

Pemodelan Air Tanah Pada Tambang Terbuka Andesit Di Desa Dadirejo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah

Peter Eka Rosadi¹, Dodi Mulyadi¹

¹Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran”
Yogyakarta, Jl. Padjajaran No. 104, Condongcatur, Yogyakarta, 55283, Indonesia

Email: peterekarosadi@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Pemodelan air tanah merupakan peniruan kondisi air tanah secara dua dimensi maupun tiga dimensi untuk memperkirakan adanya perubahan kondisi muka air tanah di masa mendatang akibat adanya pengembangan air tanah atau akibat pengelolaan baru, baik perubahan alam maupun aktifitas manusia. Akibat adanya kegiatan penambangan tentunya akan mempengaruhi kondisi muka air tanah di wilayah tersebut. Tujuan pemodelan air tanah pada tambang terbuka Andesit di Desa Dadirejo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah adalah untuk mengetahui pengaruh air tanah terhadap kegiatan penambangan di lokasi penelitian. Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software Visual Modflow* dan metode beda hingga (*Finite Difference Method*). Model terdiri dari 3 lapisan meliputi 1 lapisan sebagai akuifer (batupasir), 1 lapisan sebagai akuiklude (lempung) dan 1 lapisan sebagai akuifug (andesit dan breksi andesit). Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan kondisi air tanah sebelum dan setelah dilakukannya kegiatan penambangan. Berdasarkan hasil pemodelan tersebut, dapat disimpulkan bahwa air tanah tidak berpengaruh terhadap kegiatan penambangan dikarenakan elevasi muka air tanah berkisar antara 32-42 mdpl atau berada di bawah elevasi terendah kegiatan penambangan pada tahun 2025 (56 mdpl). Apabila kegiatan penambangan diteruskan hingga kedalaman 14-20 meter akan ditemukan adanya rembesan dan berpengaruh terhadap aktivitas penambangan serta surutnya muka air tanah pada sumur penduduk.

Kata Kunci: Air Tanah, Akuifer, Metode Beda Hingga, Pemodelan Air Tanah

DOI: 10.15408/jipl.v1i2.22761

ABSTRACT

Groundwater modeling is a two-dimensional or three-dimensional imitation of groundwater conditions to predict future changes in groundwater conditions development or new management, both of them natural are changes and human activities. The result of mining activities will affect the condition of the groundwater level in the area. The purpose of soil modeling at the Andesite open-pit mine in Dadirejo, Bagelen, Purworejo, Central Java is to determine the effect of soil on mining activities at the research site. The modeling with the help of Visual Modflow software and the Finite Difference Method (FDM). There are three layers of the models include sandstone as aquifer, 1 layer as aquiclude (clay), and 1 layer as aquifuge (andesite and andesite-breccia). The results of research, the are changes in air conditions before and after mining activities. Based on this modeling, it is certain that groundwater does not affect mining activities because the groundwater level is between 32-42 masl or below the lowest elevation for mining activities in 2025 (56 masl). If the activities already pulled to a depth of 14-20 meters, there will be seepage it will affect mining activities of the water level in the resident wells will recede.

Keywords: Groundwater, Aquifer, Finite Difference Method, Groundwater Modeling

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan sumber pasokan air yang digunakan untuk daerah perkotaan, pertanian, maupun industri terutama sebagai penyedia air minum yang ekonomis dan aman serta berperan dalam kesejahteraan manusia dan ekosistem. Kebanyakan penelitian lebih terfokus pada nilai ekonomi air

tanah dibandingkan kualitas dan kuantitas serta distribusi air tanahnya (Balti et al., 2014).

Untuk mengetahui persebaran atau distribusi air tanah diperlukan adanya pemodelan bawah permukaan salah satunya dengan menggunakan perangkat lunak *Visual Modflow*. Seyed (2011) menggunakan *Visual Modflow* untuk memprediksi bawah permukaan dan migrasi permukaan polusi dalam waktu 10 tahun di TPA Seri Petalling, Malaysia. Hasilnya menunjukkan migrasi fosfor ke tempat-tempat yang lebih jauh seperti sungai dan memiliki efek buruk terhadap lingkungan, hewan dan manusia.

Adanya kegiatan penambangan di daerah penelitian tentunya mengubah bentuk lahan dan topografi. Keberadaan air tanah akan terganggu apabila semakin dalamnya kegiatan eksploitasi yang dilakukan sehingga bisa menyebabkan masuknya air ke daerah penambangan dan penyusutan air di sumur-sumur warga. Oleh karena itu perlu mengetahui perilaku kondisi air tanah dan pengaruhnya terhadap kegiatan penambangan di tambang Andesit, Desa Dadirejo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku kondisi air tanah dan pengaruhnya terhadap kegiatan penambangan di tambang batu Andesit dengan menggunakan pemodelan *Visual Modflow*.

Air tanah merupakan air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003), terdapat beberapa keadaan air tanah yaitu:

a. Lapisan *permeable* dan lapisan *impermeable*

Lapisan *permeable* atau akuifer adalah lapisan yang mudah dilalui oleh air tanah seperti lapisan pasir atau kerikil, sedangkan lapisan lapisan kedap air (*aquiclude*) merupakan lapisan yang sulit dilalui air tanah seperti lempung dan lapisan yang menahan air seperti lapisan batuan disebut lapisan kebal air (*aquifuge*). Kedua lapisan ini disebut sebagai lapisan *impermeable*.

b. Air bebas dan air terkekang

Air tanah bebas merupakan air tanah dalam akuifer yang tidak tertutup dengan lapisan *impermeable*, sedangkan air tanah terkekang merupakan air tanah dalam akuifer yang tertutup oleh lapisan *impermeable* dan mendapat tekanan.

c. Air tanah tumpang

Air tanah ini terjadi jika di dalam zona aerasi (tak jenuh) terbentuk lapisan *impermeable*, maka air tumpang ini tidak bisa dikatakan berpotensi adanya air tanah dikarenakan mempunyai variasi permukaan air dan volume.

