

STUDI PERBANDINGAN SIMULASI *DRAIN HOLE* DAN *PUMPING WELL* UNTUK PENURUNAN MUKA AIR TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE MODFLOW DI PIT ELZ PT KIDECO JAYA AGUNG, KALIMANTAN TIMUR

(COMPARATIVE STUDY OF *DRAIN HOLE* AND *PUMPING WELL* SIMULATIONS FOR GROUNDWATER LEVEL REDUCTION USING MODFLOW SOFTWARE AT PIT ELZ, PT KIDECO JAYA AGUNG, EAST KALIMANTAN)

Felice Deglardini Wopari^{1*}, Grace Ellen Padolo², Djuardrensi Patabang³, Fithriyani Fauziyyah⁴

^{1*} Program Studi Geofisika, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

^{2,3} Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

⁴ PT Kideco Jaya Agung, Samarinda, Indonesia

* Korespondensi E-mail felicedeglardiniw@gmail.com

Abstrak

Penurunan muka air tanah merupakan aspek penting dalam kegiatan penambangan terbuka, terutama untuk menjaga stabilitas lereng dan kelancaran operasi penambangan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan simulasi penurunan muka air tanah menggunakan metode *drain hole* dan *Pumping well* di Pit ELZ, PT Kideco Jaya Agung, Kalimantan Timur. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak *Modflow Flex* dengan metode beda hingga (*Finite Difference*). Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer terdiri dari pengukuran muka air tanah, pemetaan hidrogeologi dan debit air pada *drain hole*. Sedangkan data sekunder terdiri dari peta topografi, geologi, data curah hujan dan data *Pumping well*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak antar lubang *drain hole* sebesar 50 meter lebih efektif dibandingkan dengan jarak 100 meter dalam menurunkan muka air tanah. Selain itu, penggunaan *Pumping well* yang ditempatkan secara strategis terbukti mempercepat proses *dewatering*. Model simulasi yang didesain telah dikalibrasi dengan data kondisi tunak (*steady-state*) dan divalidasi dengan data transien selama 30 hari, dengan nilai korelasi sebesar $R^2 = 0,9$. Model ini dianggap cukup representatif terhadap kondisi lapangan dan dapat dijadikan dasar perencanaan sistem penyaliran tambang yang efisien. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan teknis penanggulangan air tambang yang berkelanjutan.

Kata kunci: Air tanah, *Dewatering*, *Drain hole*, Hidrogeologi, *Modflow Flex*, Simulasi

Abstract

Groundwater level drawdown is an important aspect in open-pit mining activities, particularly to maintain slope stability and ensure smooth mining operations. This study aims to compare groundwater drawdown simulations using the *drain hole* method and *Pumping wells* at Pit ELZ, PT Kideco Jaya Agung, East Kalimantan. The simulation was carried out using *Modflow Flex* software with the *Finite Difference* method. The data used consists of both primary and secondary data. The primary data includes groundwater level measurements, hydrogeological mapping, and discharge rates from drain holes. The secondary data includes topographic maps, geological data, rainfall data, and *Pumping well* records. The results of the study show that a *drain hole* spacing of 50 meters is more effective than 100 meters in lowering the groundwater level. In addition, the use of strategically placed *Pumping wells* proved to accelerate the *dewatering* process. The simulation model was calibrated with *steady-state* data and validated with transient data over 30 days, yielding a correlation value of $R^2 = 0.9$. This model is considered sufficiently representative of field conditions and can be used as a basis for designing an efficient mine *dewatering* system.

Keywords: *Dewatering*, *Drain hole*, Groundwater, Hydrogeology, *Modflow Flex*, Simulation

Article History	Submitted: 10-06-2026	Revised: 18-09-2026	Accepted: 23-09-2026
Published by	Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya		
License	CC BY-SA 4.0		
DOI	10.36873/jtp.v26i2.26454		

1. Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber energi fosil yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan berbagai kebutuhan industri. PT Kideco Jaya Agung adalah salah satu perusahaan tambang batubara yang didirikan pada tahun 1982, di Desa Batu Kajang, Provinsi Kalimantan Timur (Malik, 2021). Kegiatan penambangan dilakukan menggunakan sistem tambang terbuka *metode open pit* yang berhubungan langsung dengan permukaan tanah dan atmosfer, sehingga seluruh rangkaian kerja penambangan dipengaruhi oleh iklim dan cuaca.

Penambangan dengan metode *open pit* berlangsung dalam jangka waktu lama akan membentuk cekungan (*pit*) yang semakin luas dan dalam. Kondisi ini dapat menyebabkan perubahan lingkungan, bentang alam dan pola aliran air di sekitar wilayah penambangan (Haq, 2023). Air yang mengalir berasal dari air permukaan, air hujan dan air tanah (Sinaga, 2025), berpotensi meningkatkan volume air tampungan di dalam area penambangan. Kondisi ini bila dibiarkan dapat menjadi permasalahan serius karena mempercepat pelapukan batuan, penurunan kestabilan lereng, mengganggu produktivitas kerja alat, resiko keselamatan kerja dan berdampak pada kerugian ekonomi (Cahyadi, 2020). Area penambangan yang baik harus kering dan tidak terdapat genangan air sehingga produktivitas penambangan dapat berjalan dengan baik.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan upaya penurunan muka air tanah melalui analisis kondisi hidrogeologi, prediksi besaran aliran air yang masuk ke area penambangan dan perencanaan *dewatering* yang efektif. *Dewatering* merupakan proses pengendalian air permukaan dan pengurangan air tanah yang masuk ke dalam area penambangan (Anatoly, 2022). Perencanaan sistem *dewatering* memerlukan simulasi terhadap pemilihan metode yang akan digunakan yaitu metode *drain hole* dan *Pumping well*. Simulasi *drain hole* dibuat horizontal terdiri dari spasi 100 meter dengan jumlah *drain hole* 30 dan Simulasi *drainhole* spasi 50 meter dengan jumlah *drainhole* 64. *Drain Hole* yang disimulasikan pada Simulasi ini sangat penting dilakukan untuk menentukan metode yang paling efektif mengendalikan aliran air agar area penambangan tetap kering dan mengalirkan air ke permukaan. Penurunan muka air tanah selama proses penambangan berfungsi sebagai data dasar hidrogeologi dan menjaga kestabilan lereng dalam upaya pengelolaan lingkungan tambang (Kartini, 2024). Penerapan *drain hole* dengan jarak antar lubang yang lebih rapat mampu menurunkan muka air tanah secara signifikan dan secara langsung meningkatkan faktor keamanan lereng tambang (Fadhilah, 2020). Selain itu diperlukan analisis debit air limpasan (Wopari, 2025) digunakan dalam simulasi sistem *dewatering* dalam simulasi *pumping well*.

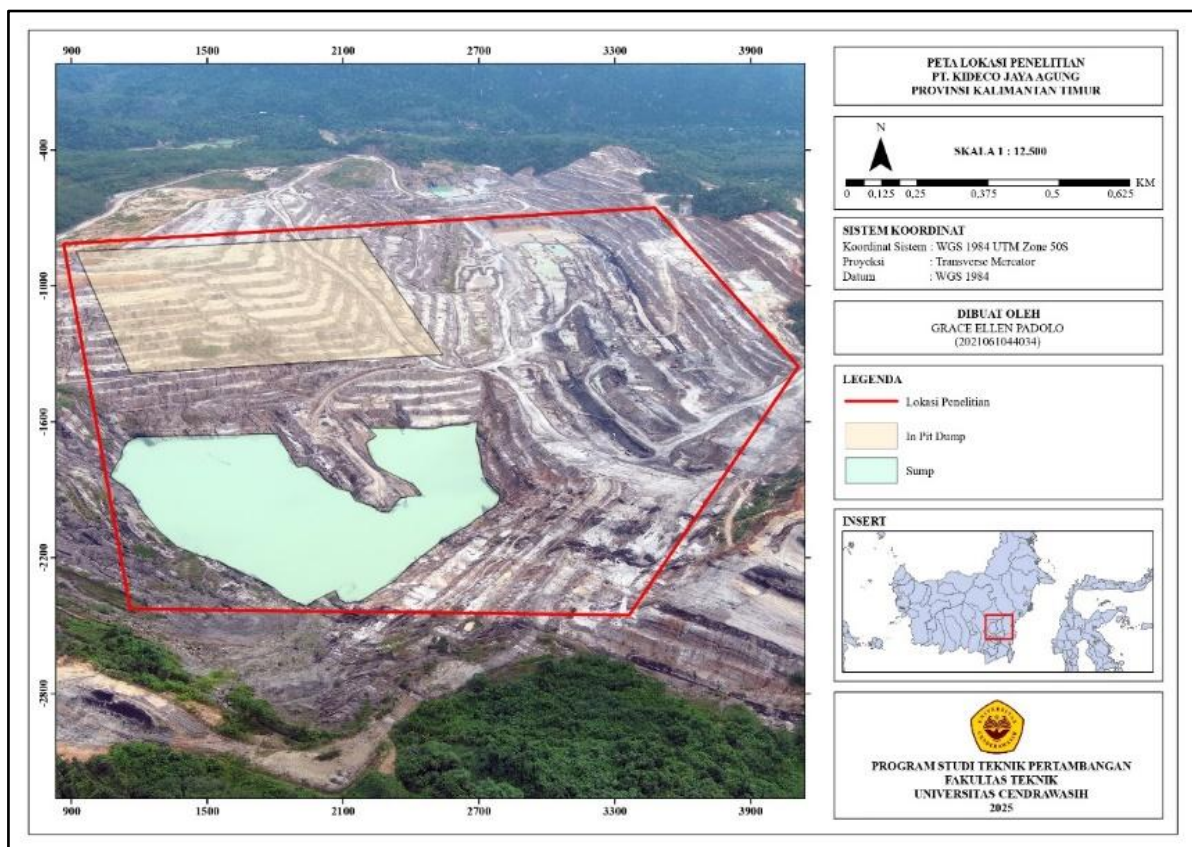
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan simulasi *Drain hole* dan *Pumping well* dalam upaya penurunan muka air tanah dengan menggunakan perangkat lunak *Modflow flex* di *Pit Elz*. Hasil simulasi diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efektivitas masing-masing metode dalam memodelkan aliran air tanah.

