



## Pemodelan Airtanah Menggunakan Metode Beda Hingga pada Pra Penambangan Batubara di Rawas Ilir, Kabupaten Musi Rawas Utara, Sumatra Selatan

Tedy Agung Cahyadi <sup>1\*</sup>, Kresno <sup>1)</sup>, Aisyah Salma <sup>2)</sup>, Hartono <sup>1)</sup>, Bagus Wiyono <sup>1)</sup>, Dwi Januar Ariyanto <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Pengajar Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

<sup>2)</sup> Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

<sup>3)</sup> Senior Mine Plan Engineer PT Banyan Koalindo Lestari

\*email korespondensi : [tedyagungc@upnyk.ac.id](mailto:tedyagungc@upnyk.ac.id)

### ABSTRAK

Airtanah merupakan air yang tersimpan dan mengalir di bawah tanah. Keberadaan airtanah sangat penting untuk kehidupan sehari-hari. Pada kondisi tertentu, airtanah dapat mengganggu dan memberikan dampak negatif. Kegiatan penambangan terutama metode *open pit* dilakukan penggalian dengan menurunkan elevasi tanah. Penggalian dapat menyebabkan terpotongnya akuifer sehingga airtanah masuk ke tambang dan menyebabkan terganggunya kegiatan penambangan. Maka dari itu, pemodelan air tanah dilakukan untuk melihat pola aliran air tanah pada daerah penelitian. Pemodelan dilakukan dengan mengumpulkan data geologi, hidrologi, dan hidrogeologi daerah penelitian. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sistem airtanah berupa model konseptual yang dapat menggambarkan daerah penelitian, hasil kalibrasi, hasil analisis sensitivitas, dan pola aliran air tanah pada daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan 5 lapisan pembawa airtanah yaitu 2 akuifer dan 3 akuitard. Akuifer didominasi oleh batupasir dan akuitard didominasi batubara dan batulanau. Model dikalibrasi dengan kondisi *steady state* dengan hasil kalibrasi yaitu nilai RMS 2,865 m, nilai NRMS 11,869%, nilai *standard error the estimate* 0,758 m, dan nilai koefisien korelasi 0,922. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan jika model sensitif dengan penambahan nilai *recharge* dan sensitif dengan penambahan nilai konduktivitas hidraulik pada akuitard 1 yang didominasi batulanau. Arah aliran airtanah menunjukkan air mengalir ke segala arah menuju elevasi terendah dikarenakan daerah penelitian berupa perbukitan.

**Kata Kunci:** air tanah; metode beda hingga; pemodelan airtanah

### ABSTRACT

*Groundwater is water that is stored and flows in underground. Existence of groundwater is very important for daily life. In certain condition, groundwater can disturb and give negative effect. Mining activities, especially open pit method is excavated by lowering the ground elevation. Excavation can cut the aquifer so that groundwater enters the mine and causes the disturbance mining activities. Therefore, groundwater modeling is carried out to see the groundwater inflow of study area. Modeling is carried out by collecting geology, hydrology, and hydrogeology of study area. The purposes of this research are to know groundwater system by conceptual model that can describe study area, calibration results, sensitivity results, and groundwater inflow in study area. The results show that 5 groundwater layers consists of 2 aquifers and 3 aquitards. The aquifers are dominated by sandstone and the aquitard are dominated by coal and siltstone. The model is calibrated under steady state condition with calibration results, RMS value is 2,865 m, NRMS value is 11,869%, standard error the estimate is 0,758 m, and correlation coefficient value is 0,922. Sensitivity analysis results show that the model sensitive to the addition of recharge value and sensitive to the addition of hydraulic conductivity value to aquitard 1 which is dominated by siltstone. Groundwater inflows show that the water flow in all directions because the study area is a hilly area.*

