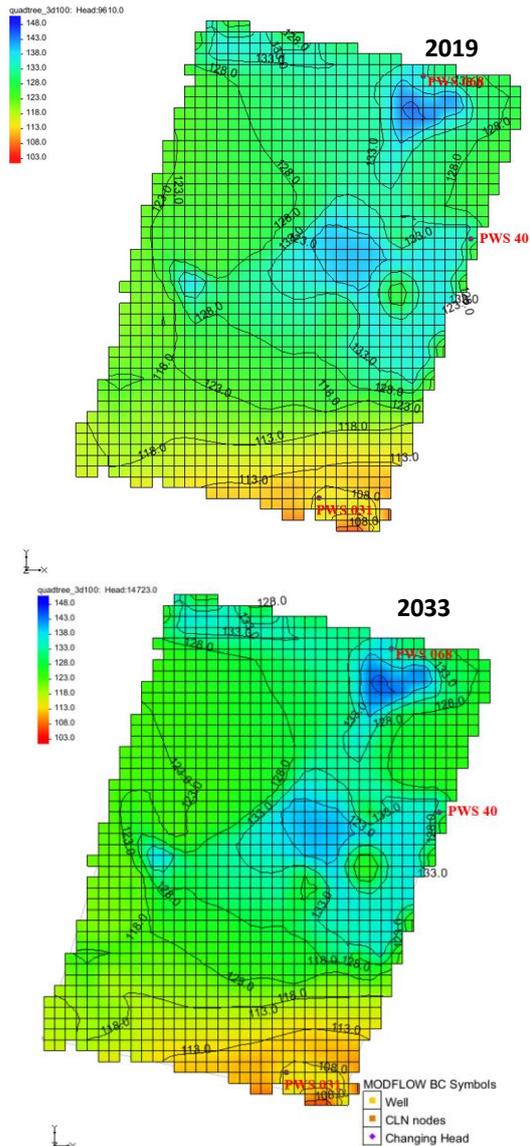
Gambar 7 menunjukkan terjadi penurunan muka air tanah pada tahun 2033 terutama pada wilayah bagian Barat. Besar penurunan pada beberapa titik observasi juga dapat dilihat pada **Gambar 8** yang menggambarkan penurunan terbesar pada titik 068 yaitu -2,585 m. Penurunan terendah terjadi pada titik 040 sebesar -1,655 m.

- 2) Kebutuhan Air Metode SRI
 Skenario 2 mengganti metode konvensional dengan metode SRI dengan kebutuhan air sebesar 0,8 L/detik/Ha dengan tinggi air dan volume pemberian air untuk padi sebesar 5 cm dan 5000 L/Ha. Metode SRI telah banyak digunakan di Indonesia seperti Malang (Shintya & Harisuseno, 2016) dan Bogor (Fuadi et al., (2016) dan Arif et al., (2016)). Selain hemat air, metode SRI juga meningkatkan produktivitas beras dan luas lahan tanam. Hasil pemodelan untuk metode SRI dapat dilihat pada gambar berikut.



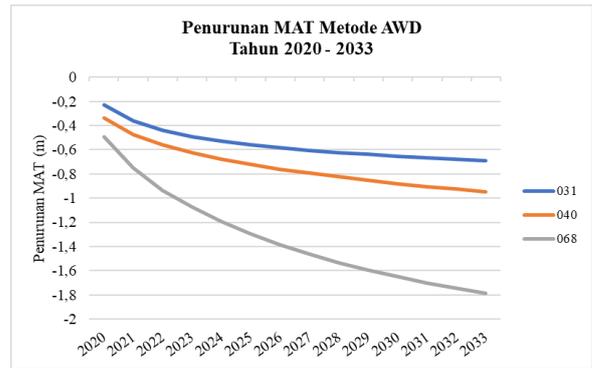
Gambar 9 Penurunan MAT Metode SRI Tahun 2020-2033

Gambar 9 menunjukkan bahwa tetap terjadi penurunan air tanah pada titik-titik observasi namun tidak sebesar metode konvensional. Penurunan pada titik 068 hanya mencapai -1,895 m sedangkan terkecil pada titik 031 yaitu -0,845 m. Hasil simulasi dapat dilihat pada **Gambar 10**.