2. Metode

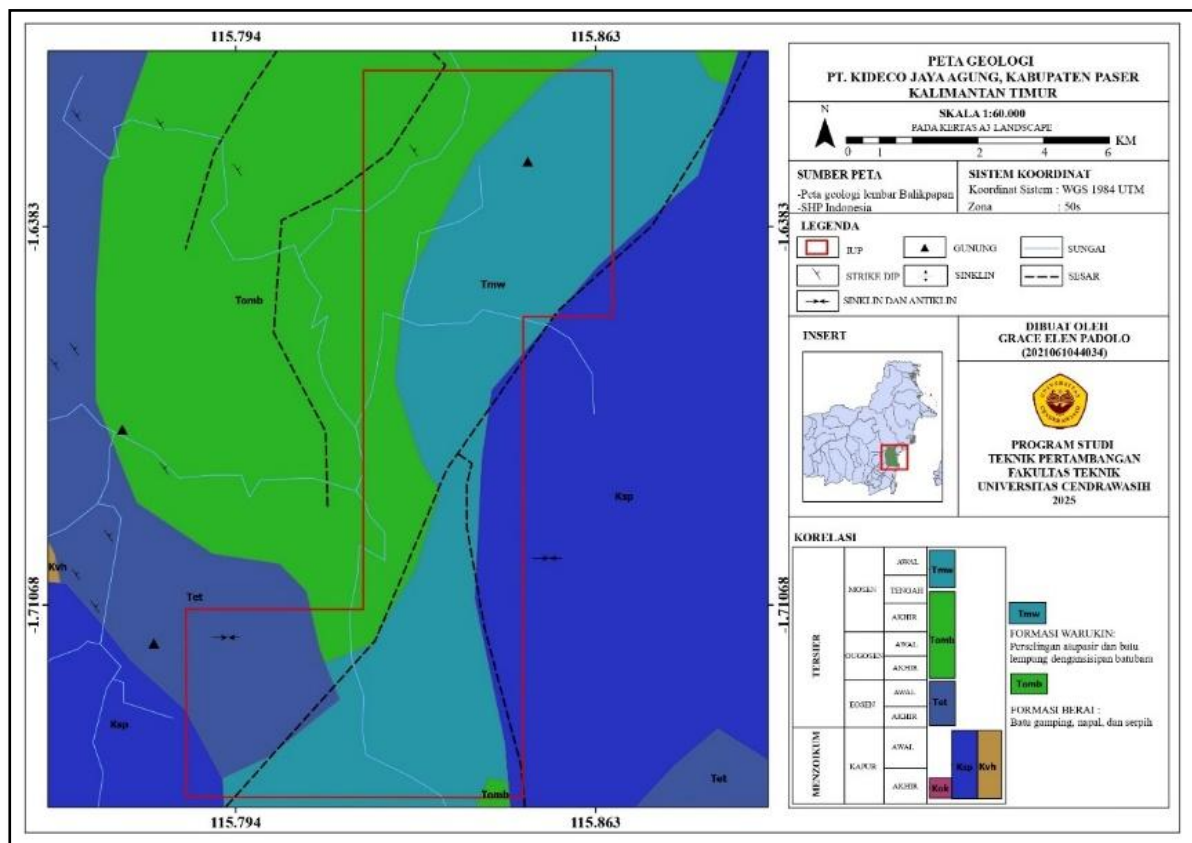
Penelitian ini dilaksanakan di PT Kideco Jaya Agung yang berlokasi di Desa Batu Kajang, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. Berdasarkan laporan keberlanjutan PT Kideco Jaya Agung tahun 2024, perusahaan ini memiliki Wilayah Izin Usaha Pertambangan Khusus (WIUPK) yang diperoleh pada tahun 2022 dengan luas wilayah mencapai 33.887 hektar.

Menurut (Hidayat, 1994 dan Wahyuddin, 2023) pada peta geologi Lembar Balikpapan, daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin (Tmw), yang tersusun atas perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batubara dengan ketebelan 300m - 500m, litologi wilayah ini memiliki karakteristik khas dilingkungan pengendapannya yang beragam. Formasi Warukin termasuk formasi pembawa batubara.

Kondisi hidrogeologi, formasi warukin disusun oleh lapisan batu pasir yang berukuran butir halus hingga sedang umumnya memiliki porositas dan permeabilitas yang lebih tinggi sehingga mampu menyimpan dan mengalirkan air tanah dengan baik. Sebaliknya, lapisan batulempung dan batubara memiliki permeabilitas yang rendah sehingga berperan sebagai lapisan penghambat atau pembatas aliran air di bagian-bagian tertentu. Kondisi hidrogeologi wilayah penelitian menjadi salah satu faktor penting dalam perencanaan simulasi *dewatering* karena mempengaruhi pola aliran air tanah dan besarnya debit aliran yang masuk ke dalam area penambangan.



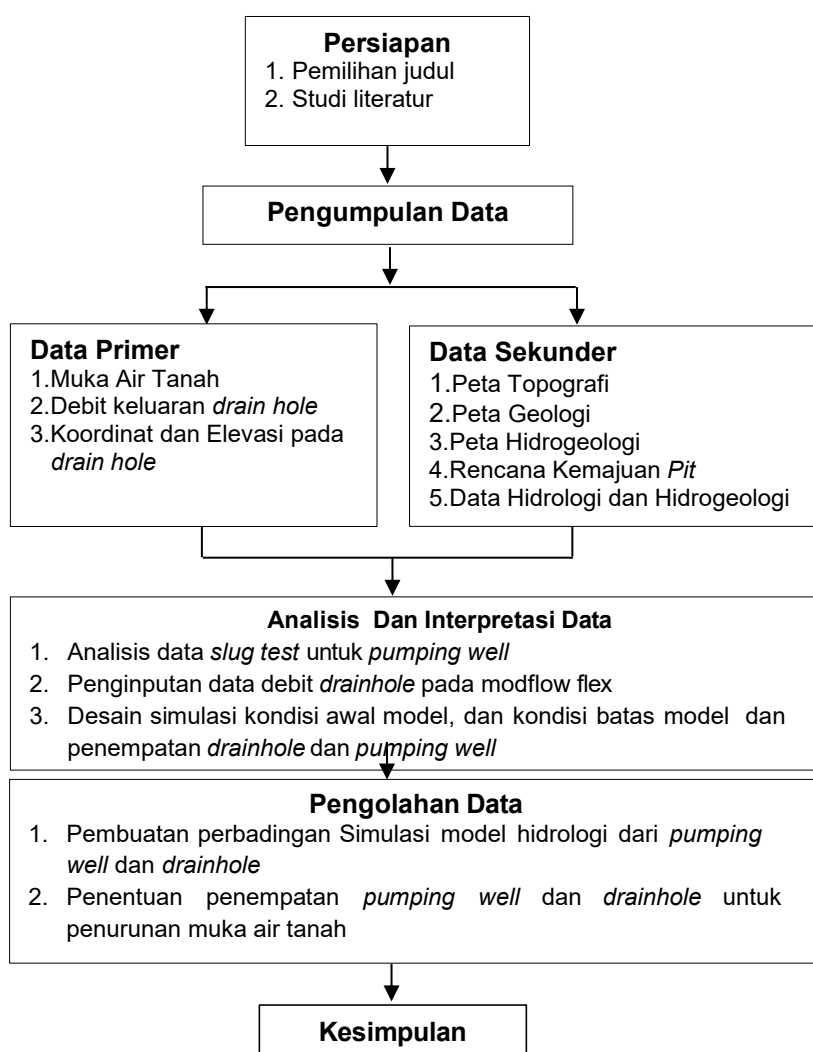
Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Geologi Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tahun 2025 untuk pengambilan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari hasil penelitian dan data sekunder berupa data pendukung yang dari perusahaan dan referensi ilmiah. Tahapan penelitian dilakukan sesuai diagram alir (Gambar 3). Pengumpulan data lapangan meliputi pengukuran muka air tanah menggunakan *water level logger* untuk mengetahui fluktuasi muka air tanah selama pengamatan, pengukuran debit keluaran *drain hole* menggunakan *flow logger*, pengambilan data koordinat dan elevasi pada setiap *drain hole* menggunakan *Global Positioning System (GPS) Hand Triamble* dan pengukuran parameter hidrolik berupa konduktivitas hidrolik (K) diperoleh dari hasil pengujian lapangan menggunakan metode *slug test* dan *packer test* pada area penelitian.

