



## ANALISIS PENGARUH Q-VALUE, KEKERASAN BATUAN, DAN RQD TERHADAP LAJU PENETRASI PENGEBORAN DI TAMBANG BAWAH TANAH PT FREEPORT INDONESIA

### *ANALYSIS OF THE EFFECT OF Q-VALUE, ROCK HARDNESS, AND RQD ON DRILLING PENETRATION RATE IN PT FREEPORT INDONESIA'S UNDERGROUND MINE*

Rayhan Naufal<sup>1</sup>, Brian Akmal Rahagi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pertambangan, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung<sup>1</sup>

Korespondensi: rayhannouval2017@gmail.com

#### INFO ARTIKEL

#### ABSTRAK

##### Kata kunci:

Laju pengeboran, *Q – Value*, RQD, klasifikasi kekerasan batuan

Pengeboran merupakan kegiatan pembuatan lubang ke permukaan batuan yang keras dan dilakukan untuk membongkar batuan sebelum operasi peledakan batuan dilaksanakan. Dalam kegiatan pengeboran terdapat waktu yang dibutuhkan untuk menembus material pada kedalaman atau biasa disebut dengan laju pengeboran. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh kondisi massa batuan yang berbeda – beda terhadap laju penetrasi pengeboran. Analisis pada penelitian menggunakan regresi sederhana hasil dari penelitian menunjukkan *Q – Value* memiliki regresi yang menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,05x + 3,0197$  dengan nilai  $R^2 = 0,1367$  yang menunjukkan bahwa *Q – Value* memiliki pengaruh sebesar 13,6% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,05 dalam kenaikan satu *Q – Value*. RQD memiliki regresi yang

menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,0048x + 3,0762$  dengan nilai  $R^2 = 0,0482$  yang menunjukkan bahwa RQD memiliki pengaruh sebesar 4,8% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,0048 dalam kenaikan satu RQD, klasifikasi kekerasan batuan memiliki regresi yang menaik dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = 0,4148x + 2,1385$  dengan nilai  $R^2 = 0,0591$  yang menunjukkan bahwa klasifikasi kekerasan memiliki pengaruh sebesar 5,9% terhadap naiknya laju pengeboran sebesar 0,4148 dalam kenaikan satu klasifikasi kekerasan.

---

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

---

### **Keywords:**

*drilling rate, Q – Value, RQD, rock hardness classification*

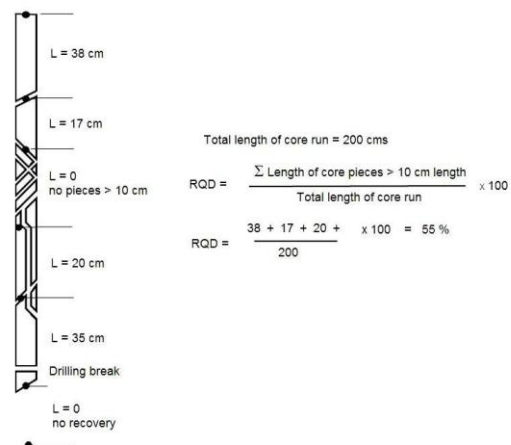
*Drilling is the activity of making a hole into a hard rock surface and is carried out to dismantle the rock before rock blasting operations are carried out. In drilling activities, there is the time required to penetrate the material to a depth or what is usually called the drilling rate. This research aims to determine the effect of different rock mass conditions on the drilling penetration rate. Analysis of the research using simple regression. The results of the research show that Q - Value has a decreasing regression with the equation obtained, namely  $y = -0.05x + 3.0197$  with a value of  $R^2 = 0.1367$  which shows that Q - Value has an influence of 13.6% on the decrease in drilling rate by 0.05 in an increase of one Q - Value. RQD has a decreasing regression with the equation obtained, namely  $y = -0.0048x + 3.0762$  with a value of  $R^2 = 0.0482$  which shows that RQD has an influence of 4.8% on the decrease in drilling rate of 0.0048 in an*

increase of one RQD, rock hardness classification has an increasing regression with the equation obtained, namely  $y = 0.4148x + 2.1385$  with a value  $R^2 = 0.0591$  which shows that the hardness classification has an influence of 5.9% on the increase in drilling rate of 0.4148 in an increase of one hardness classification.

