

# ANALISIS SENSITIVITAS PADA PEMODELAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE *FINITE DIFFERENCE* PADA KONDISI *STEADY STATE* DI KABUPATEN BANTUL, DIY

Satria Fitrio\*, Tedy Agung C, Barlian Dwinagara, Muhammad Iqbal Ansori  
Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta  
\*Email: [satriafitrio90@gmail.com](mailto:satriafitrio90@gmail.com)

## Abstrak

Pemodelan airtanah merupakan suatu bentuk atau gambaran secara digital baik 2D maupun 3D yang dapat merepresentasi atau mendekati bentuk nyata dilapangan. Pemodelan airtanah dibuat bertujuan untuk memperlihatkan gambaran atau sistem dari aliran air yang berada dibawah permukaan tanah. Airtanah merupakan komponen penting yang ada dalam siklus hidrogeologi dan pengelolaan air tanah sangat perlu dilakukan agar kelestarian atau sistem tatanan airtanah dapat terjaga dengan baik hingga dimasa mendatang. Adapun tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pemodelan dari airtanah dan pola persebaran air tanah dari proses kalibrasi pada kondisi steady state menggunakan program MODFLOW. Kalibrasi pemodelan air tanah yang digunakan bertujuan untuk memvalidasi kecocokan hasil model dengan kondisi dilapangan. Kalibrasi yang dilakukan menggunakan sumur dangkal setidaknya lebih dari 67 sumur warga dengan mengabungkan parameter topografi, Konduktivitas hidraulik, recharge, storativitas, constant head, dan muka air tanah yang telah diolah dalam program komputasi Modflow. Hasil analisis sensitivitas kalibrasi pemodelan dilakukan menjadi beberapa tahapan scenario kalibrasi sehingga didapatkan hasil yang paling mendekati standar kriteria model airtanah.

**Kata Kunci:** Pemodelan airtanah, Modflow, Kalibrasi, airtanah, steady state

## Abstract

Groundwater modeling is a form or digital image both 2D and 3D that can represent or approach the real form in the field. Groundwater modeling is made to show an overview or system of water flow under the ground surface. Groundwater is an important component in the hydrogeological cycle and groundwater management is very necessary so that the sustainability or the groundwater order system can be well maintained in the future. The purpose of this study is to determine the modeling of groundwater and groundwater distribution patterns from the calibration process in steady state conditions using the MODFLOW program. Groundwater modeling calibration used aims to validate the suitability of the model results with field conditions. The calibration is carried out using shallow wells of at least 67 community wells by combining topographic parameters, hydraulic conductivity, recharge, storativity, constant head, and ground water level that have been processed in the Modflow computational program. The results of the sensitivity analysis of modeling calibration are carried out into several stages of calibration scenarios so that the results that are closest to the standard criteria for groundwater models are obtained.