Pada pengembangan simulasi model digunakan metode pemodelan hidrogeologi numerik dengan pendekatan *Finite Difference* menggunakan perangkat lunak *Modflow Flex* (Harbaugh, 2005). Grid model dibangun dengan ukuran 20x20 m dalam arah x (*easting*) dan y (*northing*) menghasilkan jumlah total grid 62500. Untuk z (elevasi), model dibagi menjadi 41 layer dengan rentang elevasi -50 m hingga 250 dengan ketebalan layer ditentukan sesuai parameter geologi dan hidrostratigrafi. Analisis *slug test* dilakukan untuk menentukan konduktivitas hidrolik (Kasenow, 2001), sebagai data yang akan diinput ke model numerik. Sementara nilai parameter hidrolik lainnya seperti storativitas, transmisivitas, porositas menggunakan referensi ilmiah yang sesuai dengan jenis litologi yang ada di area penelitian.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pada pembuatan model hidrogeologi dilakukan dengan mempertimbangkan parameter batas model parameter hidrolik, kondisi awal, serta penempatan *drain hole* dan *Pumping well*. Tahapan Simulasi Model dilakukan menggunakan perangkat lunak *Modflow Flex* sebanyak tiga simulasi yaitu simulasi *drain hole* berjarak 100 m, *drain hole* berjarak 50 m dan *Pumping well*. Setelah simulasi

dilakukan kalibrasi dan validasi model yaitu dengan membandingkan data hasil simulasi terhadap data pengamatan di lapangan. Pengukuran di lapangan menggunakan empat peralatan piezometer untuk memantau perubahan kondisi hidrolik, tekanan air pori dan respon akuifer terhadap proses *dewatering*. Data hasil perbandingan dianalisis dan diinterpretasi untuk mengevaluasi penurunan muka air tanah yang tepat dari setiap simulasi.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil

Karakteristik geologi dan hidrogeologi daerah penelitian menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kondisi hidrogeologi pada wilayah penambangan. Variasi litologi batuan berperan dalam mengontrol pola aliran air tanah, kemampuan akuifer menyimpan dan meloloskan air, rembesan air di lereng *pit*, distribusi tekanan pori pada massa batuan dan respon penurunan muka air tanah (Read, 2009). Karakteristik hidrogeologi tersebut menjadi faktor utama dalam penyusunan model konseptual dan simulasi *dewatering*.

Simulasi *dewatering* dilakukan untuk membandingkan metode *drain hole* dan *pumping well* dalam menurunkan muka air tanah di *Pit* ELZ PT Kideco Jaya Agung. *Drain hole* berfungsi untuk menurunkan muka air tanah pada lereng tambang terbuka (Royster, 1980). Keberadaan air tanah di lereng tambang dapat menyebabkan penurunan stabilitas lereng karena lereng menjadi jenuh air, sehingga dapat meningkatkan resiko longsor. Sistem *Pumping well* digunakan untuk mengendalikan akumulasi air tanah yang masuk ke area penambangan. Sistem ini dilakukan dengan membuat sumur yang dilengkapi pompa *submersible* untuk mengeluarkan air tanah dari akuifer sehingga terjadi penurunan muka air tanah, penurunan tekanan pori batuan dan peningkatan kestabilan lereng (Cook, 2022). Pada penelitian ini pompa yang digunakan di *Pit* ELZ PT Kideco Jaya Agung yaitu pompa *Submersible Franklin 3200 Series*. Pompa dengan *head* total 93,9 m dapat bekerja pada *power* 1 Hp menghasilkan *flow rate* 2,25 m³/jam.

Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Modflow Flex* dengan mempertimbangkan kondisi geologi, hidrogeologi, parameter hidraulik, kondisi batas, serta data muka air tanah pada area penelitian (Winston, 2023). Sistem *dewatering* yang dilakukan pada tambang terbuka tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi geologi dan air tanah tetapi juga oleh air hujan yang menjadi limpasan air permukaan. Analisis hidrologi dilakukan berdasarkan data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dari PT Kideco Jaya Agung selama periode tahun 2020 – tahun 2024 sebanyak 60 data. Sebelum dilakukan analisis curah hujan rancangan dievaluasi statistik untuk memastikan kelayakan data dalam penentuan persamaan gumbel. Analisis curah hujan rancangan menggunakan persamaan metode gumbel (Suripin 2004 dan Wopari, 2025). Hasil analisis ini digunakan untuk memperkirakan debit aliran air yang masuk di wilayah penambangan dapat dihitung sebagai berikut.

Nilai rata-rata curah hujan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum X_i}{n} \\ \bar{X} &= \frac{12.045}{60} \\ \bar{X} &= 200,7 \text{ mm}\end{aligned}\tag{1}$$

Keterangan:

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan,
 X_i = data curah hujan ke-i,
 n = jumlah data.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai rata-rata curah hujan yang diperoleh adalah sebesar 200,7 mm. Selanjutnya, nilai standar deviasi dihitung untuk mengetahui tingkat penyebaran data curah hujan terhadap nilai rata-ratanya. Persamaan standar deviasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}\tag{2}$$

$$S = \sqrt{\frac{465.525}{60-1}}$$

$$S = 88,83$$

Keterangan:

S = standar deviasi,

X_i = data curah hujan ke-i,

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan,

n = jumlah data.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai standar deviasi curah hujan sebesar 88,83. Nilai ini menunjukkan adanya variasi curah hujan pada area penelitian selama periode pengamatan. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai koreksi rata-rata dan koreksi rata-rata standar deviasi sebagai parameter dalam analisis distribusi Gumbel. Sebelum menghitung nilai koreksi rata-rata, terlebih dahulu dilakukan koreksi koreksi data curah hujan terhadap 30 data yang telah dipilih dari 60 dengan menggunakan persamaan:

$$Y_n = -\ln \left\{ -\ln \left[\frac{(n+1)-m}{n+1} \right] \right\} \quad (3)$$

$$Y_n = -\ln \left\{ -\ln \left[\frac{(30+1)-1}{30+1} \right] \right\}$$

$$Y_n = 3,42$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah nilai koreksi sebesar 16,5 dengan jumlah data sebanyak 30, sehingga nilai koreksi rata-rata (Y_n) sebesar 0,55. Kemudian, nilai koreksi rata-rata standar deviasi dihitung menggunakan persamaan:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_n)^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{2.404.664}{60-1}}$$

$$S_n = 201,88$$

Keterangan:

Y_n = koreksi rata-rata,

S_n = *reduced standard deviation*,

Y_i = nilai periode ulang hujandata ke-i,

n = jumlah data.

Selanjutnya, nilai periode ulang hujan untuk setiap periode ulang dihitung menggunakan persamaan:

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad (5)$$

Keterangan:

Y_T = Periode ulang hujan

T = Tahun periode ulang hujan.

Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh nilai Periode ulang hujan untuk beberapa periode ulang sebagai berikut:

$$Y_{T2} = -\ln \left[-\ln \left(\frac{2-1}{2} \right) \right]$$

$$Y_{T2} = 0,37$$

$$Y_{T5} = -\ln \left[-\ln \left(\frac{5-1}{5} \right) \right]$$

$$Y_{T5} = 1,50$$

$$Y_{T10} = -\ln \left[-\ln \left(\frac{10-1}{10} \right) \right]$$

$$Y_{T10} = 2,25$$

$$Y_{T25} = -\ln \left[-\ln \left(\frac{25-1}{25} \right) \right]$$

$$Y_{T25} = 3,20$$

Secara umum, curah hujan rencana dapat dihitung menggunakan persamaan distribusi Gumbel berikut:

$$X_T = \bar{X} + K \times S \quad (6)$$

dengan nilai faktor frekuensi:

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (7)$$

Keterangan:

X_T = curah hujan rencana pada periode ulang tertentu,

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan,

K = faktor frekuensi,

S = standar deviasi,

Y_T = Periode ulang hujan,

Y_n = koreksi rata-rata,

S_n = *reduced standard deviation*.