Pemodelan air tanah merupakan suatu peniruan dalam sebuah model dua dimensi maupun tiga dimensi kondisi air tanah dan memperkirakan adanya perubahan kondisi muka air tanah yang akan terjadi di masa mendatang akibat adanya pengembangan air tanah atau akibat adanya pengelolaan baru, baik perubahan alam maupun aktifitas manusia sehingga bisa dijadikan usulan untuk pengembangan selanjutnya. Pada kegiatan pemodelan air tanah diperlukan adanya karakteristik akuifer mencakup permeabilitas, porositas dan ketebalan akuifer. Karakteristik dari permeabilitas dan porositas nantinya akan menentukan nilai kelulusan hidraulis dari material penyusun. Sedangkan ketebalan akuifer menentukan kapasitas maksimal air tanah yang disimpan pada akuifer (Todd & Mays, 2005).

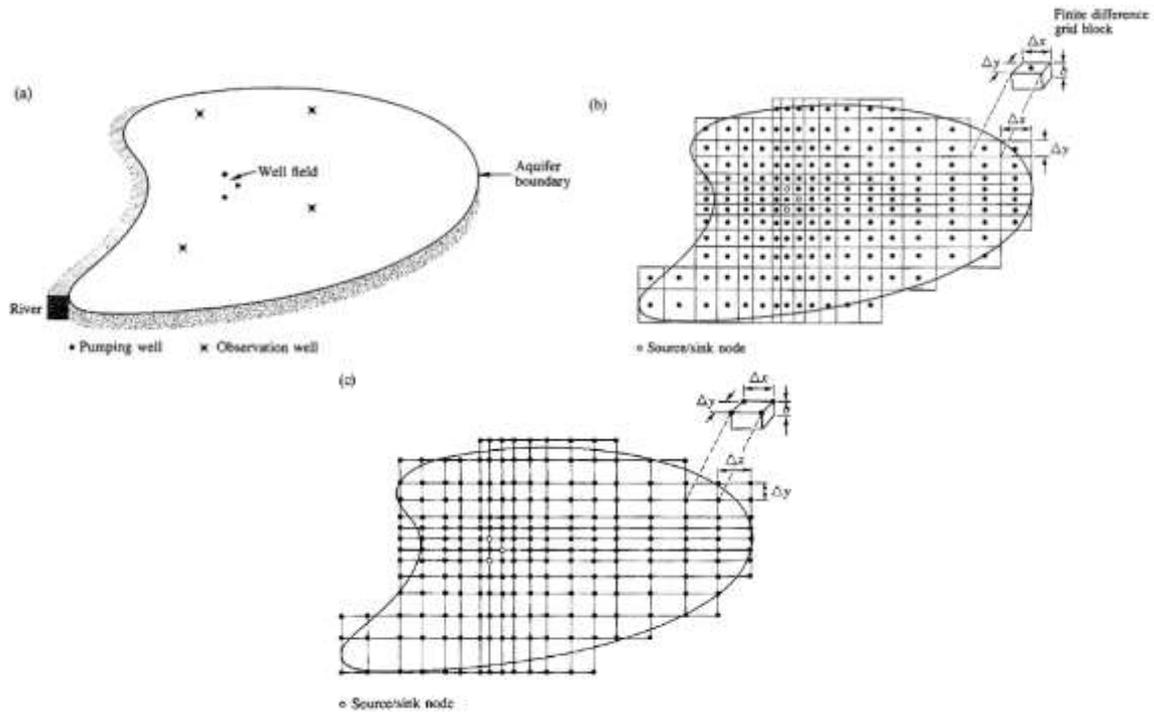
Pemodelan air tanah menggunakan perangkat lunak *Visual Modflow* digunakan untuk melihat dan mengamati hasil pergerakan air tanah serta menampilkan kondisi aliran air tanah dalam dua dimensi maupun tiga dimensi yang melewati media *porous* (Harbaugh et al., 2000). Kondisi aliran air tanah digunakan untuk menggambarkan pergerakan dari air tanah melalui akuifer. Aliran air tanah terdapat dua jenis aliran yaitu *steady-state flow* dan *transient flow*. Pada *steady-state flow* atau aliran tunak digambarkan dengan semua kondisi tetap/konstan sepanjang model waktu. Sedangkan *transient flow* digambarkan dengan jenis kondisi berbeda dan dipengaruhi oleh waktu selama pemodelan (Yu, 1992). Terdapat dua jenis model matematika dasar yang diakui untuk menjelaskan kondisi air tanah yaitu metode beda hingga dan metode elemen hingga seperti pada Persamaan (1). Kedua metode tersebut mengharuskan akuifer dipisahkan menjadi beberapa grid dan mengamati aliran di dalamnya (Wang and Anderson, 1982).

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[T_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] - G \quad (1)$$

Persamaan aliran air tanah merupakan bentuk turunan dari volume dengan sifat-sifatnya diasumsikan konstan (Wang and Anderson, 1982). Sehingga bentuk lain dari Persamaan (1) yaitu berdasarkan persamaan gaya Laplace pada kondisi tunak (*steady-state*) seperti Persamaan (2).