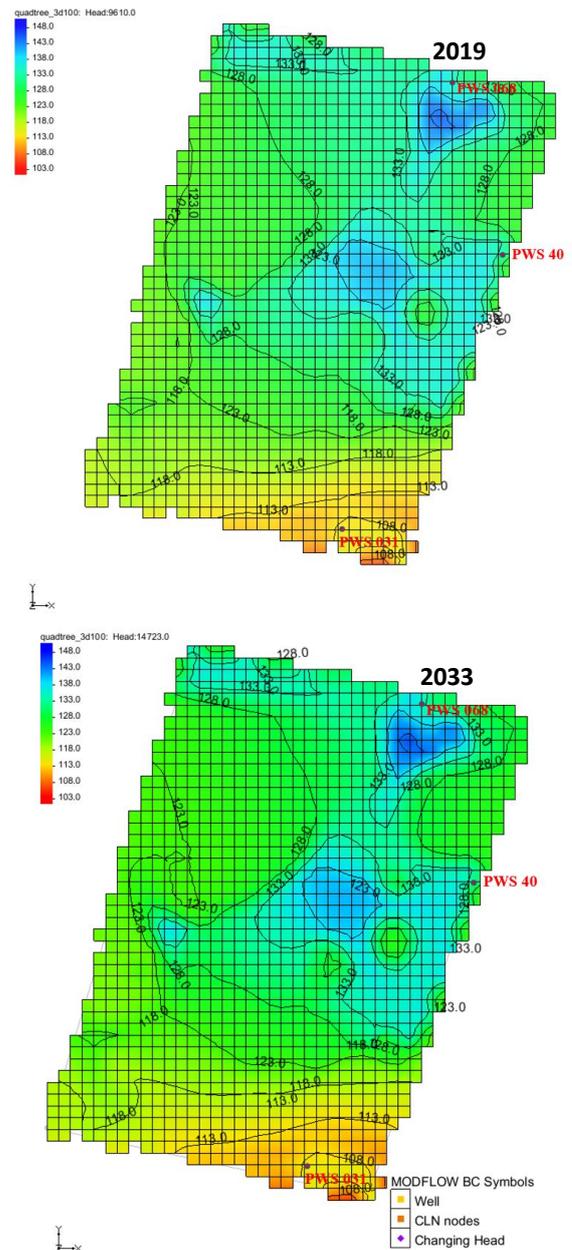


Gambar 10 Perbandingan Hasil Simulasi Metode SRI Tahun 2033 dengan 2019

3) Kebutuhan Air Metode AWD
 Penerapan metode AWD pada skenario 3 dilakukan karena banyak negara yang menerapkan metode tersebut dan efisien dalam menghemat air untuk irigasi. Metode AWD juga dapat meningkatkan produktivitas padi (Zhuang et al., 2019). Hasil penelitian (**Gambar 11** dan **Gambar 12**) menunjukkan bahwa tetap terjadi penurunan namun lebih rendah dari metode konvensional maupun SRI. Besar kebutuhan air metode AWD adalah 0,7 L/detik/Ha untuk tinggi air untuk padi 5 cm dan frekuensi pemberian air 23 – 25 kali tergantung dari umur padi. Penurunan air tanah terbesar dan terkecil terjadi pada titik 068 dan titik 031 yaitu -1,788 m dan -0,692.



Gambar 11 Penurunan MAT Metode SRI Tahun 2020-2033



Gambar 12 Perbandingan Hasil Simulasi Metode AWD Tahun 2033 dengan 2019

Hasil ketiga skenario tersebut menunjukkan bahwa penurunan terbesar terjadi pada kebutuhan air metode konvensional, dan terkecil adalah kebutuhan air metode AWD. Persentase penurunan untuk setiap metode dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Persentase Penurunan MAT Berbagai Metode

Titik Observasi	Persentase Penurunan		
	Konvensional	SRI	AWD
031	15,32%	5,69%	4,57%
040	12,26%	6,88%	6,17%
068	17,87%	11,87%	11,04%

Persentase penurunan terkecil untuk metode konvensional terdapat pada titik observasi 040 dengan nilai 12,26%, sedangkan kedua metode lainnya memiliki persentase penurunan terkecil pada titik observasi 031 yaitu 5,69% kebutuhan air metode SRI dan 4,57% kebutuhan air metode AWD. Persentase penurunan tertinggi pada setiap metode terjadi pada titik observasi 068 yaitu 17,87% (Konvensional), 11,87% (SRI), dan 11,04% (AWD). Hasil ini menunjukkan bahwa metode SRI dan AWD dapat mengurangi kemungkinan penurunan air tanah yang terjadi mencapai 50% dari metode konvensional. Penggunaan air yang lebih efisien pada metode SRI dan AWD berbanding lurus dengan kemungkinan terjadinya penurunan air tanah. Semakin kecil air yang digunakan (ekstraksi air tanah) maka semakin kecil pula penurunan yang akan terjadi.

Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian Su et al., (2017) dan Seizarwati et al., (2018) yang menyatakan bahwa pengurangan ekstraksi air tanah efektif dalam mengurangi dampak penurunan muka air tanah. Simpulan tersebut juga didukung penelitian Kumar & Rajitha (2019), Bagus Budianto et al., (2020), dan Shintya & Harisuseno (2016) yang menyatakan bahwa metode SRI dan AWD dapat mengurangi penggunaan air 30 – 80% tergantung dari faktor iklim dan faktor teknis. Penjadwalan dan pola tanam yang berpengaruh terhadap besarnya kebutuhan air pun harus diperhitungkan sehingga diperoleh irigasi yang hemat air dan tidak mengeksploitasi air tanah secara berlebihan.

KESIMPULAN

Simulasi air tanah dengan MODFLOW-USG menunjukkan hasil yang cukup baik untuk mensimulasikan air tanah di Kabupaten Sragen . Parameter yang mempengaruhi pemodelan air tanah adalah *recharge rate* dan *hydraulic conductivity*. Perubahan muka air tanah yang cukup signifikan terjadi pada pemodelan tahun 2019 dibandingkan dengan tahun 1996. Perubahan

terbesar mencapai -7,9 meter pada bagian Selatan dan Barat lokasi. Faktor utama terjadinya penurunan adalah tingginya aliran air tanah yang keluar dari batas wilayah Tenggara dan pemompaan sumur bor.

Penerapan berbagai kebutuhan air irigasi menunjukkan bahwa kebutuhan air AWD dapat mengurangi penurunan muka air tanah hingga 70%, dan kebutuhan air SRI mencapai 60% dibandingkan metode konvensional. Besar kebutuhan air irigasi maksimum dalam satu tahun dengan metode AWD dan SRI pun lebih rendah hingga 30% dari metode konvensional. Hal itu menunjukkan bahwa semakin hemat air yang diperlukan untuk irigasi, semakin rendah juga besar penurunan air tanah yang terjadi. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa kebutuhan air AWD adalah yang paling efisien dalam mengurangi penurunan muka air tanah namun tetap mempertahankan produktivitas tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Air Tanah dan Air Baku yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian terkait penurunan air tanah di Kabupaten Sragen. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada BBWS Bengawan Solo yang telah memberikan arahan dan tim Pendayagunaan Air Tanah yang telah membimbing selama proses penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A. B., & Appiah-Adjei, E. K. (2019). Groundwater potential for irrigation in the Nabogo basin, Northern Region of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(August), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100274>
- Aghlmand, R., & Abbasi, A. (2019). Application of MODFLOW with boundary conditions analyses based on limited available observations: A case study of Birjand plain in East Iran. *Water (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/w11091904>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Munarso, D. T., Didik, M., Simarmata, P. W., & Mizoguchi, M. (2016). Potensi pemanasan global dari padi SAWAH System of Rice Intensification (SRI) dengan berbagai ketinggian muka air tanah. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 81–90.
- Atwill, R. L., Krutz, L. J., Bond, J. A., Golden, B. R., Spencer, G. D., Bryant, C. J., Mills, B. E., & Gore, J. (2020). Alternate wetting and drying reduces aquifer withdrawal in Mississippi rice production