Hasil analisis statistik curah hujan berdasarkan persamaan metode Gumbel kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan intensitas hujan yang berpengaruh terhadap debit limpasan di area *Pit* ELZ. Ringkasan hasil perhitungan parameter curah hujan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Parameter Curah Hujan Metode Gumbel

Parameter	Nilai
Rata-rata curah hujan $\bar{X}$	200,7 mm
Standar deviasi S	88,83
Koreksi rata-rata Y_n	0,55
Koreksi rata-rata standar deviasi S_n	201,88
Intensitas hujan I	16,05 mm/jam

Setelah diperoleh parameter curah hujan rancangan, dilakukan analisis *catchment* area untuk mengetahui luas daerah tangkapan air hujan yang berkontribusi terhadap aliran limpasan menuju area *Pit* ELZ. *Catchment* area merupakan wilayah yang secara topografis memiliki elevasi yang tinggi mengalirkan air permukaan menuju ke elevasi rendah di satu titik atau saluran pembuangan (Suripin, 2004). Pada penelitian ini, luas *catchment* area yang digunakan dalam perhitungan debit limpasan adalah sebesar 0,59 km².

Semakin luas daerah tangkapan hujan, semakin besar pula potensi air limpasan yang masuk ke area penambangan. Debit limpasan air permukaan dihitung menggunakan metode rasional dengan persamaan sebagai berikut (Gautama, 1999).

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (8)$$

Keterangan:

Q = debit limpasan maksimum ($m^3/detik$),

C = koefisien limpasan,

I = intensitas hujan (mm/jam),

A = luas *catchment area* (km^2),

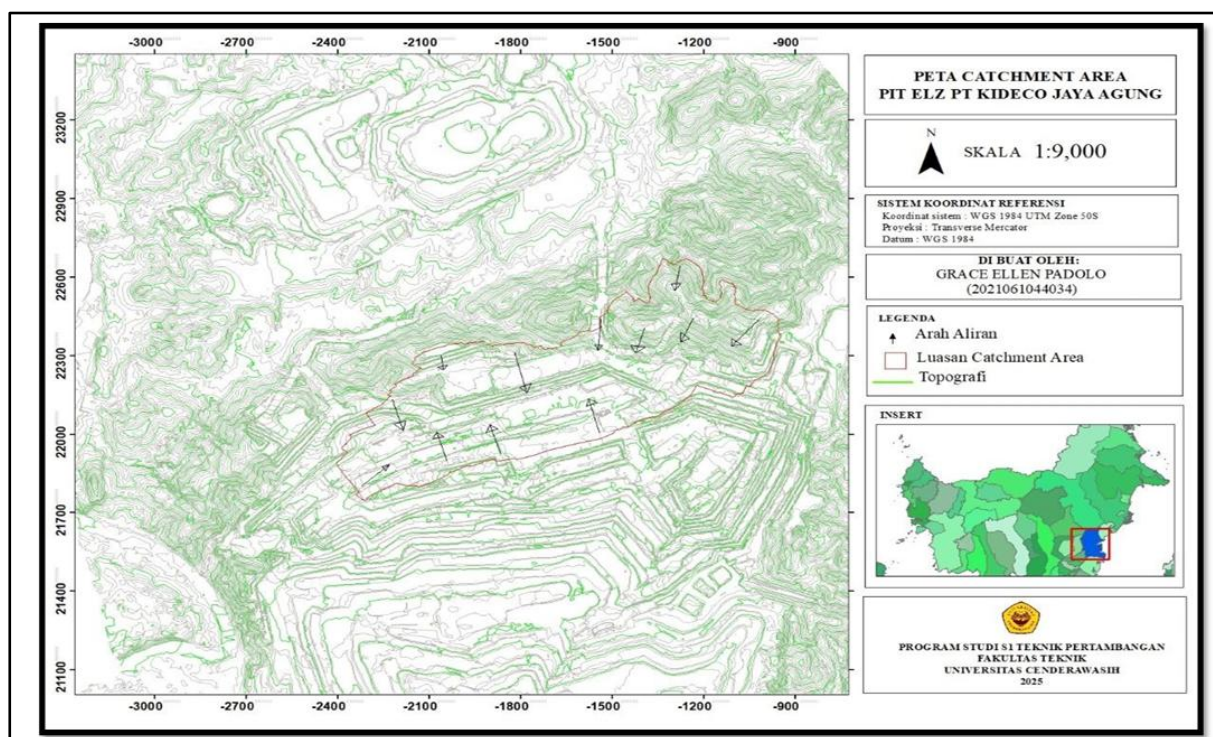
0,278 = faktor konversi satuan.

Berdasarkan data penelitian, nilai koefisien limpasan yang digunakan adalah 0,7, intensitas hujan sebesar 16,05 mm/jam, dan luas *catchment area* sebesar 0,59 km². Maka debit limpasan dihitung sebagai berikut:

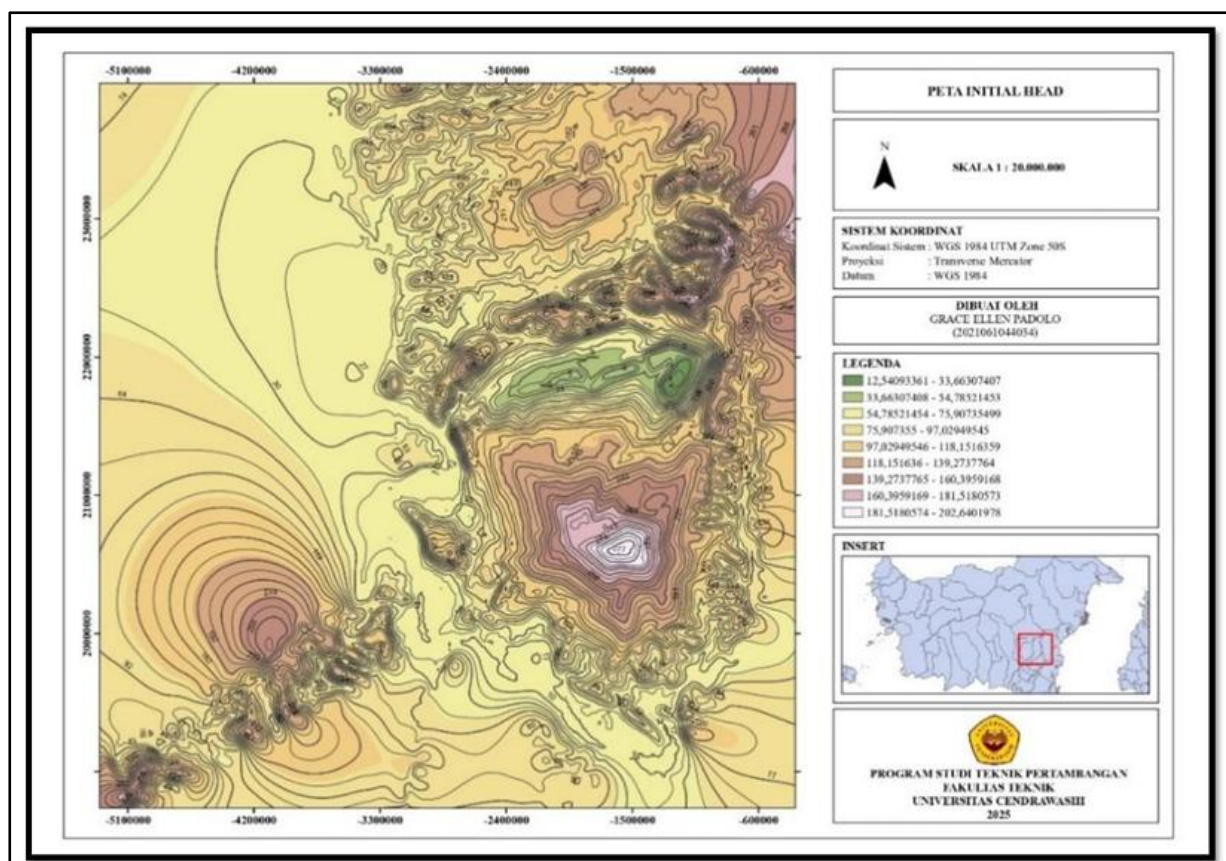
$$Q = 0,278 \times 0,7 \times 16,05 \times 0,59$$

$$Q = 1,84 m^3/detik$$

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa debit limpasan maksimum pada area *Pit* ELZ adalah sebesar 1,84 m³/detik.