**Keywords:** Groundwater modeling, Modflow, Calibration, groundwater, steady state

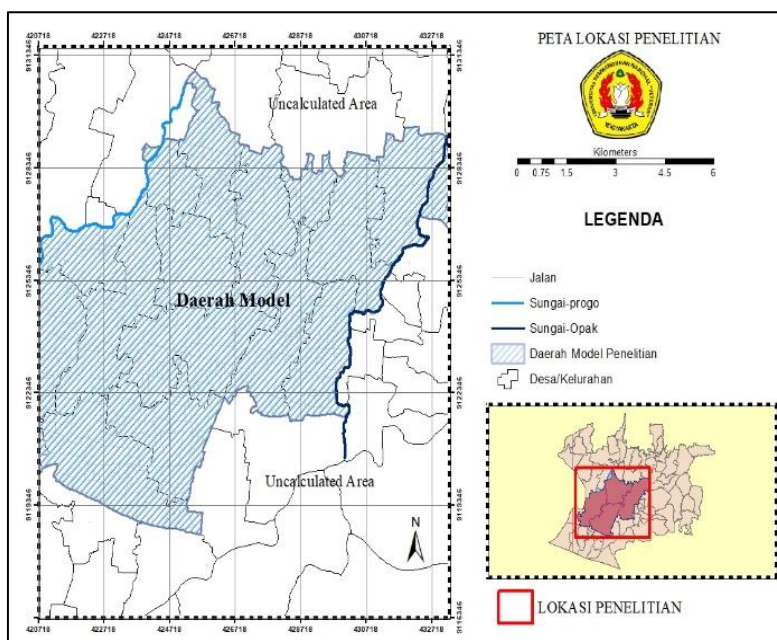
## 1. Pendahuluan

Pemodelan airtanah merupakan hasil penggambaran dari sebuah model yang dibuat berdasarkan suatu perencanaan, rancangan, yang dikembangkan dan kemudian dimanfaatkan agar dapat dikelola agar kelestarian airtanah pada suatu daerah dapat terjaga. Model juga merupakan suatu gambaran atau representasi dari nyata dari sesuatu yang kompleks [1]. Model airtanah sering digunakan sebagai alat untuk memprediksi suatu kejadian yang ada dalam sistem airtanah dibawah permukaan, dan model airtanah juga biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi tentang parameter pengontrol yang ada dalam sistem airtanah yang kemudian akan digunakan untuk membuat suatu kerangka dalam mengorganisir data lapangan yang akan digunakan. [2]. Dalam pemodelan airtanah pengumpulan dan interpretasi data, pemahaman sistem alamiah (natural system), konseptualisasi sistem airtanah kalibrasi, validasi model, analisa eror model, aplikasi model dan presentasi hasil model merupakan tahapan dalam pemodelan airtanah [3]. Pengumpulan data pemodelan airtanah yang telah dikumpulkan selanjutnya akan dijalankan kedalam suatu program komputasi. Modflow merupakan perangkat komputasi yang sering digunakan pada pemodelan air tanah. Pemodelan air tanah dilakukan untuk menggambarkan bentuk aliran air tanah dan transportasinya secara 2 dimensi dan 3 dimensi [4]. Dalam pemodelan metode pendekatan yang digunakan pada model penelitian adalah metode pendekatan beda hingga (*finite difference*), dan

salah satu program komputer yang menerapkan metode *finite different* adalah perangkat lunak MODFLOW [2]. Kalibrasi model merupakan mencocokkan hasil simulasi dan membandingkan data hasil kalibrasi dengan metode *trial and error* dengan data hasil pengukuran dilapangan. Yang mana kriteria kecocokan hasil yang didapat dari trial dan error yaitu dilihat dari nilai NRMS (*Normalise Root Mean Square*) dan (*Root Mean Square*) RMS sekecil mungkin. Menurut Spitz & Moreno [3], salah satu kriteria eror yang dapat dijadikan sebagai referensi eror model dan digunakan dalam penelitian ini adalah *normalized root mean squared*. hasil kalibrasi dianggap cukup bila varian antara data prediksi dan obserasi kurang dari 10%. Dalam hal ini, bilamana *normalized root mean squared* memiliki nilai kurang dari 10% (<10%), maka eror model dapat diterima. Nilai data input diubah dalam rentang tertentu sampai hasil simulasi dan hasil pengukuran sesuai dalam batas toleransi tertentu. Data input dan perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat dirubah secara manual (*trial-error-adjustment*) atau secara otomatis (*inverse model* atau *parameter estimation model*). Jika model airtanah terkalibrasi tidak menghasilkan hasil yang akurat saat validasi, maka model harus dikalibrasi kembali [3]. Karena dari itu, tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pemodelan dari airtanah dan pola aliran airtanah sebelum dikalibrasi dan setelah di kalibrasi pada kondisi *steady state* dengan menggunakan metode trial and error hingga hasil dapat memenuhi kriteria model yang sesuai dengan lapangan.

## 2. Lokasi penelitian

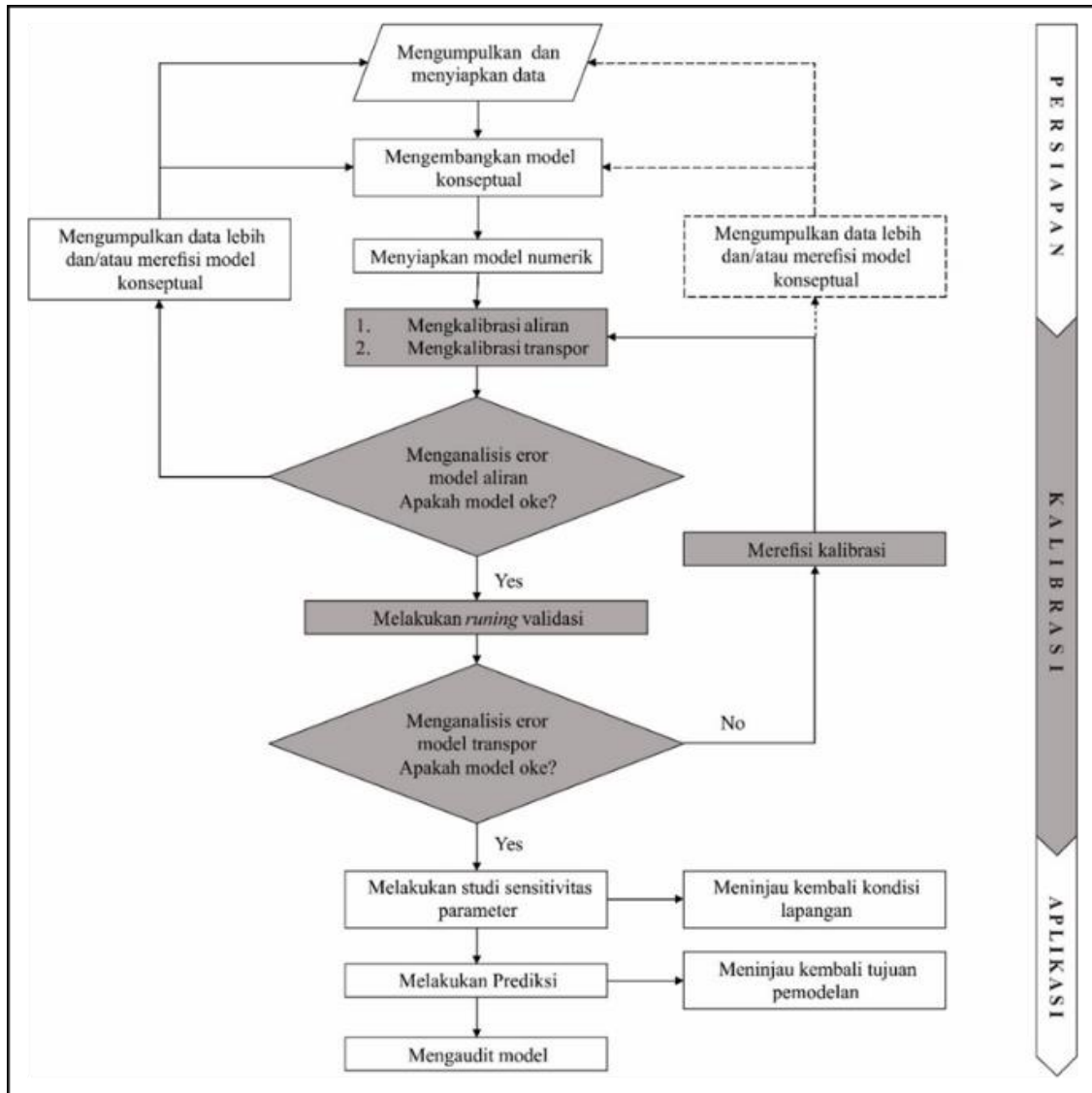
Lokasi penelitian terletak di bagian selatan Yogyakarta pada daerah kabupaten Bantul yang mana mencakupi beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Pandak, Kecamatan Bambanglipuro, Kecamatan Bantul dan Kecamatan Jetis (Gambar.1). Kabupaten Bantul terletak antara  $07^{\circ} 44' 04''$  -  $08^{\circ} 00' 27''$  LS dan  $110^{\circ} 12' 34''$  -  $110^{\circ} 31' 08''$  BT. Luas dari Kabupaten Bantul sendiri  $506,85 \text{ Km}^2$  dengan topografi sebagai dataran rendah (40%) lebih dari separuhnya (60%) daerah perbukitan yang kurang subur dengan luas keseluruhan dari lokasi penelitian sebesar  $93,42 \text{ Km}^2$  dengan luas rata-rata sebesar  $23,36 \text{ Km}^2$ .