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \tag{2}$$

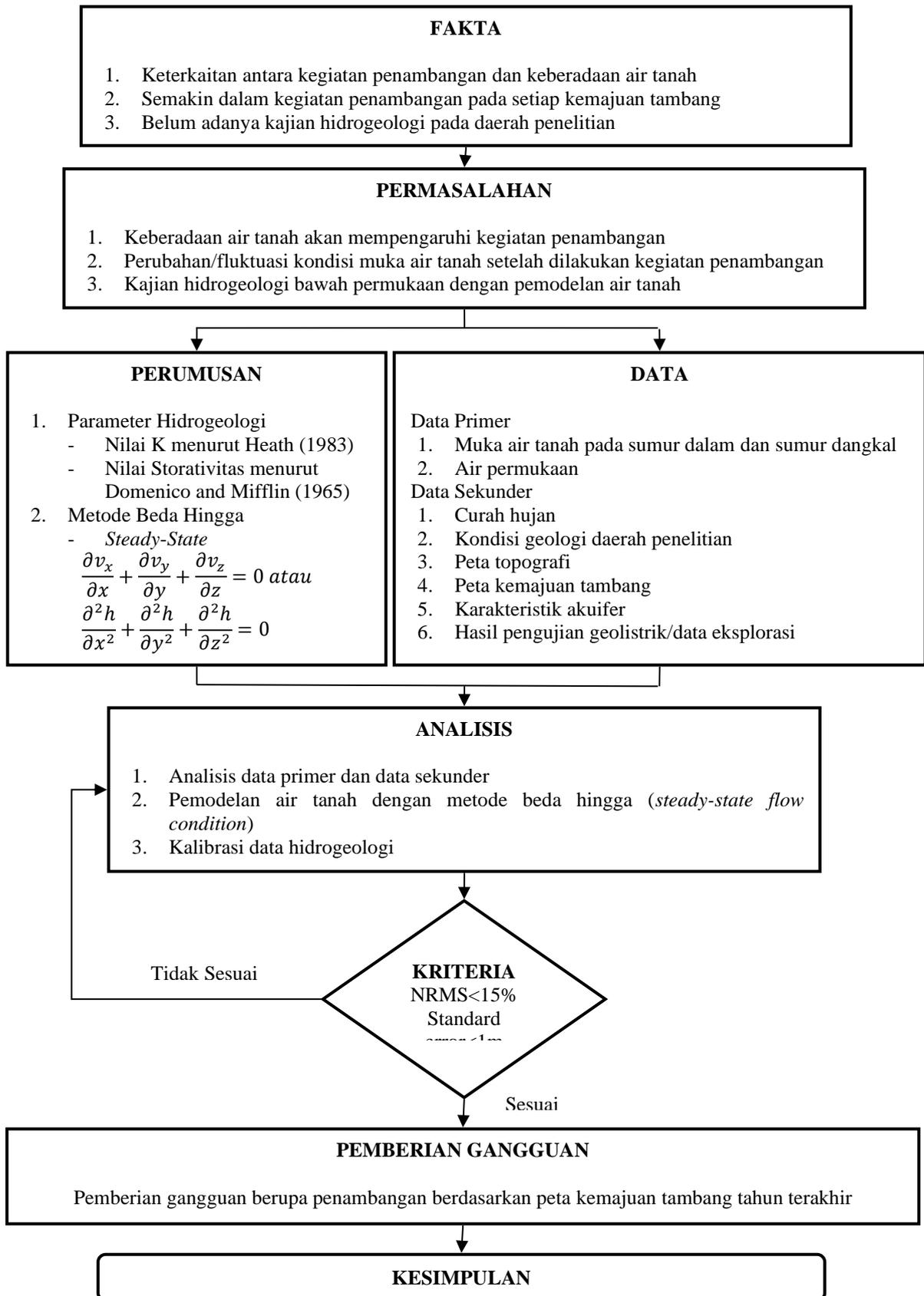
Pada metode beda hingga, node terletak di dalam sel atau di persimpangan garis *grid* seperti pada Gambar 1.b menggambarkan node berpusat pada blok, sedangkan grid ditunjukkan pada Gambar 1.c dengan *node* berpusat pada *mesh*. Sifat akuifer diasumsikan konstan pada setiap sel pada Gambar 1.b. Pada Gambar 1.c, area pengaruh setiap node didefinisikan mengikuti salah satu dari beberapa konvensi yang berbeda (Wang and Anderson, 1982).



Gambar 1.(a), (b), (c). Titik nodal pada *Finite Difference Method* (Wang and Anderson, 1982)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada tambang terbuka Andesit di Desa Dadirejo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan air tanah dengan menggunakan model dari *Visual Modflow*. Metode yang digunakan pada perangkat lunak ini adalah metode beda hingga (*Finite Difference Method*) yaitu membuat *block centered grid* atau mengetahui nilai tengah pada blok (Cornelia, 2004) dan keadaan aliran tunak. Adapun bagan alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