**Keywords:** groundwater; finite difference method; groundwater modeling

## I. PENDAHULUAN

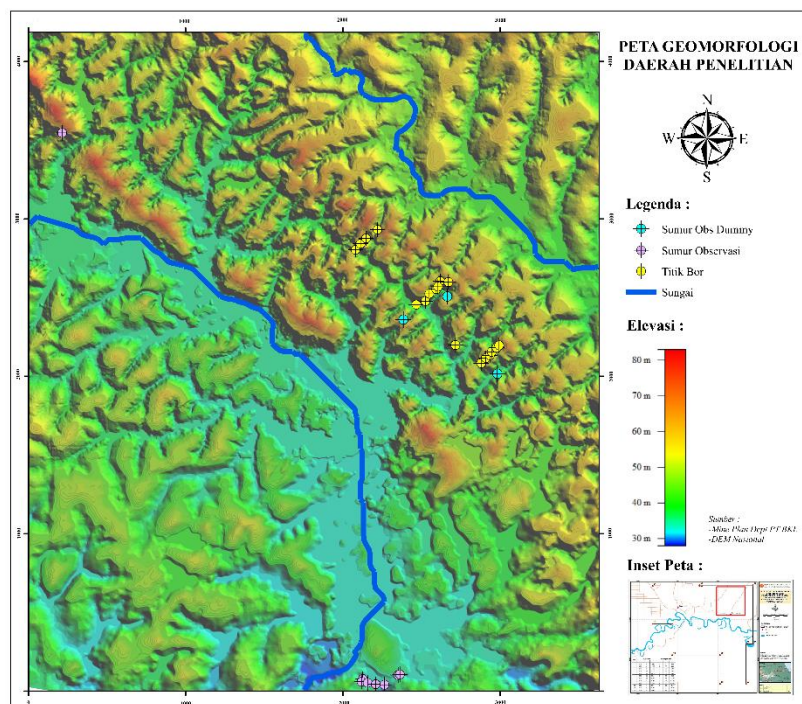
Kegiatan penambangan mendapat pengaruh negatif dari air tanah karena airtanah mempunyai resiko pada operasional penambangan, keselamatan pekerja, dan dampak lingkungan (Foster dkk, 2018). Keringnya kondisi kerja dapat mengurangi keausan mesin, mengurangi biaya pemindahan tanah, dan meningkatkan stabilitas kereng sehingga terjaminnya keamanan selama operasi penambangan (Surinaidu dkk. 2014). Penelitian mengenai potensi air tanah perlu

dilakukan untuk menghindari resiko saat proses penambangan. Potensi airtanah yang menuju ke area penambangan dapat dimodelkan dengan pengumpulan data geologi, hidrologi, dan hidrogeologi (Surinaidu dkk, 2014).

Penambangan dengan sistem tambang terbuka metode *open pit* melakukan penggalian dengan menurunkan elevasi tanah. Sehingga adanya kemungkinan akan terpotongnya akuifer ketika dilakukan penambangan. Pemodelan diperlukan untuk mengetahui potensi dan arah aliran air tanah pada suatu daerah sehingga dapat digunakan untuk mengambil keputusan. Pemodelan dapat dilakukan dengan pengumpulan data geologi, hidrologi, dan hidrogeologi. Semakin kompleks data yang didapat maka akan semakin akurat model yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sistem airtanah berupa model konseptual yang dapat menggambarkan daerah penelitian, hasil kalibrasi, hasil analisis sensitivitas, dan pola aliran air tanah daerah penelitian.

**Daerah Penelitian**

Daerah penelitian berada di Kecamatan Rawas Ilir, Kabupaten Musi Rawas Utara, Sumatra Selatan. Luas daerah penelitian sebesar 15,1 km<sup>2</sup>. Lokasi ini berada di daerah perbukitan bergelombang dengan arah punggung yang relatif memanjang NW-SE. Pola ini mengindikasikan adanya kendali struktur lipatan. Variasi ketinggian pada daerah penelitian mulai dari 23 mdpl hingga 83 mdpl. Pada TimurLaut-Timur daerah penelitian dibatasi oleh Sungai Celau dan pada Barat-BaratDaya daerah penelitian dibatasi oleh Sungai Putih. Variasi curah hujan pada daerah penelitian dari tahun 2011-2020 mulai dari 1.275,6 mm/tahun hingga 4.733 mm/tahun.



**Gambar 1. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian**

**II. METODE**

Metode penyelesaian pada penelitian terdiri dari perhitungan data hidrologi, metode beda hingga, kalibrasi data, dan analisis sensitivitas parameter terkalibrasi. Berikut merupakan penjelasan metode yang digunakan:

**2.1. Perhitungan Data Hidrologi**

Perhitungan nilai Imbuhan (*Recharge*) dihitung menggunakan rumus dari *UP Irrigation Research Institute* (Thomas, 2009). Perhitungan dapat dikonversikan menjadi mm/th:

$$R = 1,35(P-14)^{0,5} \tag{1}$$

Keterangan :

*R* : Nilai Imbuhan / *Recharge* (inch/th)

*P* : Presipitasi (inch/th)

Perhitungan nilai air limpasan (*Run Off*) dihitung menggunakan rumus dari *UP Irrigation Research Institute* (Adeleke dkk, 2015). Perhitungan dapat dikonversikan menjadi mm/th:

$$RO = P - (1,17 \times P^{0,86}) \tag{2}$$

Keterangan :

*RO* : Air Limpasan / *Run Off* (cm/th)

*P* : Presipitasi (cm/th)

Perhitungan evapotranspirasi dihitung menggunakan persamaan neraca air sederhana:

$$\text{Evapotranspirasi (mm/th)} = \text{Presipitasi(mm/th)} - \text{Imbuan(mm/th)} - \text{Run Off(mm/th)} \quad (3)$$