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## 3. Metode penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder, seperti data curah hujan, logbor, data sungai, elevasi, sumur warga setidaknya lebih dari 50 data sumur dan elevasinya, parameter hidrogeologi (nilai K, Storativitas, *specific yield*). Data-data yang terkumpul akan diolah menjadi data topografi, recharge, evapotranspirasi yang kemudian akan diinput kedalam program komputasi Modflow dengan metode pendekatan beda hingga (*Finite Difference*), dan untuk tahapan kalibrasi analisis sensitivitas digunakan metode *trial and error* yang terbagi menjadi beberapa tahapan kalibrasi hingga hasil dari Nilai NRMS yang didapat telah memenuhi kriteria yang ditetapkan (Gambar.2).



Gambar 2. Proses Pemodelan Airtanah [3]

**4. Data**

Pengumpulan data primer yang dilakukan dalam penelitian ini berupa pengukuran data sungai (kedalaman sungai, lebar sungai, elevasi muka air tanah sungai, ketebalan sedimen, dan muka air tanah), pada sumur dangkal (sumur gali warga) elevasi, muka airtanah. Sedangkan untuk data skunder yang didapat berupa data curah hujan (BMKG), Logbor, Pemanfaatan airtanah baik domestik dan Non domestik seperti industri dan usaha lainnya yang memanfaatkan airtanah dalam waktu jangka panjang dari Lembaga pemerintah (PUP-ESDM) Yogyakarta.

**5. Hasil Dan Analisis**

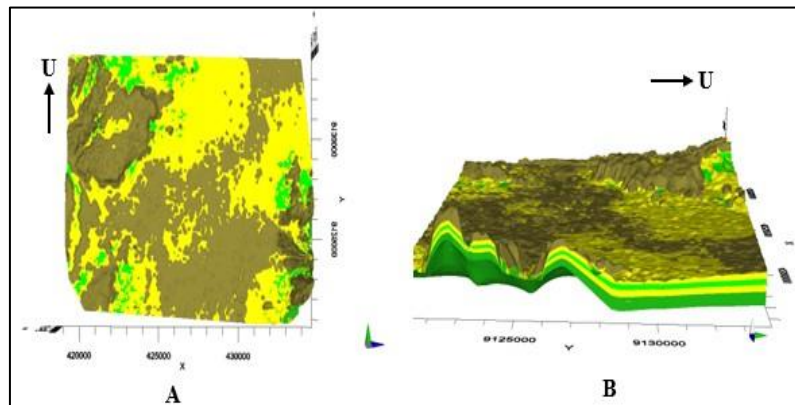
Dalam pembuatan model aliran airtanah, kebutuhan data yang mana, baik data primer maupun data sekunder, merupakan kunci utama dalam menyelesaikan rancangan model. Data yang telah dikumpulkan yang selanjutnya diolah secara manual. Data primer dan skunder yang telah dikumpulkan kemudian diinput menggunakan perangkat lunak modflow untuk membuat model konseptual daerah penelitian berdasarkan data lapangan.