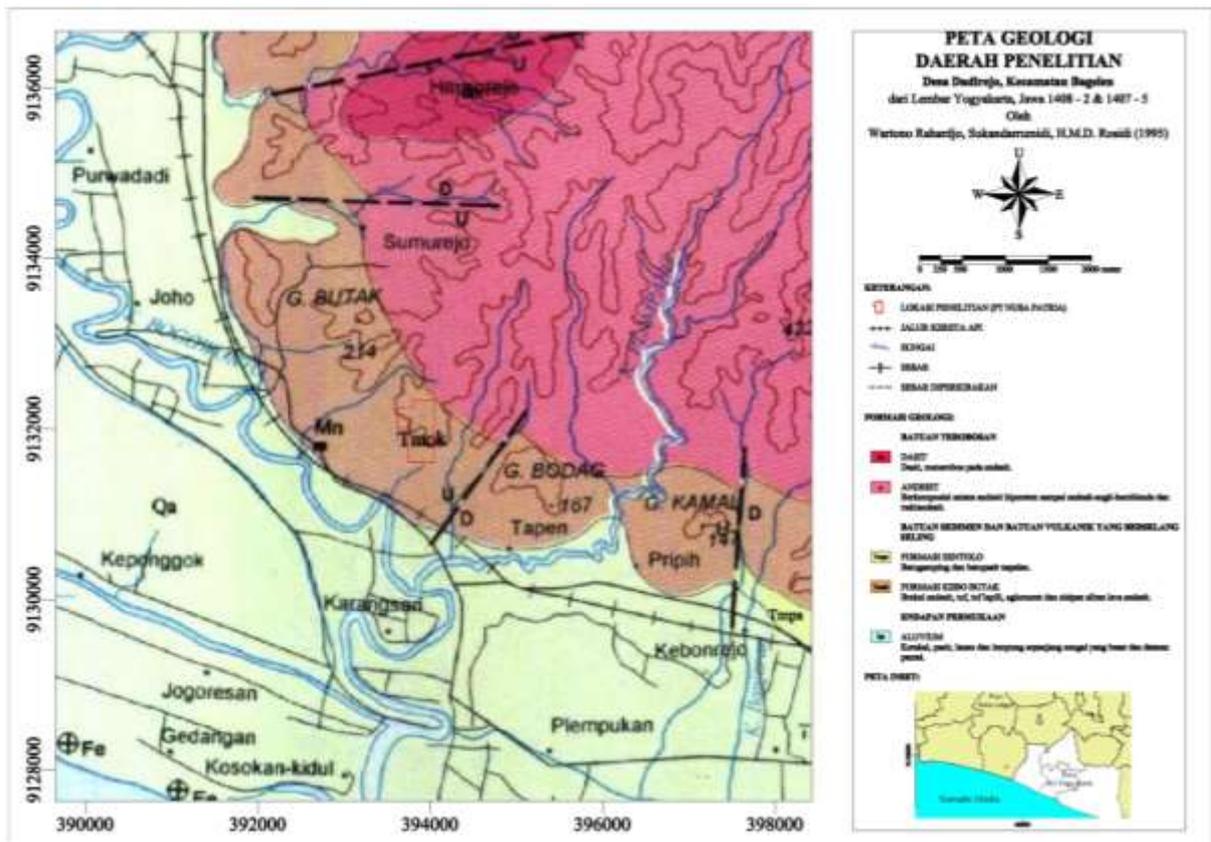
Gambar 2. Bagan alir metode penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Secara geologi, batuan di lokasi penelitian termasuk ke dalam Formasi Kebo Butak (Anggota Formasi Andesit Tua) yaitu pada kala Miosen (13-5 juta tahun lalu). Litologi formasinya berupa breksi vulkanik dengan fragmen andesit, lapili tuf, tuf, lapili breksi, sisipan aliran lava andesit, aglomerat dan batu pasir. Formasi ini memiliki kondisi morfologi pegunungan bergelombang sedang hingga terjal. Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Secara hidrogeologi, akuifer di lokasi penelitian memiliki penyebaran yang luas dan kedalaman muka air tanah yang beragam mulai dari 5 meter hingga 70 meter. Berdasarkan data sumur bor dalam dan sumur dangkal yang diperoleh dari data primer/observasi lapangan, lapisan akuifer berupa pasir, sedangkan lapisan *impermeable* berupa lempung dan breksi andesit.



Gambar 3. Peta Geologi daerah Dadirejo, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah (Raharjo, W., 1995)

Pendugaan Lapisan Batuan dengan Geolistrik

Cara pendugaan air tanah dengan geolistrik tergantung pada kualitas batuan, derajat padatan, dan kondisi kelembapan tanah. Arus listrik akan dialirkan di dalam tanah dan gradien tekanan listriknya diukur di atas permukaan tanah sehingga kondisi lapisan dapat diperkirakan berdasarkan nilai resistivitasnya (Dharmawan, 2017). Wilayah penelitian berpotensi adanya lapisan pembawa air (akuifer) berdasarkan keterdapatannya air tanah pada sumur dalam maupun dangkal. Keterdapatannya lapisan ini akan menentukan berpengaruh atau tidaknya terhadap kegiatan penambangan yang dilakukan di daerah tersebut. Kondisi muka air tanah dangkal di daerah penelitian terutama pada sumur dangkal berupa sumur gali penduduk memiliki ketinggian muka air mulai 3,5 meter sampai 7 meter dari permukaan tanah. Sedangkan kondisi muka air tanah dalam pada sumur dalam penduduk memiliki kedalaman berkisar antara 62 meter sampai 72 meter dari permukaan tanah.

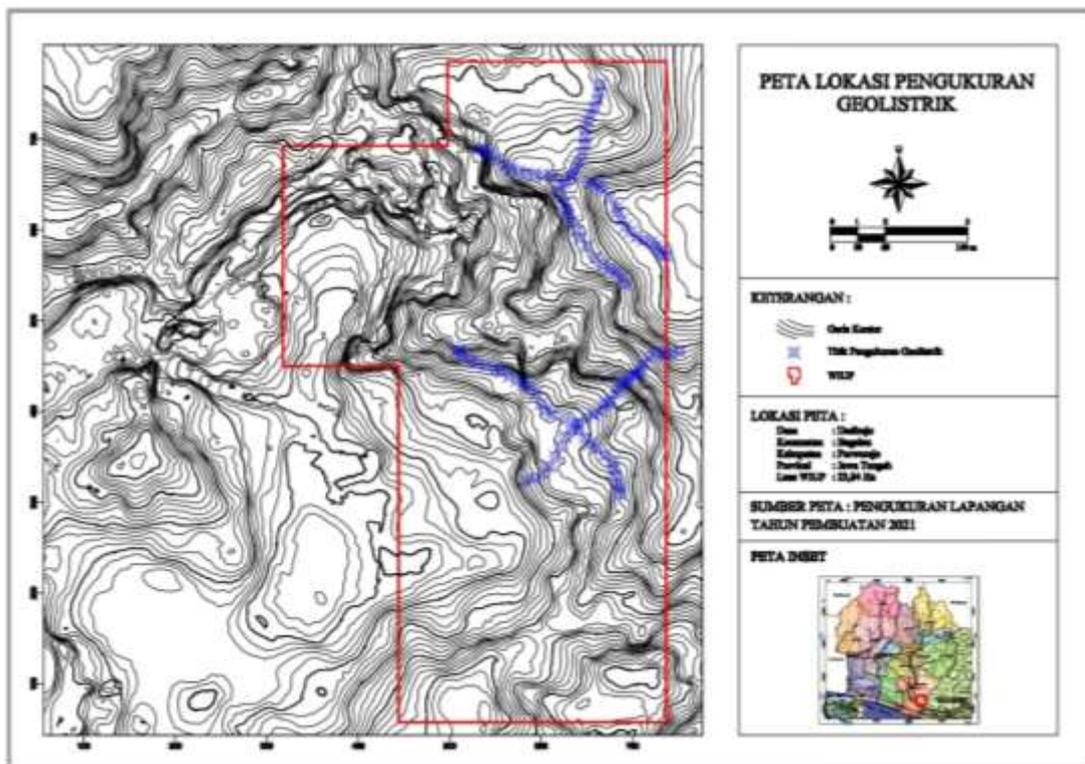
Berdasarkan data geolistrik di daerah penelitian, diperoleh interpretasi kuantitatif yang menggambarkan lapisan batuan bawah permukaan tanah seperti pada Tabel 1. Hasil interpretasi tersebut akan dibedakan berdasarkan *layer* sebagai data lapisan pada *Visual Modflow*. Adapun lokasi

pengujian geolistrik dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1. Interpretasi Geolistrik