Gambar 4. Peta catchment area Pit ELZ

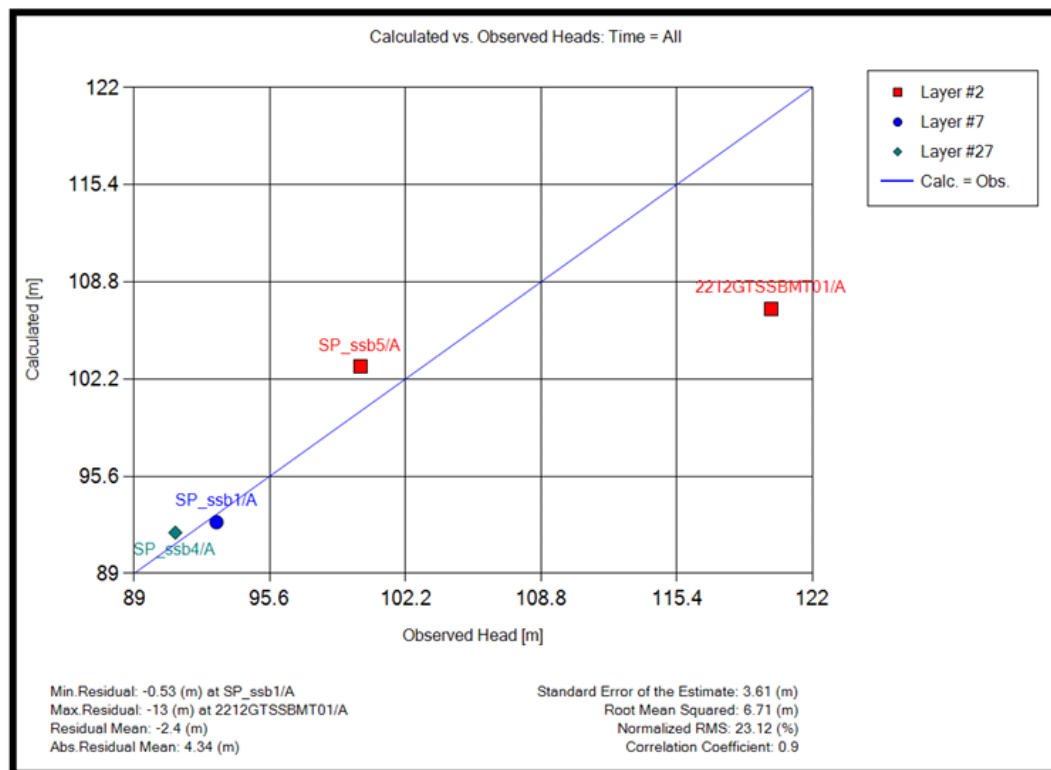


Gambar 5. Kondisi awal muka air tanah *initial head* pada model Pit ELZ

Nilai debit air limpasan maksimum menunjukkan bahwa area *pit* memiliki potensi masukan air permukaan yang cukup besar, sehingga sistem *dewatering* harus dirancang untuk mampu mengendalikan air permukaan dan air tanah secara bersamaan. Besarnya debit limpasan tersebut

menjadi salah satu pertimbangan dalam menentukan efektivitas skenario *dewatering* (Suparno,2021). Sistem *dewatering* yang dirancang harus mampu menurunkan muka air tanah sekaligus membantu mengurangi potensi genangan akibat air limpasan. Oleh karena itu, hasil analisis hidrologi ini menjadi dasar pendukung dalam membandingkan metode *drain hole* dan *pumping well* pada simulasi *Modflow*.

Gambar 5 menunjukkan kondisi awal muka air tanah pada area model sebelum dilakukan simulasi *dewatering*. Sebelum dilakukan simulasi *dewatering*, model terlebih dahulu dikalibrasi untuk mengetahui kesesuaian antara hasil perhitungan model dan data pengamatan lapangan (Anderson, 2015).