**Tabel 1.** Parameter pemodelan dan sumber data yang umum untuk model [3].

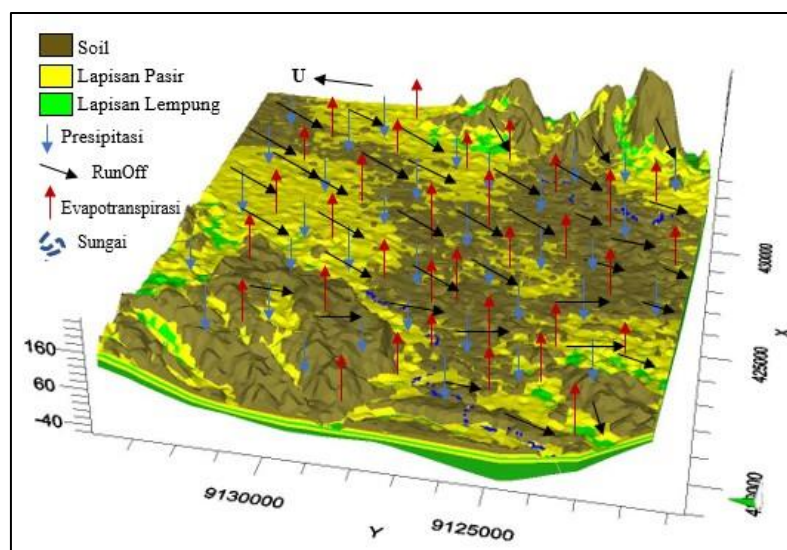
No	Parameter Input Model	Sumber data
1	Konduktivitas Hidrolika	Pumping Test, slug test, dan packer test
2	Satuan hidrogeologi	Logbor, log geofisika, dan peta geologi
3	<i>Spesific Storage</i> <i>Spesific Yield</i>	<i>Slug test, pumping test,</i> data porositas
4	Imbuhan ( <i>Recharge</i> ) dan <i>Discharge</i> (lepasan)	Presipitasi, properti tanah, data pemompaan, elevasi, peta vegetasi, tata guna lahan
5	Properti tak jenuh ( <i>unsaturated soil</i> )	Parameter test
6	Tinggi muka air tanah	Muka air di lapangan
7	Porositas	Analisa tanah

### 5.1. Model Konseptual

Pengumpulan data yang diperlukan dalam pemodelan akan dilanjutkan kedalam pembuatan model konseptual yang mana pada penelitian ini model konseptual dibangun agar dapat memberikan gambaran atau informasi dari kondisi alamiah sistem hidrogeologi pada daerah penelitian.



**Gambar 3.** Model konseptual A tampak atas dan B tampak samping



**Gambar 4.** Model konseptual kondisi alamiah hidrogeologi daerah penelitian.

Dalam model konseptual ini akuifer air tanah terbagi menjadi 2 yaitu akuifer bebas dan akuifer semi-tertekan yang memiliki nilai konduktivitas hidrolika yang berbeda yakni 2,7 m/d dan 1,2 m/d berdasarkan data logbor yang telah dihitung didaerah penelitian. Akuifer atas yang berada pada elevasi  $\pm 17-57$  mdpl dengan ketebalan lapisan  $\pm 10$  m, sedangkan akuifer bawah  $\pm (-10) - 23$  mdpl dengan ketebalan akuifer lebih kurang sama dengan lapisan atasnya 10 m. Untuk nilai *Specific Yield* (Sy) dan Storativitas (Ss) yang ada pada daerah penelitian yaitu sebesar 0,2 untuk *Spesifik Yield* (Sy) dan 0,03-0,2 pada Ss (storativitas). Kedua akuifer dilokasi penelitian dibatasi oleh lapisan lempung yang memiliki ketebalan  $\pm 5$  m dengan elevasi  $\pm 12-17$  mdp. Sedangkan lapisan lempung yang berada dibawah lapisan akuifer bawah ditetapkan sebagai *no-flow boundary*.

**Tabel 2.** Karakteristik Hidrolik SAM [5]

No.	Karakteristik Akuifer	Satuan	Rentang nilai
1	Transmissivity	m <sup>3</sup> /day	10-3000
2	Hydraulic Conductivity	m/day	3-700
3	Specific Capacity	1/s/m	0.1-35
4	Specific Yield (layer akuifer bagian atas)	-	0.1-0.3
5	Storativity (layer akuifer bagian bawah)	-	0.06-0.1

Pada (Tabel 2) dapat terlihat karakteristik hidrolik SAM yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai *spesifik yield* (sy) maupun storativitasnya (Ss). Karakteristik akuifer dapat dianggap sama dengan hasil tersebut. Konduktivitas hidrolika dan *specific yield* akuifer dalam penelitian ini didapat berdasarkan data logbor yakni 2,7 m/d dan *specific yield* sebesar 20% atau 0,2. Sementara, konduktivitas hidrolika Akuifer Bawah diperoleh berdasarkan hasil kalkulasi rata-rata transmitivitas hasil analisis data pumping test oleh dinas PUP-ESDM di daerah penelitian dibagi dengan ketebalan Akuifer Bawah, sehingga diperoleh 1,2 m/hari. Konduktivitas hidrolika Akuifer Bawah tampak lebih kecil dibandingkan dengan akuifer atas, membenarkan bahwa Akuifer Bawah di susun oleh sedimen berbutir lebih kacil. Storativitas Akuifer Bawah juga diperoleh yakni 0,03-0,2.[6] Setelah nilai parameter dimasukkan kedalam program mudflow, perangkat lunak mudflow.