## 2.2. Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Metode beda hingga atau *finite difference method* merupakan metode penyelesaian matematika numerik yang digambarkan dalam persamaan differensial parsial (Alman,2018). Metode beda hingga memiliki perhitungan differensial parsial (Harbaugh dkk, 1988) pada kondisi steady state sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (4)$$

Keterangan:

*H* : *Head* (L)

*K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>, K<sub>z</sub>* : Konduktivitas Hidraulik (LT<sup>-1</sup>)

## 2.3. Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk membandingkan sumur yang diukur pada daerah penelitian dan sumur yang terkalkulasi. Data pengukuran dianggap dapat merepresentasikan lapangan jika perbandingan dengan sumur yang terkalkulasi mendekati sama. Terdapat beberapa kriteria kalibrasi antara lain *RMS (Root Mean Square)* yaitu perhitungan yang menghitung perbedaan nilai data yang dihitung dengan data yang diobservasi semakin kecil nilai *RMS* semakin baik, *NRMS (Normalized Root Mean Square)* yaitu *RMS* yang di normalisasi atau dengan kata lain menghubungkan *RMS* dengan variabel (sumur) yang diamati semakin kecil nilai *NRMS* semakin baik, *Standard Error The Estimate* adalah kira-kira besar kesalahan prediksi dari data yang didapat semakin kecil nilai *Standard Error The Estimate* semakin baik, dan nilai koefisien korelasi mendekati 1 dianggap semakin baik. Berikut merupakan rumus perhitungan *RMS* dan *NRMS*:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{obs} - h_{cal})_i^2} \quad (5)$$

$$NRMS (\%) = \frac{RMS}{(h_{obs})_{max} - (h_{obs})_{min}} \quad (6)$$

Keterangan:

*n* : jumlah titik pengamatan,

*h<sub>obs</sub>* : muka airtanah yang diamati,

*h<sub>cal</sub>* : muka airtanah hasil perhitungan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan dilakukan dengan membuat model awal yang dapat menggambarkan kondisi lapangan. Model awal merupakan model yang dibuat dengan kondisi initial atau kondisi asli dimana belum adanya gangguan pada model tersebut. Gangguan yang dimaksud berupa penggalian sebagai bagian dari proses penambangan. Pada penelitian ini membahas kondisi asli atau *initial condition* atau *natural condition*.

### 3.1. Hidrologi

Hidrologi memiliki siklus yang dinamakan siklus hidrologi dimana terdiri dari evapotranspirasi, imbuan, air limpasan, dan presipitasi yang nantinya akan dihitung sebagai neraca air. Neraca air (*water balance*) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat untuk mengetahui jumlah air tersebut kelebihan (*surplus*) ataupun kekurangan (*defisit*) (Salsabila dan Nugraheni, 2020). Hasil perhitungan data hidrologi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

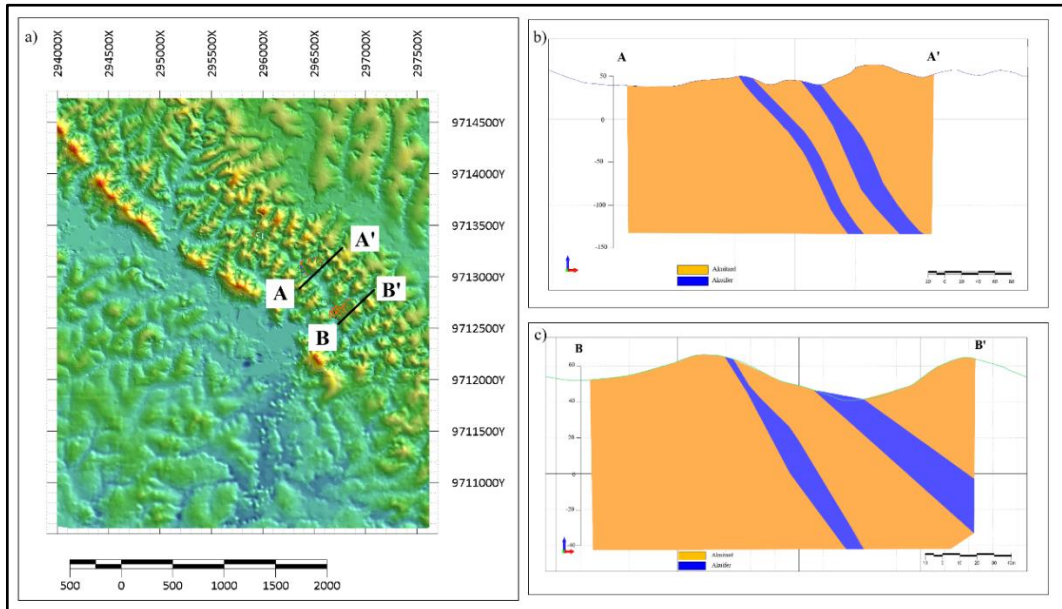
**Tabel 1. Parameter Hidrologi**

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Presipitasi	3.304,39	mm/th
2	Evapotranspirasi	1.346,77	mm/th
3	<i>Recharge</i>	369,57	mm/th
4	<i>Run Off</i>	1.588,05	mm/th