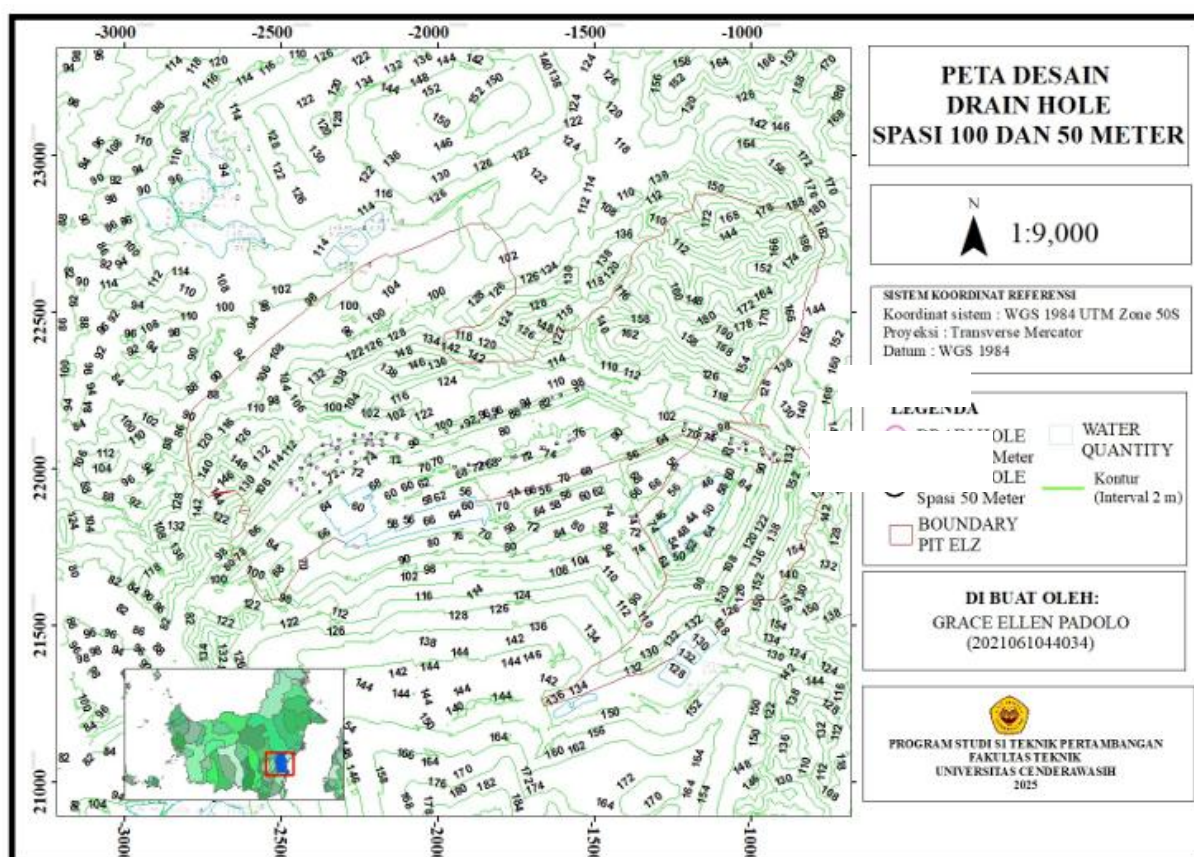


Gambar 6. Grafik kalibrasi model steady state *Pit ELZ*

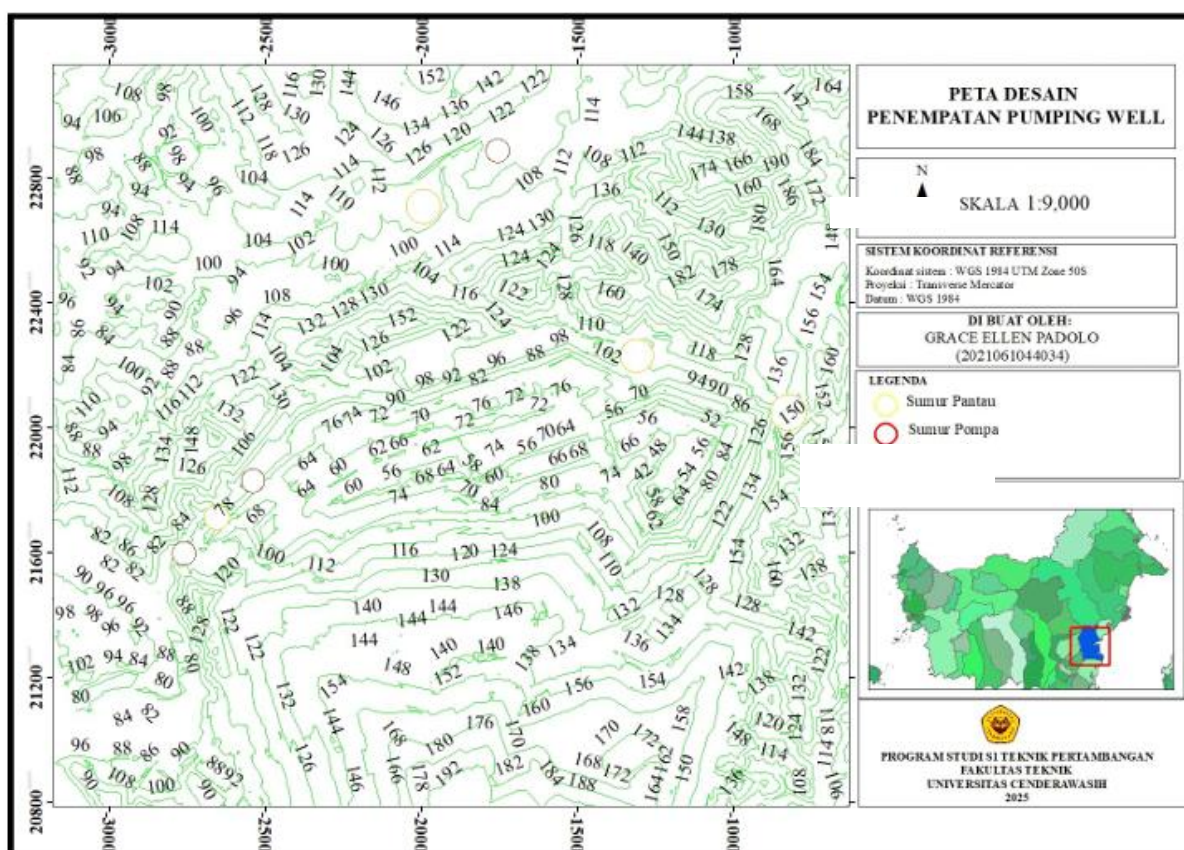
Kalibrasi dilakukan pada kondisi *steady state* dengan membandingkan nilai *observed head* dan *calculated head* pada beberapa titik pantau. Berdasarkan hasil kalibrasi, diperoleh nilai *correlation coefficient* sebesar 0,9. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara hasil model dan data pengamatan lapangan tergolong kuat. Namun, nilai *residual mean* sebesar -2,4 m, standard error sebesar 3,61 m, RMS sebesar 6,71 m, dan *normalized RMS* sebesar 23,12% menunjukkan bahwa masih terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan kondisi aktual pada beberapa titik. Meskipun demikian, model masih dapat digunakan untuk analisis simulasi *dewatering* karena secara umum telah mampu menggambarkan pola muka air tanah di area penelitian.

Setelah model dikalibrasi, dilakukan simulasi *dewatering* dengan tiga skenario. Skenario pertama adalah *drain hole* dengan jarak antar lubang 100 m, skenario kedua adalah *drain hole* dengan jarak antar lubang 50 m, dan skenario ketiga adalah *pumping well*. Parameter yang diamati dalam simulasi ini meliputi debit rata-rata per unit, debit keluaran total, jumlah unit yang diperlukan, serta penurunan muka air tanah yang dihasilkan.

Gambar 7 menunjukkan desain penempatan *drain hole* pada dinding *Pit ELZ*. Pada skenario *drain hole*, variasi jarak antar lubang digunakan untuk melihat pengaruh kerapatan *drain hole* terhadap debit keluaran dan penurunan muka air tanah. *Drain hole* dengan spasi 100 m menggunakan jumlah lubang yang lebih sedikit, sedangkan *drain hole* dengan spasi 50 m menggunakan jumlah lubang yang lebih banyak.



Gambar 7. Desain Penempatan *Drain Hole* Spasi 100 m dan 50 m



Gambar 8. Desain Penempatan *Pumping Well* Pada *Pit ELZ*

Gambar 8 menunjukkan desain penempatan *pumping well* pada area *Pit ELZ*. Desain penempatan *pumping well* yang disimulasikan berbeda dengan *drain hole* yang bekerja secara pasif mengikuti aliran gravitasi. *Pumping well* bekerja secara aktif dengan menggunakan pompa untuk mengeluarkan air tanah dari sistem akuifer (Sudarto,2015). Oleh karena itu, *pumping well* memiliki kemampuan pengendalian debit yang lebih besar dan lebih mudah dikontrol.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Simulasi *Drain Hole* dan *Pumping Well*

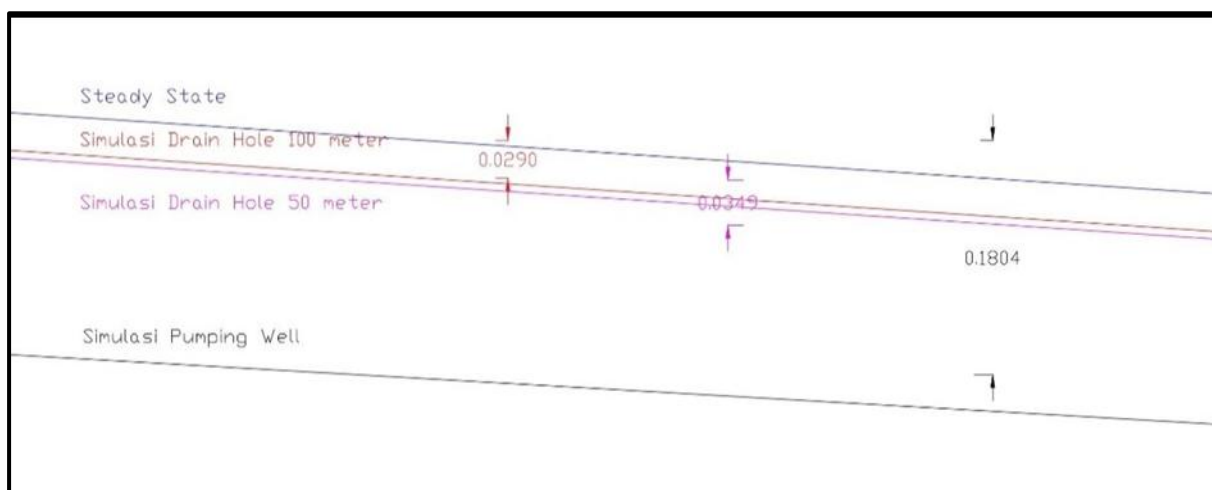
Metode	Jarak Antar Unit (m)	Debit Rata-rata per Unit (l/detik)	Debit Keluaran Total (l/detik)	Jumlah Unit
<i>Drain hole</i>	100	0,067	2,01	30
<i>Drain hole</i>	50	0,067	4,28	64
<i>Pumping well</i>	-	1,7	5,1	3

Tabel 2 menunjukkan perbandingan hasil simulasi dari masing-masing skenario *dewatering*. Berdasarkan debit limpasan, *drain hole* dengan jarak antar lubang 100 m menghasilkan debit rata-rata sebesar 0,067 l/detik per unit, debit keluaran total sebesar 2,01 l/detik, dan membutuhkan 30 unit *drain hole*. Pada skenario *drain hole* dengan jarak antar lubang 50 m, debit rata-rata per unit tetap sebesar 0,067 l/detik, tetapi debit keluaran total meningkat menjadi 4,28 l/detik karena jumlah *drain hole* bertambah menjadi 64 unit. Sementara itu, metode *pumping well* menghasilkan debit rata-rata sebesar 1,7 l/detik per sumur, dengan debit keluaran total sebesar 5,1 l/detik dan hanya membutuhkan 3 unit sumur pompa. Hasil ini menunjukkan bahwa *pumping well* memiliki kapasitas pengeluaran air yang lebih besar dibandingkan *drain hole*, meskipun jumlah unit yang digunakan jauh lebih sedikit. Selain debit keluaran, efektivitas metode *dewatering* juga dianalisis berdasarkan penurunan muka air tanah pada penampang A-A' dan B-B'. Perbandingan penurunan muka air tanah tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

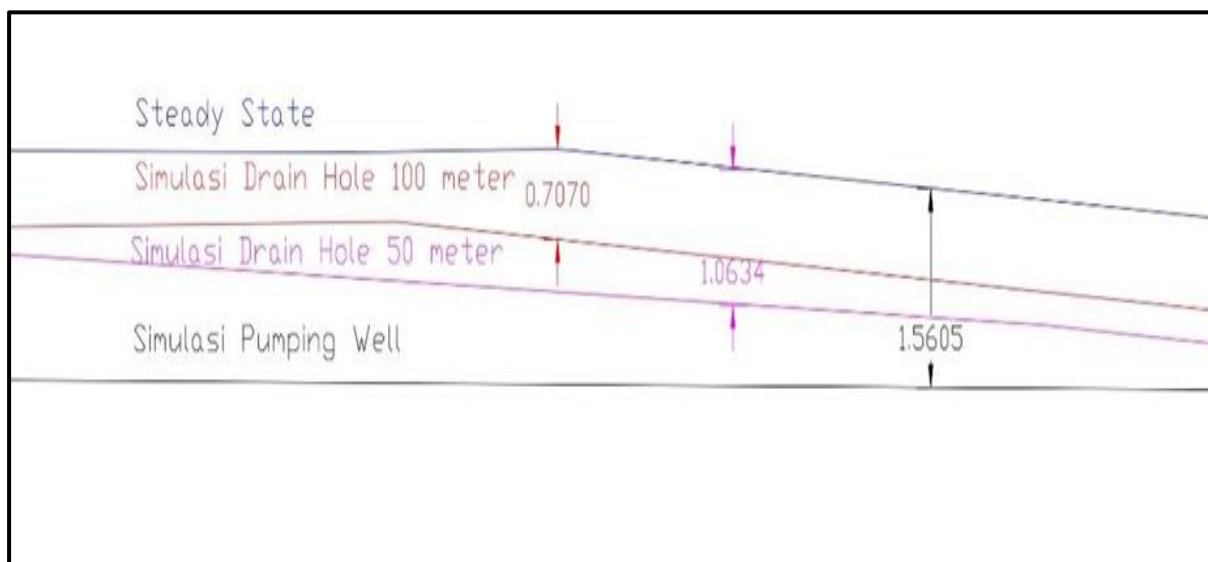
Tabel 3. Perbandingan Penurunan Muka Air Tanah pada Setiap Skenario