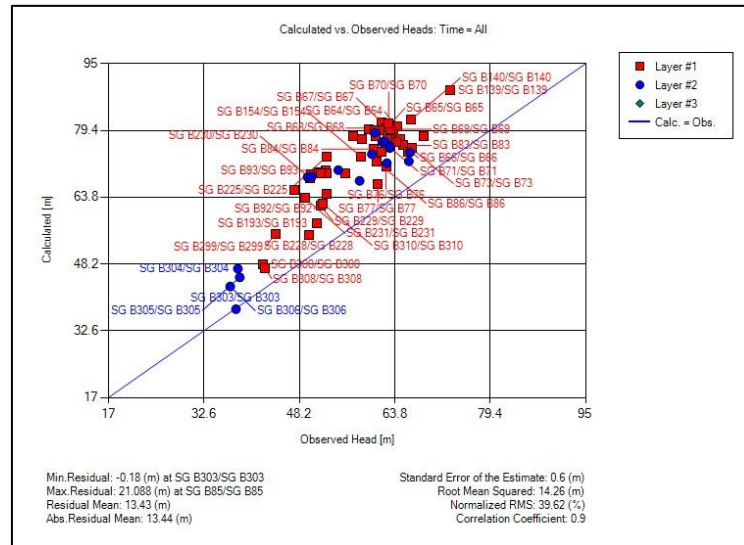
Data masukan yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi aliran air tanah yaitu:

1. *Properties*: parameter akuifer (konduktivitas hidrolik, Sy, Ss), muka airtanah awal (*initial head*)
2. *Boundary*: batas sungai dan imbuhan (*recharge*)
3. Sumur observasi (dalam penelitian ini sumur dangkal warga)

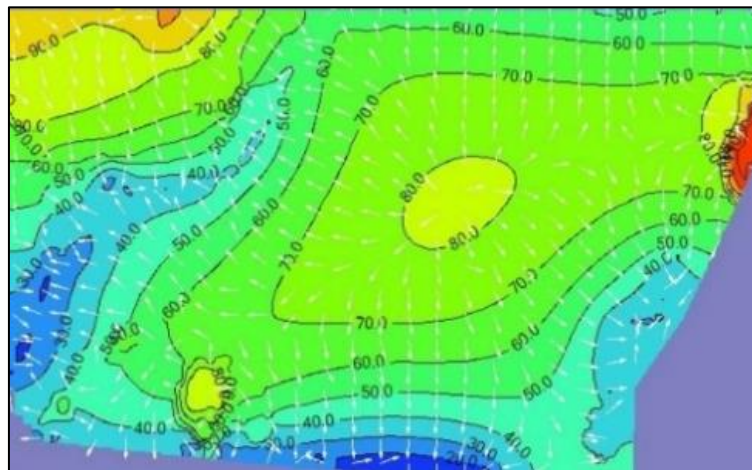
## 5.2. Kalibrasi Model Kondisi Steady State Dan Analisis Sensitivitas

Pada scatter diagram (Gambar 5) menunjukkan beberapa kriteria error, diantaranya *absolute residual mean*, *Root Mean Squared (RMS)*, *normalized root mean squared* dan *correlation coefficient*. Dari keempat kriteria tersebut, salah satu kriteria error yang dapat dijadikan sebagai referensi error model dan digunakan dalam penelitian ini adalah *normalized root mean squared*. Hasil kalibrasi dianggap cukup bila varian antara data prediksi dan obserasi kurang dari 10% [3]. Dalam hal ini, bilamana *normalized root mean squared* memiliki nilai kurang dari 10% (<10%), maka error model dapat diterima. Kalibrasi pemodelan airtanah dilakukan untuk menghasilkan model aliran airtanah yang sesuai dengan kondisi dilapangan. Kurang lebih ada 67 sumur yang digunakan dalam proses kalibrasi. Hasil running awal model sebelum dilakukan kalibrasi dapat dilihat pada gambar berikut:





**Gambar 5.** Diagram Scatter hasil running awal simulasi tak-terkalibrasi

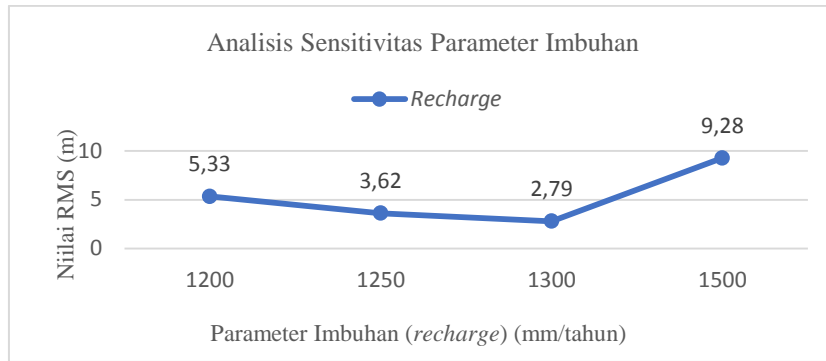


**Gambar 6.** Pola persebaran aliran airtanah dan hasil simulasi awal tak-terkalibrasi

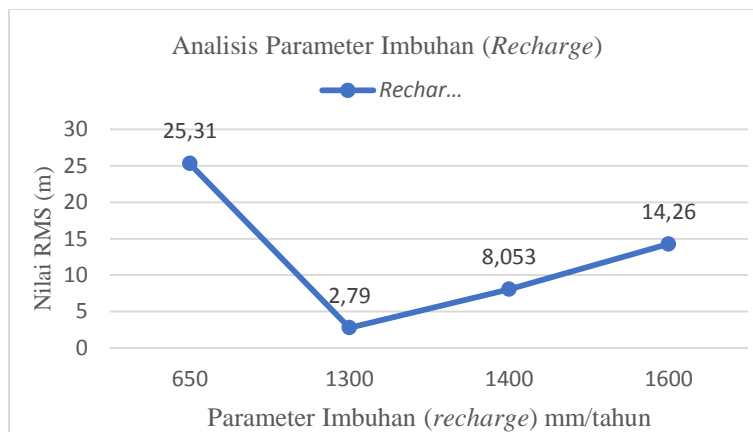
Berdasarkan pada (Gambar 5) hasil awal dari simulasi pemodelan airtanah sebelum dilakukannya kalibrasi dalam kondisi *steady-state* menunjukkan nilai RMS sebesar 14,26 m, NRMS sebesar 39,62% dan maksimum residual 21,088 m. hasil running awal pemodelan airtanah pada kondisi *steady-state* ini berdasarkan kriteria parameter hasil nilai konduktivitas hidrolis dan recharge yang masih sesuai hasil pengolahan data yang mana nilai recharge yang digunakan pada pertahunnya sebesar 1615 mm/tahun. Kriteria yang ditetapkan berdasarkan nilai NRMS < 15%, standar errornya < 5%, R > 0,75.

### 5.3. Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan untuk menverifikasi ketidakpastian data parameter yang telah diolah didalam model dengan metode *trial and error* dengan mensetting atau mengatur salah satu dari dua parameter utama yaitu konduktivitas hidrolis dan nilai recharge. Kalibrasi yang dilakukan yaitu melakukan simulasi analisis sensitivitas yang dilakukan dalam beberapa skenario kalibrasi dengan cara mengubah atau mensetting nilai recharge dari 1615 mm/tahun menjadi 1200, 1250, 1300, 1400, 1500 dan 1600 mm/tahun.

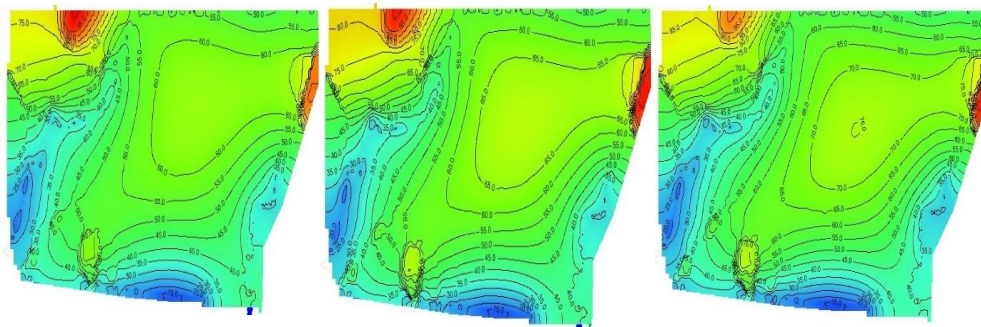


(a)



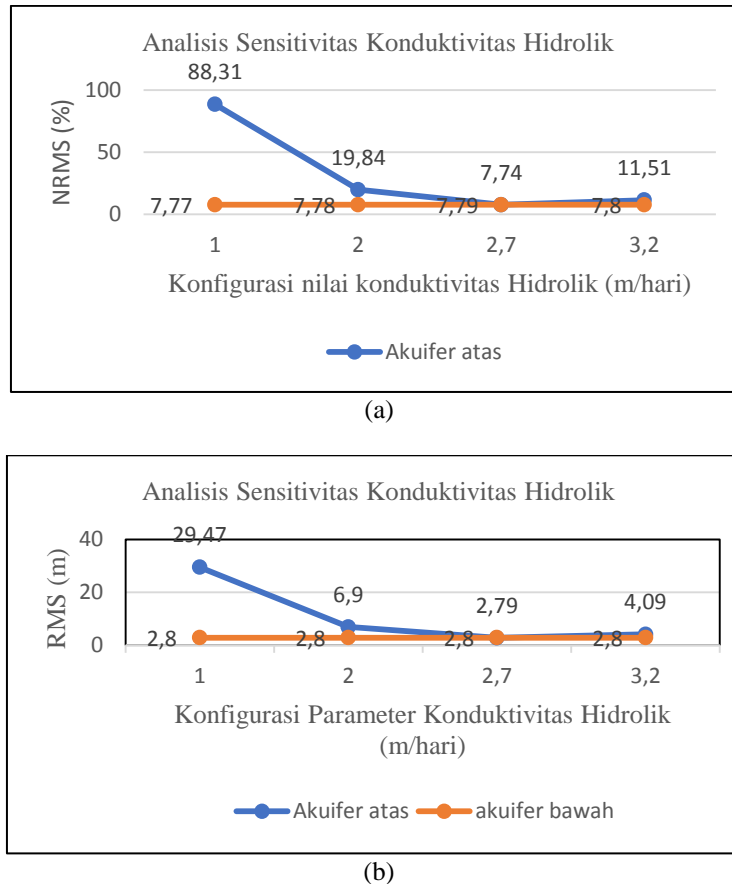
(b)