### 3.2. Hidrogeologi

Berdasarkan interpolasi 18 titik bor (**Gambar 1**) bahwa lapisan hidrostratigrafi dapat disederhanakan menjadi batubara sebagai akuitard, batupasir sebagai akuifer, dan batulanau sebagai akuitard. Lapisan selain batubara dan batupasir diklasifikasikan sebagai batulanau dikarenakan ukuran butir 0,062-0,088 mm merupakan jenis batulanau menurut skala *wentworth*.

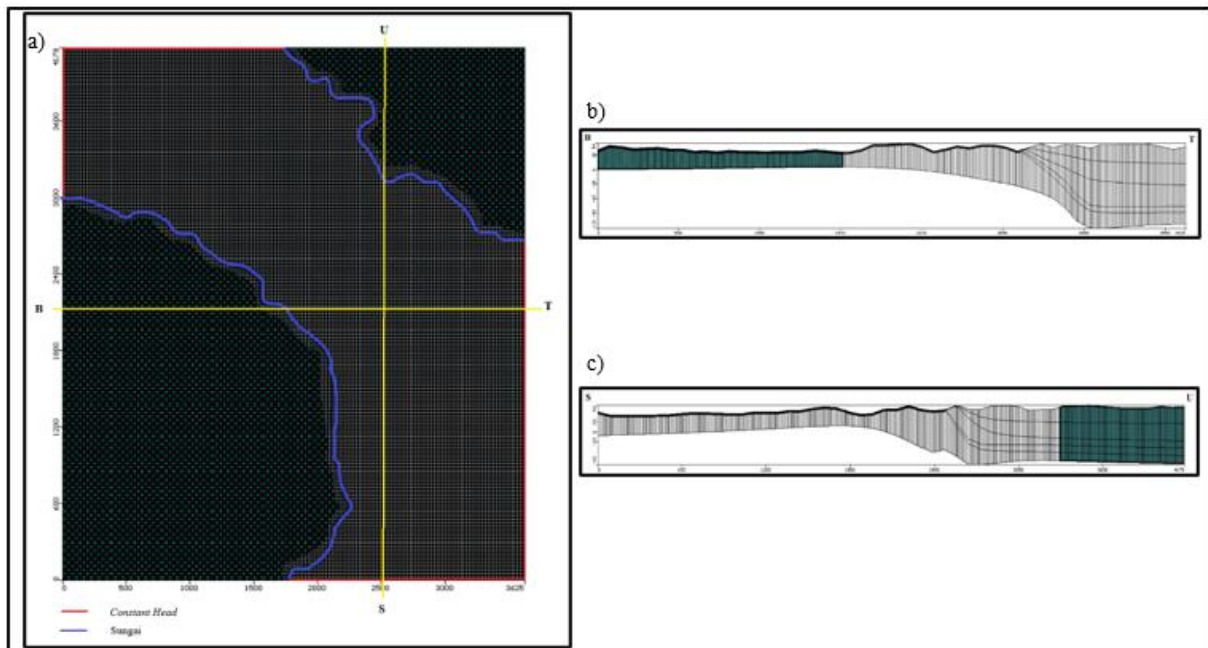
Lapisan disederhanakan menjadi 2 akuifer dan 3 akuitard (**Gambar 2**). Lapisan disederhanakan berdasarkan litologi yang menyusunnya. Akuifer 1 terdiri dari pasir halus dan akuifer 2 didominasi pasir tufaan. Akuitard 1 terdiri dari batulanau, akuitard 2 dan akuitard 3 terdiri dari batulanau dan batubara.



Gambar 2. a) Peta Posisi Sayatan, b) Sayatan A-A', c) Sayatan B-B'

### 3.3. Pemodelan Air Tanah

Model dibuat dengan 5 lapisan yang terdiri dari 2 akuifer dan 3 akuitard. Akuifer 1 terdiri dari pasir halus dan akuifer 2 terdiri dari pasir tufaan. Akuitard terdiri dari batu lanau dan batubara. Daerah penelitian seluas 5,1 km<sup>2</sup>. Model terdiri dari 153.300 *cell* dengan ukuran 10x10 m (**Gambar 3**).