No.	Kedalaman (m)	Nilai Tahanan Jenis (Ωm)	Lapisan Batuan
1	0 – 6	1 – 10	Dugaan asosiasi antara lempung, lanau dan lempung berpasir
2	7 – 15	10 – 100	Dugaan lapisan pasir, batu pasir, kerikil kering, tuf pasir
3	16 – 25	100 – 300	Dugaan breksi andesit, pasir, kerikil kering
4	26 – 70	>300	Dugaan breksi andesit, batu andesit, kelompok andesit

Berdasarkan hasil interpretasi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sebagian besar batuan di dominasi oleh lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas tinggi yaitu di atas 300 Ωm . Lapisan ini memiliki sifat yang kurang sebagai pembawa air atau akuifer.



Gambar 4. Lokasi Pengujian Geolistrik

Data Input Pemodelan Air Tanah

1. Data Grid Model

Langkah awal pemodelan air tanah yaitu membuat grid untuk membagi atau segmentasi daerah penelitian dengan ukuran grid sebesar 10 m x 10 m dengan luas daerah sebesar 52,5 Ha. Selain itu juga ditentukan sistem akuifer daerah penelitian memiliki tiga lapisan yaitu lapisan pertama dan lapisan ketiga sebagai lapisan kedap, sedangkan lapisan kedua sebagai lapisan akuifer. Tujuan adanya pembagian berdasarkan ukuran grid yang lebih kecil yaitu agar parameter dan karakteristik dari grid tersebut menjadi lebih homogen. Bentuk sistem grid lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

2. Data Sumur Bor (*Pumping Well*) dan Sumur Dangkal

Parameter utama yang diperlukan dalam pemodelan adalah data sumur bor (*pumping well*) dan sumur dangkal yang ada di daerah penelitian seperti lokasi sumur dan ketinggian muka air tanah. Data sumur bor dan sumur dangkal bisa dilihat pada Tabel 2.

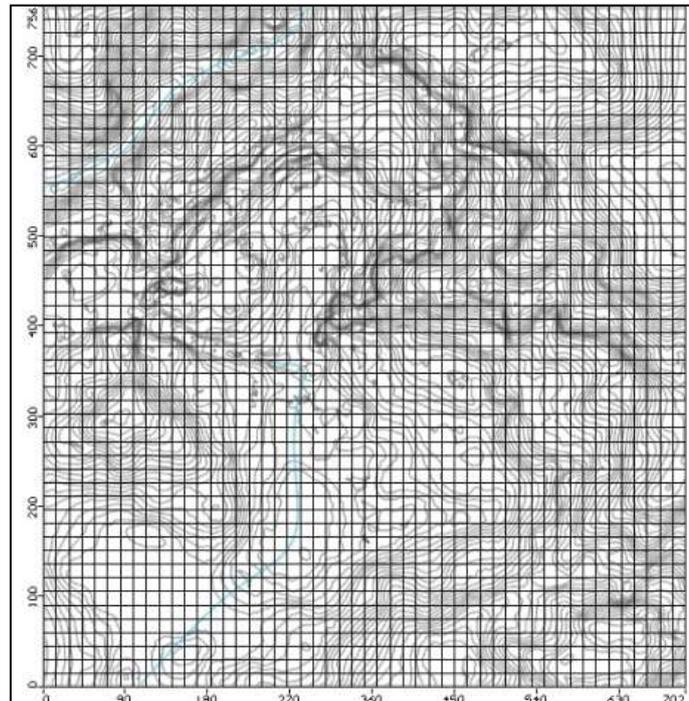
3. Karakteristik Hidraulik Akuifer

Parameter yang digunakan sebagai karakteristik hidraulik akuifer pada perangkat *Visual Modflow* yaitu *conductivity*, *storage*, dan *initial head*.

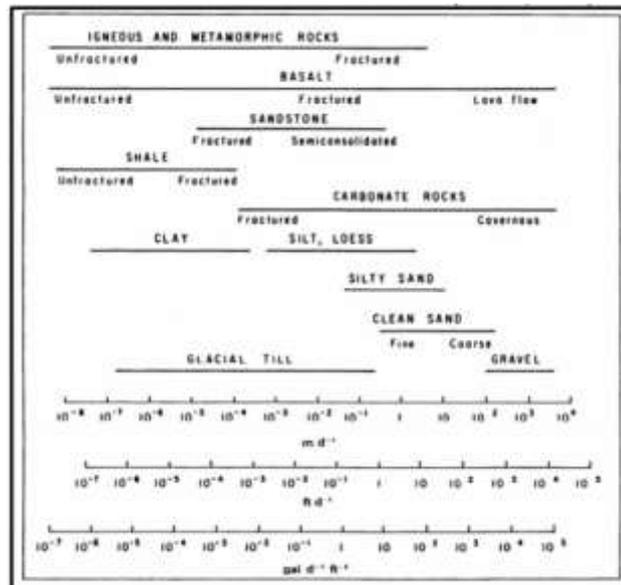
Konduktivitas atau Koefisien Kelulusan ($k = \text{Permeability}$), yaitu besaran yang menunjukkan jumlah aliran per satuan luas permukaan di bawah pengaruh gradien hidraulik. Nilai koefisien kelulusan dalam pemodelan air tanah sangat berperan pada kondisi aliran *steady* dan untuk menentukan besar kecilnya nilai konduktivitas pada suatu wilayah (Ilman et al, 2010). Nilai konduktivitas yang dimasukkan berdasarkan rentang pada Gambar 6 nilai konduktivitas masing-masing lapisan batuan menurut Heath (1983).