**Gambar 7.** Analisis sensitivitas pada parameter imbuan (*recharge*)



**Gambar 8.** Peta hasil analisis sensitivitas parameter imbuan 1300 (kiri), 1400 (tengah), 1500 (kanan) mm/tahun

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat terlihat dari hasil plot analisis sensitivitas yang dilakukan dalam kalibrasi model terjadi perubahan yang signifikan terhadap kontur muka air tanah. Ketika nilai imbuan diperbesar, maka terjadi perubahan muka kontur dari airtanah yang mana hasil dari kontur akan semakin rapat dan ketika nilai imbuan diperkecil maka jarak spasi antar kontur akan semakin melebar itu menunjukkan bahwa kontur yang rapat kondisi muka air tanahnya lebih tinggi dibanding kontur yang melebar dikarenakan imbuan diperkecil, dan dari gambar ini dapat terlihat jelas menunjukkan bahwa model sangat sensitive terhadap perubahan nilai imbuan (*recharge*).



**Gambar 9.** Analisis sensitivitas pada parameter konduktivitas hidrolik  
(a) Nilai Normalized RMS dan (b) RMS

Pada hasil kalibrasi dan analisis sensitivitas yang dilakukan pada penelitian ini berikut beberapa skenario yang dilakukan berdasarkan hasil Gambar 7, 8, dan 9.

**Tabel 3.** Hasil analisis sensitivitas selama proses kalibrasi model

Skenario	Parameter	RMS (m)	NRMS (%)
I	Memperkecil nilai imbuhan atau <i>recharge</i> dalam simulasi pada model kalibrasi dari 1300 mm/tahun ke 650 mm/tahun	25,31	70,3
II	Memperbesar atau menaikkan nilai imbuhan ( <i>recharge</i> ) dalam simulasi model kalibrasi dari imbuhan 1300 mm/tahun ke 1600 mm/tahun	14,26	39,62
III	Memperbesar atau menaikkan nilai dari parameter konduktivitas hidrolik pada akuifer atas. Nilai $K = 2,7 \times 10^{-4}$ m/hari ke $3,2 \times 10^{-4}$ m/hari	4,09	88,31
IV	Memperkecil atau menurunkan nilai dari parameter konduktivitas hidrolik pada akuifer atas. Nilai $K = 2,7 \times 10^{-4}$ m/hari ke $1 \times 10^{-4}$ m/hari	29,47	81,85
V	Memperkecil atau menurunkan nilai konduktivitas hidrolik pada akuifer bawah. Dari nilai $K = 1,27 \times 10^{-5}$ ke $1 \times 10^{-5}$ m/hari	2,8	7,77
VI	Memperbesar atau menaikkan nilai konduktivitas hidrolik pada akuifer bawah. Nilai $K = 1,27 \times 10^{-5}$ ke $3,2 \times 10^{-5}$ m/hari	2,8	7,8