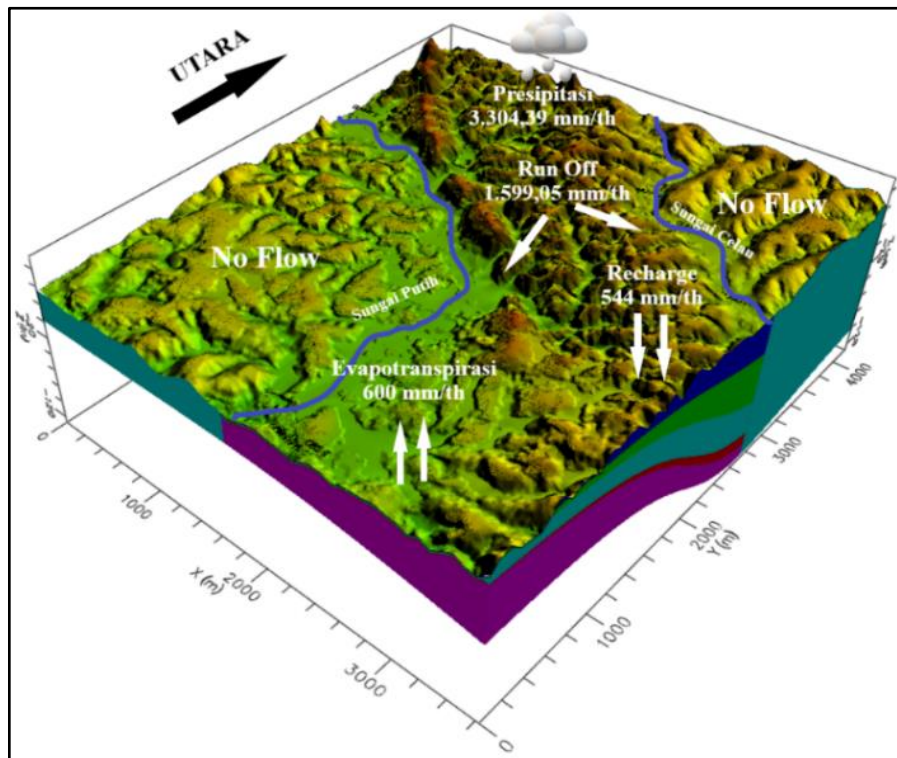
Gambar 3. a) Diskritisasi Model, b) Sayatan Barat-Timur, c) Sayatan Selatan-Utara

Data masukan pembuatan model ada 3 yaitu data *properties*, data *boundaries*, dan data sumur. Data *properties* terdiri dari konduktivitas hidraulik, data storativitas, dan data *initial head*. Data *boundaries* terdiri dari *constant head*, sungai, evapotranspirasi, dan *recharge*. Data sumur berupa data pengukuran yang ada di daerah penelitian.

Data *properties* yaitu konduktivitas hidraulik dan storativitas menggunakan studi literatur dikarenakan tidak adanya pengujian di daerah penelitian. Data *boundaries* dilakukan pengukuran di lapangan dan analisis numerik. Data sumur terdiri dari 8 sumur observasi di daerah penelitian. 7 merupakan sumur warga di bagian Selatan daerah penelitian dan 1 sumur merupakan sumur perusahaan di bagian Utara daerah penelitian.

### 3.4. Model Konseptual

Model konseptual merupakan model sederhana yang dapat menggambarkan keadaan sebenarnya di lapangan. Daerah penelitian digambarkan melalui 18 lubang bor eksplorasi. Berdasarkan data tersebut disederhanakan menjadi 5 lapisan pembawa air tanah. **Gambar 6** menunjukkan batas TimurLaut-Timur adalah Sungai Celau dan batas Barat-BaratDaya adalah Sungai Putih dimana daerah diluar sungai dianggap tidak ada aliran (*no flow*). Utara dan Selatan daerah penelitian dibatasi oleh *constant head*. **Tabel 2** menunjukkan hasil kalibrasi data properti akuifer pada model.