- systems. *Agronomy Journal*, 112(6), 5115–5124. <https://doi.org/10.1002/agj2.20447>
- Bagus Budianto, M., Supriadi, A., Hidayat, S., & Salehudin, S. (2020). Model Irigasi Hemat Air Perpaduan System of Rice Intensification (SRI) dengan Alternate Wetting and Drying (AWD) pada Padi Sawah. *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(2), 128–136. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2020.011.02.06>
- BPSDM. (2019). *Modul 3 Hidrogeologi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- BPSDM PUPR. (2017). *Modul 10 Jaringan Irigasi Air Tanah: Pelatihan Perencanaan Air Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Budiarjo, B., & Hendrayana, H. (2020). Analisis geometri dan konfigurasi sistem akuifer air tanah berdasarkan data geofisika di kabupaten Sleman bagian Timur. *Jurnal Fisika Indonesia*, 23(1), 7. <https://doi.org/10.22146/jfi.v23i1.42997>
- Fuadi, N. A., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2016). Kajian kebutuhan air dan produktivitas air padi sawah dengan sistem pemberian air secara SRI dan konvensional menggunakan irigasi pipa. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.31028/ji.v11.i1.23-32>
- Gabr, S. S., Farg, E. F., Habeebullah, T. M., & Arafat, S. M. (2020). Irrigation water consumption and its impact on the groundwater aquifer of Wadi Uranah, Makkah, Saudi Arabia using remote sensing techniques. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.10.001>
- Indonesia. (2019). Undang-undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2019 Nomor 190. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Kreasi Geologi. (2021). Peta Administrasi Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah. <https://neededthing.blogspot.com/2021/03/peta-administrasi-kabupaten-sragen.html?m=1> (accessed November 8, 2021)
- Kumar, K. A., & Rajitha, G. (2019). Alternate Wetting and Drying (AWD) irrigation - A smart water saving technology for rice: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(03), 2561–2571. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.304>
- Mainuddin, M., Maniruzzaman, M., Alam, M. M., Mojid, M. A., Schmidt, E. J., Islam, M. T., & Scobie, M. (2020). Water usage and productivity of Boro rice at the field level and their impacts on the sustainable groundwater irrigation in the North-West Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 240, 106294. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106294>
- Meredith, E., & Blais, N. (2019). Quantifying irrigation recharge sources using groundwater modeling. *Agricultural Water Management*, 214, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.032>
- Panday, S., Langevin, C. D., Niswonger, R. G., Ibaraki, M., & Hughes, J. D. (2013). *MODFLOW – USG Version 1: An Unstructured Grid Version of MODFLOW for Simulating Groundwater Flow and Tightly Coupled Processes Using a Control Volume Finite-Difference Formulation*. U.S. Geological Survey.
- Putri, M. A., Risanti, A. A., Cahyono, K. A., Latifah, L., Rahmawati, N., Ariefin, R. F., Prameswari, S., Waskito, W. A., Adji, T. N., & Cahyadi, A. (2018). Hidrostratigrafi akuifer dan estimasi potensi airtanah bebas guna mendukung kebutuhan air domestik desa sembungan. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 108. <https://doi.org/10.22146/mgi.32296>
- Qiu, S., Liang, X., Xiao, C., Huang, H., Fang, Z., & Lv, F. (2015). Numerical simulation of groundwater flow in a River Valley Basin in Jilin Urban Area, China. *Water (Switzerland)*, 7(10), 5768–5787. <https://doi.org/10.3390/w7105768>
- Seizarwati, W., Prasetya, D., Syahidah, M., & Rengganis, H. (2018). Simulasi aliran air tanah Jakarta dengan beberapa skenario menggunakan MOD. *Jurnal Sumberdaya Air*, 14, 97–110.
- Shintya Agustien Puteriana., Donny Harisuseno., T. B. P. (2016). Kajian sistem pemberian air irigasi metode konvensional dan metode SRI (System of Rice Intensification) pada daerah irigasi pakis kecamatan Pakis kabupaten Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(2), 236–247.
- Su, X., Yuan, W., Du, S., Cui, G., Bai, J., & Du, S. (2017). Responses of groundwater vulnerability to groundwater extraction reduction in the Hun River Basin, northeastern China. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(5), 1121–1139. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1300858>
- Sudarmo, G. D., Trimariat, F., Pradipta, E. G., & Dipl., I. S. (2019). Kondisi muka airtanah berdasarkan data muka airtanah pada 12 sumur produksi di wilayah kecamatan gemolong dan sekitarnya, kabupaten Sragen, Jawa tNgah. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Ke-4 Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia (PAAI)*, November, 6–7.

Yousafzai, A., Eckstein, Y., & Dahl, P. (2008). Numerical simulation of groundwater flow in the Peshawar intermontane basin, northwest Himalayas. *Hydrogeology Journal*, 16(7), 1395–1409. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0355-5>

Zhuang, Y., Zhang, L., Li, S., Liu, H., Zhai, L., Zhou, F., Ye, Y., Ruan, S., & Wen, W. (2019). Effects and potential of water-saving irrigation for rice production in China. *Agricultural Water Management*, 217(March), 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.010>