Penampang	<i>Drain hole</i> 100 (m)	<i>Drain hole</i> 50 (m)	<i>Pumping well</i> (m)
A-A'	0,0290	0,0349	0,1804
B-B'	0,7070	1,0634	1,5605

Berdasarkan Tabel 3, penurunan muka air tanah pada penampang A-A' menunjukkan bahwa skenario *Pumping well* menghasilkan penurunan terbesar, yaitu 0,1804 m. Sementara itu, *drain hole* 100 m menghasilkan penurunan sebesar 0,0290 m dan *drain hole* 50 m menghasilkan penurunan sebesar 0,0349 m.

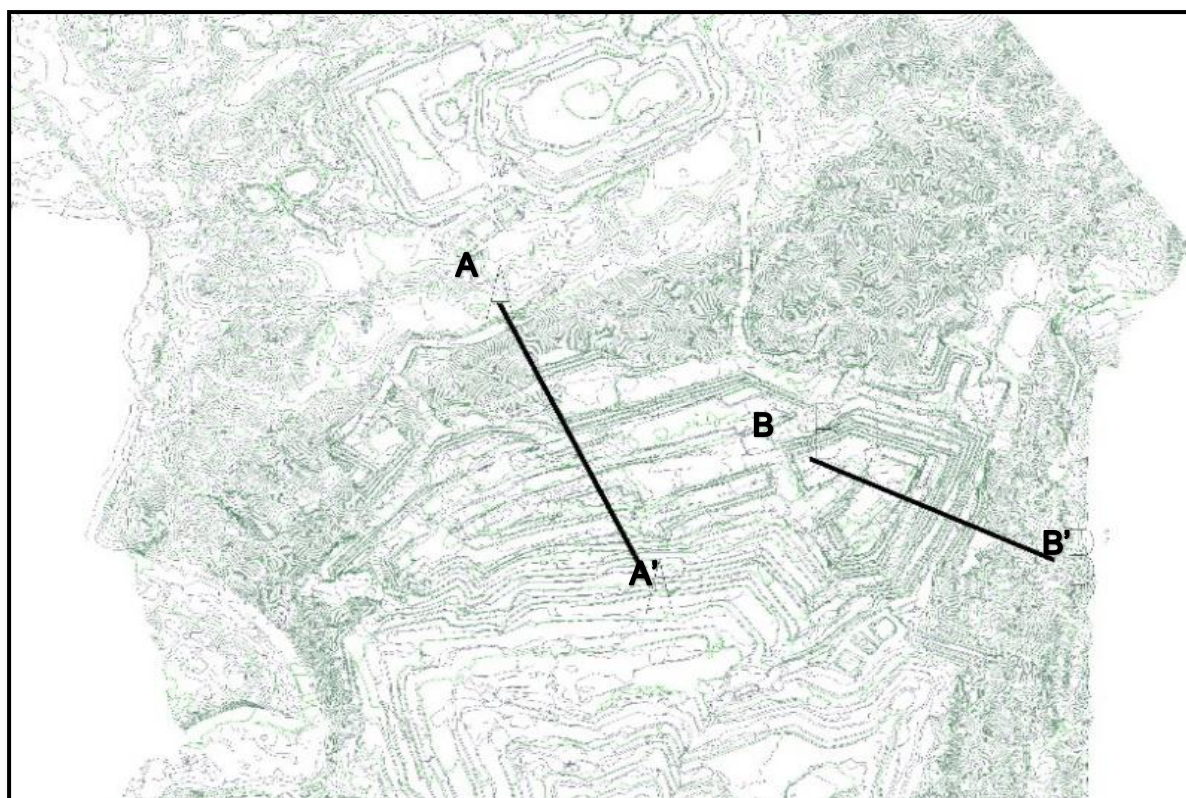


Gambar 9. Cross section A-A' hasil simulasi *dewatering*



Gambar 10. Cross section B-B' hasil simulasi dewatering

Pada penampang B-B', perbedaan penurunan muka air tanah terlihat lebih jelas. *Drain hole* dengan spasi 100 m menghasilkan penurunan sebesar 0,7070 m, sedangkan *drain hole* dengan spasi 50 m menghasilkan penurunan sebesar 1,0634 m. Adapun *pumping well* menghasilkan penurunan paling besar, yaitu 1,5605 m. Hasil ini menunjukkan bahwa *pumping well* memiliki pengaruh yang lebih signifikan dalam menurunkan muka air tanah dibandingkan metode *drain hole*.



Gambar 11. Arah Penampang

b. Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi jarak antar *drain hole* berpengaruh terhadap peningkatan debit keluaran total dan penurunan muka air tanah. Pada *drain hole* dengan jarak 100 m, debit keluaran total yang diperoleh lebih kecil dibandingkan *drain hole* dengan jarak 50 m. Hal ini terjadi

karena jumlah *drain hole* pada spasi 50 m lebih banyak, sehingga titik keluaran air tanah juga bertambah. Semakin rapat jarak antar *drain hole*, semakin besar kemampuan sistem dalam mengalirkan air tanah keluar dari area *pit* (Fadhilah, 2020). Dengan jarak yang lebih rapat, area pengaruh antar *drain hole* menjadi lebih saling mendukung dalam menurunkan muka air tanah. Hal ini terlihat dari peningkatan debit keluaran total dari 2,01 l/detik pada *drain hole* 100 m menjadi 4,28 l/detik pada *drain hole* 50 m. Namun demikian, meskipun *drain hole* 50 m menunjukkan peningkatan efektivitas dibandingkan *drain hole* 100 m, metode *pumping well* tetap memberikan hasil paling optimal. *Pumping well* menghasilkan debit keluaran total sebesar 5,1 l/detik hanya dengan 3 unit sumur. Jumlah ini lebih besar dibandingkan *drain hole* 50 m yang membutuhkan 64 unit untuk menghasilkan debit keluaran total sebesar 4,28 l/detik. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa *pumping well* memiliki kapasitas ekstraksi air tanah yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena *pumping well* bekerja secara aktif menggunakan pompa, sehingga air tanah dapat dikeluarkan dengan debit yang lebih terkontrol. Sebaliknya, *drain hole* bekerja secara pasif dan sangat bergantung pada gradien hidrolik, permeabilitas batuan, serta posisi *drain hole* terhadap zona aliran air tanah.

Dari sisi penurunan muka air tanah, *Pumping well* juga memberikan hasil paling signifikan. Pada penampang B-B', *Pumping well* mampu menurunkan muka air tanah hingga 1,5605 m, lebih besar dibandingkan *drain hole* 50 m sebesar 1,0634 m dan *drain hole* 100 m sebesar 0,7070 m. Penurunan muka air tanah ini menunjukkan bahwa *Pumping well* lebih efektif dalam membentuk *drawdown* atau zona penurunan muka air tanah di sekitar area sumur pompa. Penurunan muka air tanah sangat penting dalam kegiatan penambangan terbuka karena dapat mengurangi tekanan air pori pada lereng tambang. Berkurangnya tekanan air tanah dapat membantu meningkatkan kestabilan lereng, mengurangi potensi rembesan pada dinding *pit*, serta menurunkan risiko genangan pada area kerja penambangan. Dengan demikian, metode *dewatering* yang efektif akan mendukung kelancaran dan keamanan operasional penambangan.

Dari sisi operasional, *pumping well* juga memiliki keunggulan karena jumlah unit yang dibutuhkan lebih sedikit. Dengan hanya 3 unit sumur pompa, proses pemantauan, pengaturan debit, dan pemeliharaan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Berbeda dengan *drain hole* yang membutuhkan 30 hingga 64 unit, sehingga proses pemasangan dan perawatannya menjadi lebih kompleks. Meskipun demikian, *drain hole* tetap dapat digunakan sebagai metode pendukung. *Drain hole* dapat diterapkan pada area tertentu yang mengalami rembesan lokal, terutama pada dinding *pit* yang memiliki potensi aliran air tanah. Dengan demikian, *drain hole* dapat berfungsi sebagai sistem tambahan untuk membantu mengurangi rembesan, sedangkan *Pumping well* dapat digunakan sebagai sistem utama untuk menurunkan muka air tanah secara lebih efektif.