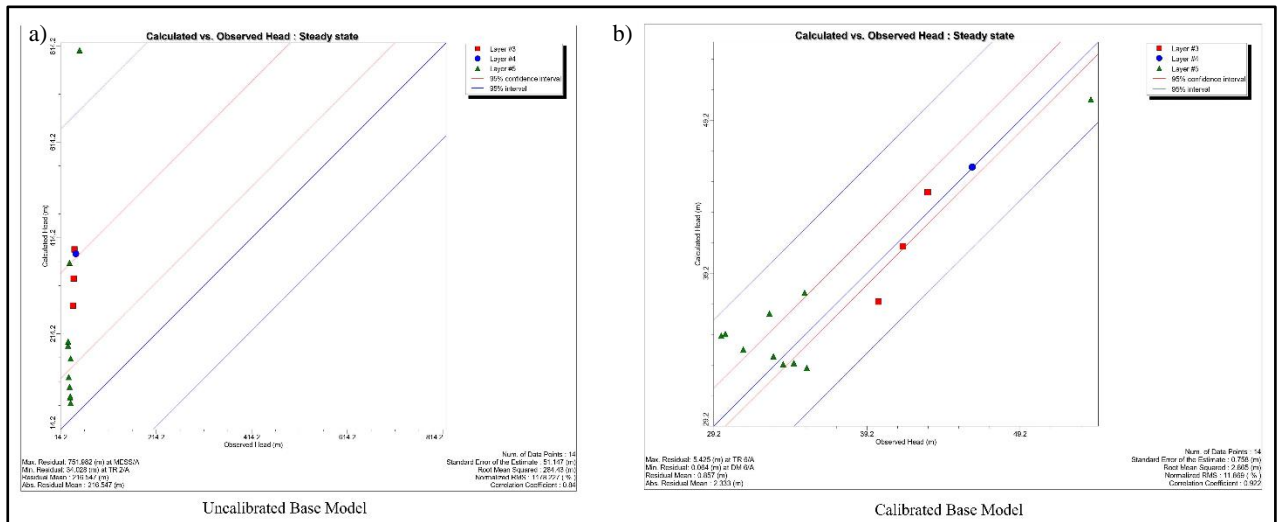
Gambar 6. Model Konseptual

Tabel 2. Properti Akuifer

Parameter Akuifer	Lapisan Pembawa Air					Referensi
	Akuitard 1	Akuifer 1	Akuitard 2	Akuifer 2	Akuitard 3	
Konduktivitas Hidraulik (m/s)	$7,383 \times 10^{-6}$	$9,12 \times 10^{-5}$	$9,383 \times 10^{-7}$	$7,919 \times 10^{-5}$	$1,283 \times 10^{-6}$	Domenico dan Schwartz (1990)
Spesifik Storage (1/m)	0,0009	0,001	0,0009	0,0004	0,0009	Domenico & Mifflin (1965)
Spesifik Yield (%)	12	22	12	22	12	Morris & Johnson (1967)
Porositas Efektif (%)	21	22	21	22	21	Morris & Johnson (1967)
Porositas Total (%)	41	40	41	40	41	Morris & Johnson (1967)

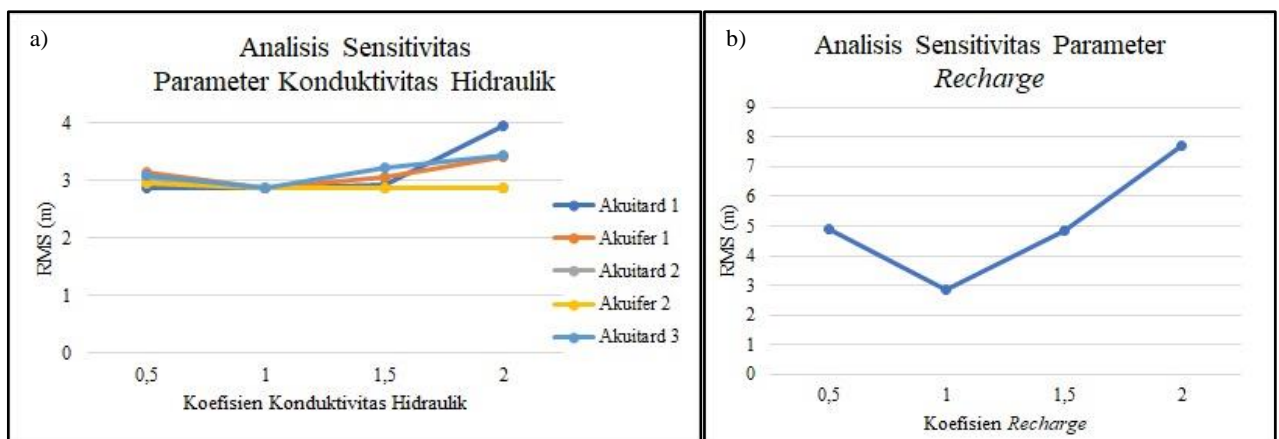
### 3.5. Kalibrasi dan Analisis Sensitivitas

Proses kalibrasi dilakukan agar model dapat merepresentasikan keadaan asli di lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan cara mengubah parameter konduktivitas hidraulik dan *recharge* hingga mendapatkan nilai *error* yang kecil. Hasil yang belum terkalibrasi menunjukkan nilai RMS 284,43 m, nilai NRMS 1178,227%, nilai *standard error the estimate* 51,147 m, dan nilai koefisien korelasi 0,84 (**Gambar 5.a**). Berdasarkan data tersebut model belum dapat dikatakan mewakili keadaan yang ada di daerah penelitian maka diperlukan melakukan *trial and error* data konduktivitas hidraulik dan nilai *recharge*. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai RMS 2,865 m, nilai NRMS 11,869%, nilai *standard error the estimate* 0,758 m, dan nilai koefisien korelasi 0,922 (**Gambar 5.b**). Berdasarkan hasil tersebut model sudah dianggap dapat mewakili daerah penelitian.