Tabel 2. Data Sumur Bor (*Pumping Well*) dan Sumur Dangkal

No.	Nama	Lokasi Model			Kedalaman MAT (m)	Elevasi MAT (mdpl)	Keterangan
		X	Y	Elevasi (mdpl)			
1	OBS1	499,88	681,75	114	72	42	Sumur dalam
2	OBS2	362,25	672,65	94	62	32	Sumur dalam
3	OBS3	274,79	496,94	52	7	45	Sumur dangkal
4	OBS4	264,66	442,50	51	6	45	Sumur dangkal
5	OBS5	215,48	151,93	50	5	45	Sumur dangkal
7	OBS7	106,10	47,76	55	4	51	Sumur dangkal
8	OBS8	493,28	226,56	61	6	55	Sumur dangkal
9	OBS9	689,74	291,54	121	68	53	Sumur dalam



Gambar 5. Sistem Grid



Gambar 6. Nilai konduktivitas lapisan batuan (Heath, 1983)

Kapasitas ($S = Storage$), yaitu data yang digunakan pada seluruh lokasi yang homogen secara horizontal sedangkan secara vertikal akan berbeda. *Storage* yang digunakan terdiri dari kapasitas spesifik (*specific storage* (S_s)), *specific Yield* (S_y), porositas efektif dan total porositas. Nilai masing-masing variabel *storage* yang dimasukkan ke perangkat *Visual Modflow* dapat dilihat dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 3.

Material	S_s (ft ⁻¹)
Plastic clay	7.8×10^{-4} to 6.2×10^{-3}
Stiff clay	3.9×10^{-4} to 7.8×10^{-4}
Medium hard clay	2.8×10^{-4} to 3.9×10^{-4}
Loose sand	1.5×10^{-4} to 3.1×10^{-4}
Dense sand	3.9×10^{-5} to 6.2×10^{-5}
Dense sandy gravel	1.5×10^{-5} to 3.1×10^{-5}
Rock, fissured	1×10^{-6} to 2.1×10^{-5}
Rock, sound	$< 1 \times 10^{-6}$

Material	Porosity (%)	Specific Yield (%)	Specific Retention (%)
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Limestone	20	18	2
Sandstone (unconsolidated)	11	6	5
Granite	0.1	0.09	0.01
Basalt (young)	11	8	3

Material	Specific Yield (%)
Gravel, coarse	21
Gravel, medium	24
Gravel, fine	28
Sand, coarse	30
Sand, medium	32
Sand, fine	33
Silt	20
Clay	6
Sandstone, fine grained	21
Sandstone, medium grained	27
Limestone	14
Dune sand	38
Loess	18
Peat	44
Schist	26
Siltstone	12
Till, predominantly silt	6
Till, predominantly sand	16
Till, predominantly gravel	16
Tuff	21

Gambar 7. Nilai storativitas lapisan batuan (Domenico and Mifflin, 1965)

Tabel 3. Variabel Karakteristik *Storage*

Karakteristik <i>Storage</i>	Layer 1	Layer 2	Layer 3
<i>Specific storage (Ss)</i> (1/m)	$6,56 \times 10^{-5}$	$1,31 \times 10^{-4}$	$3,28 \times 10^{-5}$
<i>Specific yield (Sy)</i> (%)	2	22	8
<i>Efficiency Porosity</i> (%)	2	22	8
<i>Total porosity</i> (%)	2	40	11

Initial Head, diperoleh berdasarkan hasil muka air tanah di daerah penelitian berupa pengambilan air tanah dari *pumping well* dan pengukuran ketinggian muka air tanah pada sumur dangkal.

4. *Boundary Conditions* (Kondisi Batas)

Terdapat 8 variabel yang merupakan *boundary conditions* pada program Modflow yaitu *constant head*, *river*, *stream*, *general head*, *drain*, *wall*, *recharge* dan *evapotranspiration*. Pada penelitian ini yang digunakan adalah *river*, *recharge* dan *evapotranspiration*.

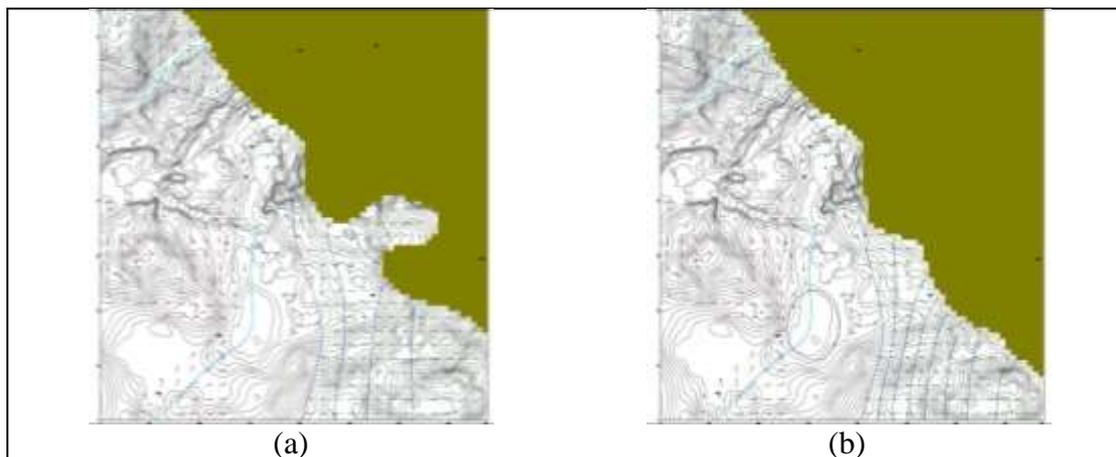
Recharge, dihitung berdasarkan 3 jenis yaitu berasal dari curah hujan, *run-off* atau air limpasan dan evapotranspirasi. Adapun nilai *recharge* pada daerah tersebut sebesar 806 mm/tahun.