Berdasarkan hasil simulasi debit keluaran, jumlah unit, dan penurunan muka air tanah, metode *Pumping well* dinilai sebagai skenario *dewatering* yang paling tepat untuk diterapkan di *Pit* ELZ. Metode ini memberikan hasil paling efektif karena mampu menghasilkan debit keluaran terbesar, membutuhkan jumlah unit paling sedikit, serta memberikan penurunan muka air tanah paling signifikan. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *drain hole* dan *Pumping well* sama-sama mampu menurunkan muka air tanah di *Pit* ELZ, tetapi tingkat efektivitasnya berbeda. *Drain hole* menunjukkan peningkatan kinerja ketika jarak antar lubang diperkecil dari 100 m menjadi 50 m. Hal ini terlihat dari meningkatnya debit keluaran total dan bertambahnya penurunan muka air tanah. Namun, metode *Pumping well* menunjukkan performa paling baik dibandingkan kedua skenario *drain hole*. *Pumping well* menghasilkan debit keluaran total tertinggi sebesar 5,1 l/detik, hanya membutuhkan 3 unit sumur pompa, dan memberikan penurunan muka air tanah terbesar hingga 1,5605 m pada penampang B-B'.

Dengan mempertimbangkan kondisi geologi, hidrogeologi, hidrologi, debit keluaran, jumlah unit, serta hasil penurunan muka air tanah, metode *Pumping well* direkomendasikan sebagai metode utama *dewatering* di *Pit* ELZ PT Kideco Jaya Agung. Sementara itu, *drain hole* dapat dipertimbangkan sebagai metode pendukung untuk membantu mengurangi rembesan lokal pada dinding *pit*. Oleh karena itu, penerapan *Pumping well* sebagai sistem *dewatering* utama dinilai lebih efisien dan efektif dalam mengendalikan air tanah pada area tambang. Namun, dalam penerapan di lapangan, metode ini tetap perlu mempertimbangkan aspek biaya instalasi, kebutuhan energi, kapasitas pompa, serta kegiatan pemeliharaan agar sistem *dewatering* dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi *dewatering* menggunakan software MODFLOW di *Pit* ELZ PT Kideco Jaya Agung, dapat disimpulkan bahwa metode *drain hole* dan *pumping well* sama-sama mampu menurunkan muka air tanah, namun memiliki tingkat efektivitas yang berbeda. Metode *drain hole*

menunjukkan peningkatan kinerja ketika jarak antar lubang diperkecil dari 100 m menjadi 50 m, yang ditandai dengan meningkatnya debit keluaran total dari 2,01 l/detik menjadi 4,28 l/detik serta bertambahnya penurunan muka air tanah pada penampang simulasi. Meskipun demikian, metode *Pumping well* memberikan hasil paling optimal karena mampu menghasilkan debit keluaran total terbesar, yaitu 5,1 l/detik, hanya dengan 3 unit sumur pompa, serta menghasilkan penurunan muka air tanah paling signifikan hingga 1,5605 m. Hasil ini menunjukkan bahwa *pumping well* lebih efektif dan efisien sebagai metode utama *dewatering* pada kondisi hidrogeologi *Pit* ELZ, sedangkan *drain hole* lebih sesuai digunakan sebagai metode pendukung untuk mengurangi rembesan lokal pada dinding *pit*. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada perbandingan berbasis simulasi numerik terhadap dua konfigurasi *dewatering* yang berbeda, sehingga dapat memberikan dasar teknis dalam penentuan skenario pengendalian air tanah pada tambang terbuka. Penelitian lanjutan disarankan untuk memasukkan analisis biaya operasional, kebutuhan energi pompa, umur layanan sistem, serta kombinasi *drain hole* dan *pumping well* agar rancangan *dewatering* yang dihasilkan lebih optimal secara teknis dan ekonomis.

Referensi

- Anatoly, N., & Rofikoh, S. (2022). *Dewatering* requirements assessment for the Central Kalimantan NCP open *pit* gold mine. *Riset Geologi dan Pertambangan Indonesian Journal of Geology and Mining*, 32(2), 119-133.
- Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J. (2015). *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Academic press
- Cahyadi, T. A. (2020). Overview prediksi aliran airtanah pada penambangan open *pit*. *ReTII*, 215-220.
- Cook, P. G., Miller, A. D., Wallis, I., & Dogramaci, S. (2022). Facilitating open *pit* mine closure with managed aquifer recharge. *Groundwater*, 60(4), 477-487.
- Fadhilah, R., Widodo, L. E., & Iskandar, I. (2020). *Pengaruh jarak antar drain hole terhadap penurunan muka air tanah pada lereng pit terbuka batubara*. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4(2), 116–120. <https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.369>
- Gautama, R. S. (1999). Sistem penyaliran *pit*. *Institut Teknologi Bandung*.
- Haq, S. R., Vergiagara, V., Pambayu, A. K., & Suharyadi, H. (2023). Impact of Open *Pit* Coal Mine on Groundwater Recharge: Alternative Method for Environmental Assessment. *Mining Technology Journal*, 1(1), 24-32.
- Harbaugh, A. W. (2005). *MODFLOW-2005: The U.S. Geological Survey modular ground-water model—The ground-water flow process* (Techniques and Methods 6-A16). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm6A16>
- Hidayat, S., & Umar, I. (1994). *Peta Geologi Lembar Balikpapan, Kalimantan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Kartini, & Rizani, A. (2024). Studi pengukuran muka air tanah pada daerah *pit* terbuka batubara. *INTEKNA: Jurnal Informasi Teknik dan Niaga*, 24(2). <https://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/intekna/article/view/14593>
- Kasenow, M. (2001). *Applied ground-water hydrology and well hydraulics*. Water Resources Publication.
- PT Kideco Jaya Agung. (2024a). Laporan berkelanjutan 2024. Memperkuat pondasi ESG untuk membangun masa depan (Laporan berkelanjutan)
- Malik, T. P., & Wardana, N. K. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Untuk Optimasi Endapan Batubara Di Area Lowwall *Pit* Xyz PT. Kideco Jaya Agung Provinsi Kalimantan Timur: Analisis Kestabilan Lereng Untuk Optimasi Endapan Batubara Di Area Lowwall *Pit* Xyz PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Pase Provinsi Kalimantan Timur. *Mining Insight*, 2(2), 31-44.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for open pit slope design*. CSIRO publishing.
- Royster, D. L. (1980). Horizontal drains and horizontal drilling: an overview. *Transportation Research Record*, 783, 16-20.
- Sinaga, E. R., Sukmawatie, N., Iashania, Y., & Fidayanti, N. (2025). Analisis Sistem *Dewatering* Di PT.
- Published by Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik – Universitas Palangka Raya

- Mitra Barito Kecamatan Montallat Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah: Analisis Of *Dewatering* System At PT Mitra Barito Montallat District North Barito Regency Central Kalimantan Province. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 25(1), 33-38.
- Sudarto, L. (2015, July). Prediksi Penurunan Muka Air Tanah Akibat Pemompaan di Daerah Jogonalan Klaten Jawa Tengah. In *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)* (Vol. 1, No. 5).
- Suparno, F. A. D., & Febianti, Z. (2021). Kajian Sistem Penyaliran Pada *Pit* Terbuka Granit *Pit* Barat, PT. XYZ, Kabupaten Karimun, Kepulauan Riau. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, 2(2), 2021.
- Suripin, S., & Eng, M. (2004). Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan. *Yogyakarta: Andi*.
- Wahyuddin, Z.A., Kadri, K.A., & Widodo, S. (2023). *Lithology Interpretation Based on Drilling and Geophysical Well Logging Data at Pit G Roto North PT Kideco Jaya Agung*.
- Widodo, L. E., Cahyadi, T. A., Syihab, Z., Notosiswoyo, S., Iskandar, I., & Rustamaji, H. C. (2018). Development of *drain hole* design optimisation: a conceptual model for open *pit* mine slope drainage system with fractured media using a multi-stage genetic algorithm. *Environmental earth sciences*, 77(20), 721.
- Wopari, F. D., Ginting, F. A., Hajjah, F. N., & Tandy, L. M. (2025). *Study Of Calculation Of Runaway Discharge Into Efo Settling Pond At PT Gag Nikel, Southwest Papua Province: Kajian Perhitungan Debit Limpasan Yang Masuk Pada Settling Pond Efo Di Pt Gag Nikel Provinsi Papua Barat Daya. Intan Jurnal Penelitian Pit*, 8(1).