**Gambar 5. a) Grafik Sebelum Terkalibrasi, b) Grafik Setelah Terkalibrasi**

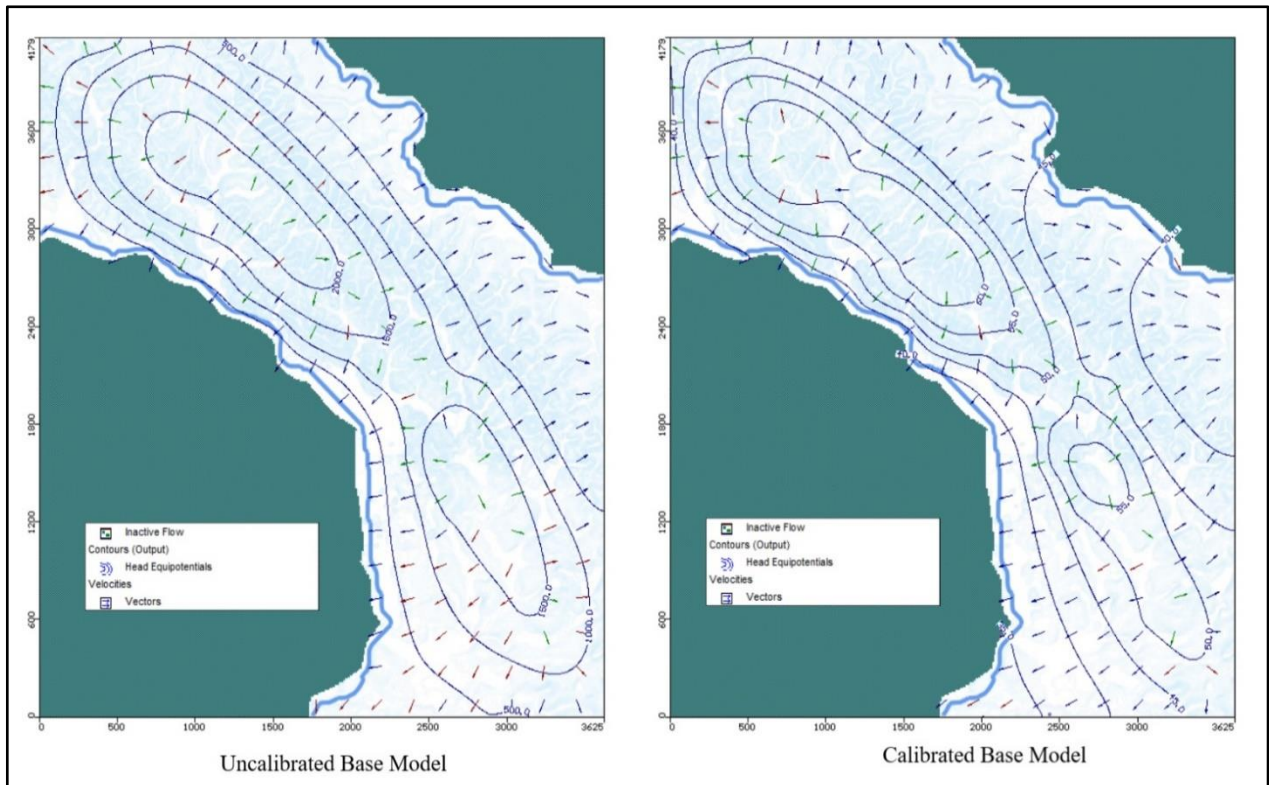
Analisis sensitivitas terhadap parameter *recharge* dan konduktivitas hidraulik dilakukan untuk melihat seberapa sensitif model ketika parameter diubah. **Gambar 6** menunjukkan sensitifnya model ketika nilai *recharge* diubah. Nilai RMS akan semakin besar apabila nilai *recharge* diperbesar dan diperkecil maka diambil titik nilai RMS terendah yaitu koefisien 1. **Gambar 6** menunjukkan sensitifnya model terhadap perubahan nilai konduktivitas hidraulik terutama pada akuitard 1 yang sangat sensitif apabila nilai konduktivitasnya diperbesar.