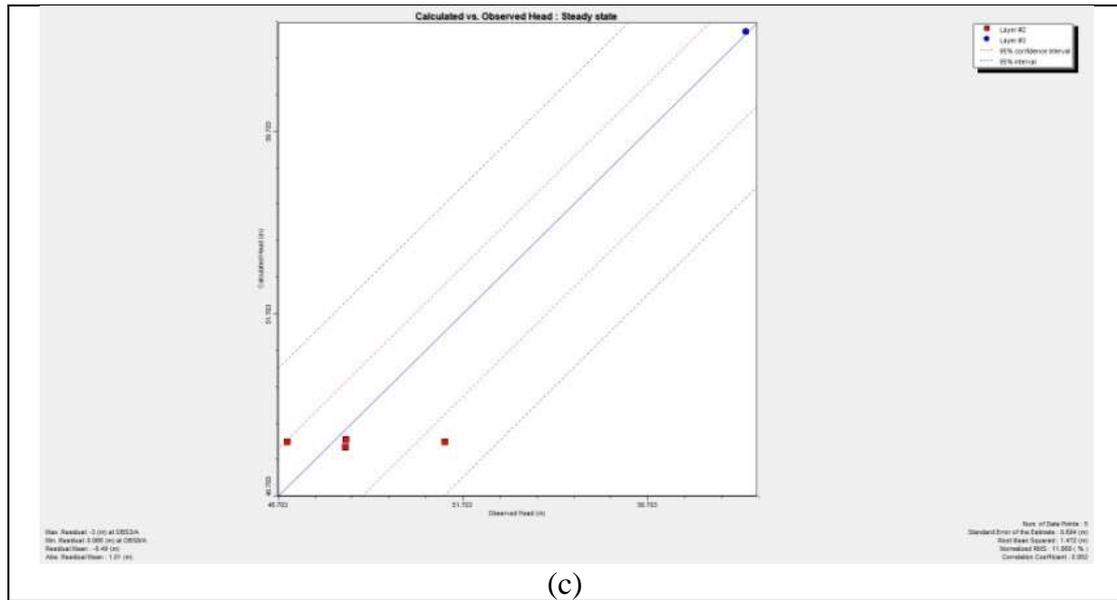
Evapotranspiration diasumsikan bergantung pada kedalaman muka air tanah dengan laju maksimum pada saat muka air tanah berada pada permukaan dan secara bertahap akan menurun, sehingga pada Modflow ditetapkan sebagai ketinggian vegetasi ditambah 1 m. Adapun nilai evapotranspirasi daerah penelitian sebesar 936 mm/tahun.

River atau sungai yang dimodelkan pada Modflow terletak sebelah Timur dan Selatan daerah penelitian dan memiliki konduktivitas hidraulik pada dasar sungai sebesar 5×10^{-3} m/hari.

Kalibrasi Model

Tahapan ini bertujuan untuk melihat perbedaan hasil pemodelan dengan kenyataannya di lapangan. Kalibrasi model yang digunakan yaitu perilaku kondisi air tanah sebelum adanya kegiatan penambangan pada tahun 2020 dengan pemodelan air tanah pada tahun 2025 setelah berjalannya kegiatan penambangan. Selain itu, pada setiap masing-masing *layer* atau lapisan penyusun dilakukan kalibrasi untuk memperoleh kecenderungan atau kemiripan antara hasil perhitungan dengan keadaan di lapangan. Adapun tampilan muka air tanah dan hasil kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 4.





Gambar 8. (a) Sebelum dilakukan kalibrasi, (b) Setelah dilakukan kalibrasi, (c) Hasil Kalibrasi

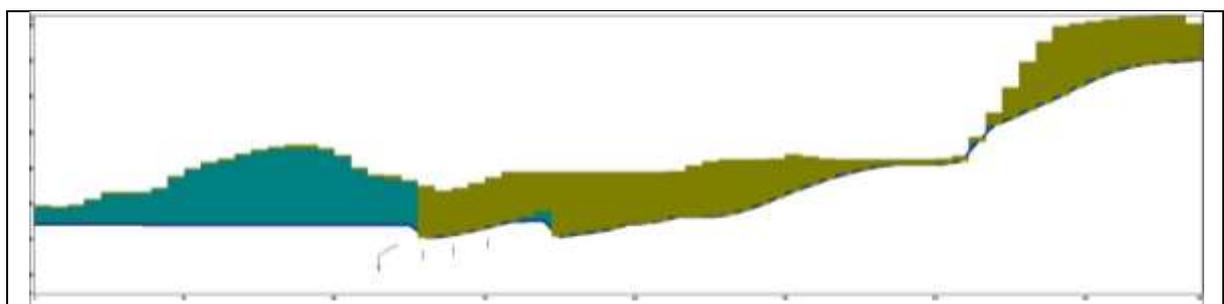
Tabel 4. Nilai Parameter Konduktivitas Lapisan Akuifer

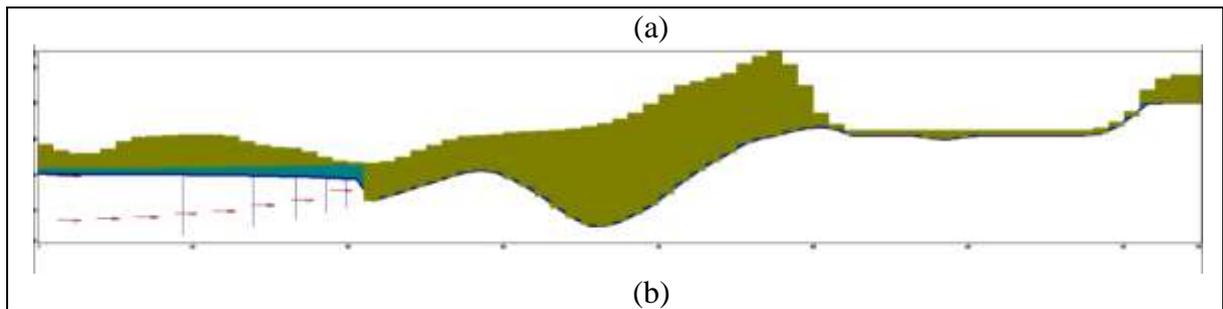
Parameter Input	Sebelum Kalibrasi	Setelah Kalibrasi
Kx (m/s)	1×10^{-1}	7×10^{-1}
Ky (m/s)	1×10^{-1}	7×10^{-1}
Kz (m/s)	1×10^{-1}	7×10^{-1}
Recharge (mm/tahun)	806	806
Evapotranspiration (mm/tahun)	936	936