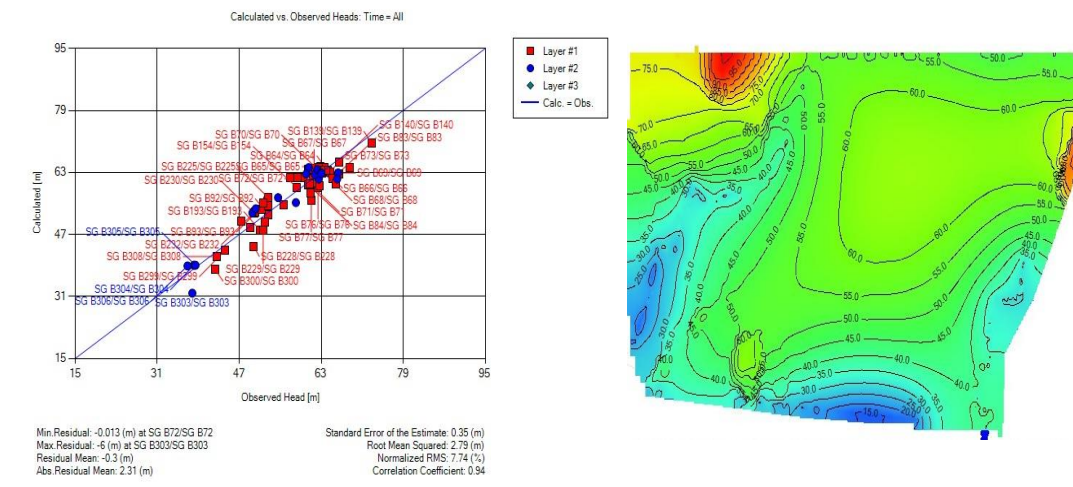


Berdasarkan hasil skenario analisis sensitivitas parameter konduktivitas hidrolik untuk akuifer bagian atas jika nilai K diperbesar atau ditingkatkan maka kontur dari muka airtanah akan turun, sedangkan jika nilai dari konduktivitas hidrolik diperkecil atau diturunkan maka kontur muka airtanah dalam model akan mengalami peningkatan atau kenaikan. Sedangkan untuk akuifer bawah jika nilai konduktivitas hidrolik dinaikan ataupun diturunkan tidak mengalami perubahan yang signifikan pada kontur muka airtanah atau tetap. Jadi dari hasil analisis sensitivitas untuk konduktivitas hidrolik dapat dikatakan nilai K pada akuifer atas sangat berpengaruh atau sensitif terhadap perubahan kontur muka airtanah dibandingkan dengan akuifer bawah dan tidak ada perubahan terhadap model airtanah.

Hasil analisis sensitivitas dari kedua parameter baik konduktivitas hidrolik dan imbuhan (*recharge*) bila ditinjau dari kriteria eror, selisih eror antara skenario I dan II, saat nilai imbuhan diperbesar dan diperkecil memiliki selisih sebesar 30,68% sedangkan selisih eror dari nilai konduktivitas hidrolika pada akuifer atas yang diperbesar dan diperkecil adalah sebesar 6,46 %, dan selisih eror pada akuifer bawah sebesar 0,03 %. Jadi dari selisih eror yang terdapat dari hasil simulasi pemodelan airtanah, menunjukkan model sangat sensitive terhadap perubahan dari imbuhan airtanah atau *recharge*, sedangkan untuk konduktivitas hidrolik akuifer bawah dalam pemodelan tidak memberikan pengaruh atau perubahan dalam model. Maka untuk mencocokkan hasil model dan kontur muka airtanah pada model dan lapangan sebenarnya, sebaiknya dilakukan kalibrasi pada nilai imbuhan dan nilai K pada akuifer atas hingga memenuhi kriteria model yang telah ditentukan.

**5.4. Hasil Model Terkalibrasi**

Hasil kalibrasi yang telah dilakukan dengan mencocokkan nilai imbuhan dan nilai konduktivitas hidrolik akuifer atas, diperoleh nilai RMS sebesar 2,79 m dengan Normalized RMS 7,74 %. (Gambar.10) yang mana nilai NRMS < 10% berdasarkan kriteria yang ditetapkan, artinya hasil dari eror model yang telah dikalibrasi dapat diterima, dan juga kecocokan kontur muka airtanah dari hasil model dan hasil observasi dapat mewakili hasil atau gambaran sebenarnya dilapangan.



**Gambar 10.** Hasil model terkalibrasi

**6. Kesimpulan**

Dari hasil simulasi kalibrasi yang telah dilakukan dengan mencocokkan nilai imbuhan dan nilai konduktivitas hidrolik akuifer atas, diperoleh nilai RMS sebesar 2,79 m dengan Normalized RMS 7,74 %, yang mana nilai NRMS < 10% berdasarkan kriteria yang ditetapkan, artinya hasil dari eror model yang telah dikalibrasi dapat diterima, dan juga kecocokan kontur muka airtanah dari hasil model dan hasil observasi dapat mewakili hasil atau gambaran sebenarnya dilapangan.

**UCAPAN TERIMAKASIH**

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta. Serta penulis menyampaikan terimakasih kepada LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta yang telah mendanai sepenuhnya penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Wang, H.F., dan M.P. Anderson, 1982, *Introduction To Groundwater Modeling: Finite Difference And Finite Element Methods*, W.H. Freeman, 256 P
- [2] Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). *APPLIED GROUNDWATER MODELING Simulation of Flow and Advective Transport* (UK). San Diego, California: Academic Press, Inc.
- [3] Spitz, K. dan Moreno, J., 1996, *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*, John Wiley, New York.
- [4] Sumapraja, I.R., *Pemodelan Aliran Air Tanah di Kabupaten Indramayu dengan Menggunakan MODFLOW*.
- [5] Putra. D.P.E. Indrawan. I.G.B. (2014) *Assessment Of Aquifer Susceptibility Due To Excessive Groundwater Abstraction; A Case Study of Yogyakarta-Sleman Groundwater Basin*. *ASEAN Engineering Journal Part C. Vol. 3 (2)*. pp. 105-116.
- [6] Putra, D.P.E, Iqbal, M., Hendrayana, H., dan Putranto, T.T., 2013. *Assesment of Optimum Yield of Groundwater Withdrawal In The Yogyakarta City*. *Journal SE Asian Appl. Geol., Jan – Jun 2013*, Vol. 5(1), pp. 41-49