**Gambar 6. a) Grafik Analisis Sensitivitas Konduktivitas Hidraulik, b) Grafik Analisis Sensitivitas Recharge**

### 3.6. Pola Aliran Air Tanah

Pola aliran air tanah dapat digambarkan setelah proses kalibrasi. **Gambar 7** menunjukkan perubahan aliran air tanah sebelum dan sesudah kalibrasi dimana kontur muka air tanah tertinggi sebelum terkalibrasi mencapai 1500 mdpl dan kontur muka air tanah tertinggi setelah kalibrasi yaitu 60 mdpl. Arah aliran air mengalir ke segala arah menuju elevasi terendah karena kondisi daerah penelitian berupa perbukitan. Arah aliran air cenderung menuju Timur Laut dan BaratDaya-Barat dimana Sungai Celau dan Sungai Putih berada



**Gambar 7. a) Pola Aliran Air Tanah Sebelum Kalibrasi, b) Pola Aliran Air Tanah Sesudah Kalibrasi**

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat 5 lapisan pembawa air pada daerah penelitian yaitu 2 akuifer dan 3 akuitard. Akuifer didominasi oleh batupasir dan akuitard didominasi oleh batulanau dan batubara. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai RMS 2,865 m, nilai NRMS 11,869%, nilai *standard error the estimate* 0,758 m, dan nilai koefisien korelasi 0,922. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa model sensitif dengan kenaikan dan penurunan nilai *recharge* dan sensitif dengan kenaikan nilai konduktivitas hidraulik pada akuitard 1 yang didominasi batulanau. Pola aliran air tanah menunjukkan bahwa aliran air cenderung mengalir ke segala arah menuju elevasi terendah dikarenakan daerah penelitian merupakan daerah perbukitan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Banyan Koalindo Lestari yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Peneliti juga mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang sudah membantu secara moral maupun material.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adeleke, O.O., Makinde, V., Eruola, A.O., Dada, O.F., Ojo, A.O., & Aluko, T.J. (2015). Estimation of Groundwater Recharges Using Empirical Formulae in Odeda Local Government Area, Ogun State, Nigeria. *Journal Challenges*, vol 6, pp 271-281.
- Alman. (2018). Analisis Kekonvergenan Metode Beda Hingga Leapfrog dalam Penyelesaian Persamaan Transport Polutan 2 Dimensi. *Jurnal IT*, vol 9, pp 100-106.
- Cahyadi, T. A. dan Setiawan, K. N. (2020). Overview Prediksi Aliran Airtanah pada Penambangan Open Pit. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri. Dan Informasi XV (ReTII)*, pp 215-220.
- Cahyadi, T. A., Dwinagara, B., dan Fitrio, S. (2020). Groundwater Modeling Applications in Mining Environments. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri. Dan Informasi XV (ReTII)*, pp 208-214.
- Domenico P. A. dan Miffllin M. D. (1965). Water from Low-Permeability Sediments and Land Subsidence. *Water Resources Research*, vol 1, pp 563-566.

- Domenico, P.A dan Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. United States. John Wiley & Sons Inc.
- Foster, S. dan Tyson, G. (2018). *Mining Enterprises & Groundwater*. International Association of Hydrogeologist.
- Grundtenik, G. dan Follin, S. (1999). *Hydrological Boundary Settings in SR 97*. Swedia. SKB.
- Harbaugh, A.W. dan McDonald, M.G. (1888). *A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*. Washington. USGS Publications.
- Hiscock, Kevin M. (2005). *Hydrogeology Principles and Practice*. United Kingdom. Blackwell Publishing.
- Morris, D.A. and Johnson, A.I. (1967) *Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials, as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey, 1948-1960*. USGS Water Supply Paper.
- Salsabila, A dan Nugraheni, I.R. (2020). *Pengantar Hidrologi*. Bandar Lampung. AURA.
- Surinaidu L., Rao, V.V.S.G., Rao, N.S., & Srinu, S. (2014). Hydrogeological and Groundwater Modeling Studies to Estimate The Groundwater Inflows Into The Coal Mines at Different Mine Development Stages Using MODFLOW, Andhra Pradesh, India. *Water Resources and Industry*, vol 7-8, pp 49-65.
- Thomas, T., Jaiswal, R.K., Galkate, R., & Singh, S. (2009). Development of A Rainfall-Recharge Relationship for A Fraactured Basaltic Aquifer in Central India. *Water Resource Manage, Springer*, pp 3101-3119.
- Todd D.K dan Mays L.W. (2005). *Groundwater Hydrology*. United States. John Wiley & Sons Inc.
- Wang, H.F. dan Anderson, M.P. (1982). *Introduction to Groundwater Modeling Finite Difference and Finite Element Methods*. San Diego. Academic Press.
- Woessner, W.W. dan Anderson, M.P. (2002). *Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport*. San Diego. Academic Press.