Berdasarkan hasil kalibrasi model, diperoleh perbedaan parameter masukan sebelum dan setelah kalibrasi seperti pada Tabel 4. Sedangkan nilai NRMS dan error hasil kalibrasi seperti pada Gambar 6.c menunjukkan bahwa nilai NRMS < 15% yaitu sebesar 11,868% dan error sebesar 0,694 m atau kurang dari 1 meter, maka model sudah memenuhi syarat dan dapat dilakukan pemodelan selanjutnya dengan diberikannya gangguan berupa kegiatan penambangan di daerah penelitian.

Hasil Pemodelan dan Kalibrasi

Setelah semua parameter berhasil diinput dan dilakukan kalibrasi, selanjutnya diberikan gangguan dengan adanya kegiatan penambangan sehingga dapat dilihat hasil *output* berupa pemodelan muka air tanah sebelum terjadinya kegiatan penambangan dan setelah adanya kegiatan penambangan di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil keluaran, elevasi muka air tanah yang ditemukan pada *pumping well* terdekat berkisar pada 32-42 mdpl sedangkan elevasi terendah kegiatan penambangan pada tahun terakhir (2025) yaitu 56 mdpl (lihat Gambar 7) maka rembesan air tanah tidak berpengaruh terhadap kegiatan penambangan. Apabila diasumsikan bawah permukaan bukaan tambang merupakan lapisan akuifer dan kegiatan penambangan diteruskan sampai kedalaman berkisar antara 14-20 meter maka akan ditemukan adanya rembesan air tanah pada dinding *pit* dan air yang masuk akan mengganggu kegiatan penambangan serta sumur penduduk mengalami penyusutan akibat muka air tanah yang menurun.





Gambar 7. (a) Tampilan Barat-Timur Penampang Kemajuan Tambang Tahun 2025, (b) Tampilan Utara-Selatan Penampang Kemajuan Tambang Tahun 2025

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pemodelan air tanah sangat diperlukan untuk menganalisis kondisi air tanah di bawah permukaan termasuk pengaruhnya terhadap kegiatan penambangan di lokasi penelitian. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa air tanah tidak berpengaruh terhadap kegiatan penambangan dikarenakan elevasi muka air tanah berkisar antara 32-42 mdpl atau berada di bawah elevasi terendah kegiatan penambangan pada tahun terakhir (2025) (56 mdpl). Apabila lapisan bawah ditemukan akuifer dan kegiatan penambangan diteruskan hingga kedalaman berkisar antara 14-20 meter maka akan ditemukan adanya rembesan air dan berpengaruh terhadap aktivitas penambangan serta surutnya muka air tanah pada sumur penduduk.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan dari pihak PT Nusa Patria dan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Balti, H., Hachani, F. & Gasmi, M. 2014. Hydrogeological Potentiality Assessment of Teboursouk Basin, Northwest Tunisia Using Electrical Resistivity Sounding and Well Logging Data. *Arabian Journal of Geosciences*, pp.2908-14.
- Bisri, M. 1991. *Aliran Air Tanah Malang*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Cornelia, S.B. 2004. *Pemodelan dan Analisis Kimia Air Tanah dengan Menggunakan Software Modflow di Daerah Bekas TPA Pasir Impun Bandung, Jawa Barat*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Cui, T. et al. 2021. Impact of Model Parameterization on Predictive Uncertainty of Regional Groundwater Models in the Context of Environmental Impact Assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 90, pp.1-15.
- Dharmawan, P. 2017. *Analisis Karakteristik dan Potensi Akuifer Kecamatan Purworejo Kabupaten Purworejo dengan Metode Vertical Electrical Sounding (VES)*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Domenico, P.A. & Mifflin, M.D. 1965. *Water from Low-permeability Sediment and Land Subsidence - Water Resources Research*.
- Ginting, S. & Rengganis, H. 2010. *Pemodelan Air Tanah di Cekungan Air Tanah Umbulan dengan Visual Modflow Premium 4.3*. [Online] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/327671102> [Accessed 10 Juli 2021].
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. & McDonald, M.G. 2000. *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground - Water Model: User Guide to Modularization Concepts and The Ground Water Flow Process*. United States: U.S. Geological Survey.
- Heath, R.C. 1983. *Basic Ground-Water Hydrology*. Virginia: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220.

Ilman, W.A., Zhu, J., Craig, A.J. & Yin, D. 2010. Comparison of Aquifer Characterization Approaches Through Steady State Groundwater Model Validation: A Controlled Laboratory Sandbox Study. *Journal of Geophysical Research*, 46.

Seyed, R.S. & Sa'ari, M. 2011. Prediction of Contamination Migration in an Unconfined Aquifer with Visual MODFLOW A Case Study. *World Applied Sciences Journal*, 14(7), p.1102.

Sosrodarsono, S. & Takeda, K. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Surinaidu, L., Gurunadha, V., Srinivasa, N. & 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*, pp.49-65.

Todd, D.K. & Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrology Third Edition*. United States: John Wiley & Sons, Inc.

Wang, H.F. & Anderson, M.P. 1982. *Introduction to Groundwater Modeling - Finite Difference and Finite Element Methods*. United Kingdom: Academic Press Limited, Inc.

Wicaksono, A., Putranto, T. & Setyawan, R.. 2018. *Pemodelan Hidrogeologi Cekungan Air Tanah Samarinda-Bontang Segmen Penajam dalam Upaya Konservasi Airtanah Berbasis Cekungan, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur*. Semarang: Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Yu, F.X. 1992. *Modeling Three-dimensional Groundwater Flow and Solute Transport by the Finite Element Method with Parameter Estimation*. The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.