## I. PENDAHULUAN

Pengeboran merupakan kegiatan pembuatan lubang ke permukaan batuan yang keras dan dilakukan untuk membongkar batuan sebelum operasi peledakan batuan dilaksanakan (Bakri, 2017). Dalam Kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018 diatur terkait kegiatan pengeboran dan peledakan dilakukan untuk memberai batuan yang memiliki nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) lebih dari 40 MPa dengan *Grindability Strength Index* (GSI) lebih dari 70 atau kecepatan seismik massa batuan lebih dari 1650 m/s . Dalam kegiatan pengeboran terdapat waktu yang dibutuhkan untuk menembus material pada kedalaman atau biasa disebut dengan laju pengeboran (Siburian et al., 2015). Laju pengeboran dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya kondisi alat bor, klasifikasi batuan seperti *Q – value* serta sifat fisik atau mekanik batuan seperti kekerasan batuan ataupun RQD dari material. Klasifikasi dan sifat fisik batuan pada setiap area penyediaan lubang ledak

berbeda - beda sehingga akan



Gambar 1 Definisi RQD

mempengaruhi laju pengeboran dikarenakan hambatan mekanis terjadi pada pada bor terhadap material, material dengan klasifikasi dan sifat batuan yang baik akan menimbulkan hambatan yang lebih besar (Gilang Rizal, 2024) Kegunaan dari kegiatan pengeboran yaitu sebagai eksplorasi tubuh bijih, informasi stratigrafi, survei seismik, verifikasi geofisika dan geokimia, kontrol kadar bijih, perhitungan cadangan bijih, dan deskripsi tubuh bijih ashari (Ashari, n.d.).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh kondisi massa

batuan yang berbeda – beda terhadap laju penetrasi pengeboran. Sifat batuan batuan merupakan parameter dari kemampuan pengeboran yang tidak dapat dikontrol pada kegiatan pengeboran(Sihotang & Ashari, 2018). Adapun parameter yang mempengaruhi kemampuan pengeboran sekaligus menjadi parameter yang digunakan dalam prediksi kemampuan pengeboran dan menyelidiki kemampuan pengeboran yaitu *Uniaxial Compressive Strength (UCS), tensile strength, Young Modulus, hardness, density, Schmidt hardness, texture, cohesion, abrasiveness, P wave velocity, quartz content, porosity, fracture frequency,* dan *brittleness*(Bilim & Karakaya, 2021).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Heydari et al., 2024 melakukan prediksi *jumbo drill penetration rate* menggunakan (RDI) *rock mass drillability index* dan parameter pengeboran. Namun dalam penelitian ini peneliti hanya melakukan analisis pengaruh kondisi batuan terhadap laju pengeboran. Adanya penelitian yang menganalisis pengaruh kondisi massa batuan terhadap laju pengeboran diharapkan mampu membantu banyak pihak dalam melakukan rekayasa maupun prediksi terkait laju pengeboran.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengeboran merupakan kegiatan pembuatan lubang ke permukaan batuan

yang keras dan dilakukan untuk membongkar batuan sebelum operasi peledakan batuan dilaksanakan (Bakri, 2017). Menurut (Heydari et al., 2024) laju pengeboran dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya kondisi alat bor, klasifikasi batuan seperti *Q – value* serta sifat fisik atau mekanik batuan seperti kekerasan batuan ataupun RQD dari material.

*Rock quality designation* dikembangkan pada tahun 1964 oleh Deere. Metode ini didasarkan pada penghitungan persentase inti terambil yang mempunyai panjang 10 cm atau lebih. Dalam hal ini, inti terambil yang lunak atau tidak keras tidak perlu dihitung walaupun mempunyai panjang lebih dari 10cm seperti yang tertera pada **gambar 1**.

Berdasarkan nilai RQD massa batuan diklasifikasikan sebagai berikut :

RQD	Kualitas massa batuan
< 25%	Sangat jelek
25 – 50%	Jelek
50 – 75%	Sedang
75 – 90%	Baik
90 – 100%	Sangat baik

Gambar 2 Klasifikasi massa batuan terhadap RQD

Kekerasan batuan atau dalam hal ini *uniaxial compressive strength* untuk kekerasan batuan PTFI memiliki pengklasifikasian nilai kekerasan batuan nya yaitu <10 Mpa(R0 – R1), 10 – 25 Mpa(R2), 25 – 50 Mpa(R3), 50 – 100 Mpa(R4) >200 Mpa(R5)

$Q$  – Value adalah klasifikasi batuan yang memperhitungkan enam parameter perubahan kekar, kondisi air pada kekar dan factor tekanan. Penentuan kualitas massa batuan diperoleh dari persamaan berikut (NGI, 2022):

$$Q = \left[ \frac{RQD}{In} \right] \cdot \left[ \frac{Jr}{In} \right] \cdot \left[ \frac{Jw}{SRF} \right]$$

, adapun klasifikasi batuan dari nilai  $Q$  itu sendiri adalah 1-4 (*poor*), 4 – 10 (*fair*), 10 – 40 (*good*), 40 – 100 (*very good*)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Heydari et al., 2024) melakukan prediksi *jumbo drill penetration rate* menggunakan *rock mass drillability index* (RDI) dan parameter pengeboran. Namun dalam penelitian ini peneliti hanya melakukan analisis pengaruh kondisi batuan terhadap laju pengeboran. Adanya penelitian yang menganalisis pengaruh kondisi massa batuan terhadap laju pengeboran diharapkan mampu membantu banyak pihak dalam melakukan rekayasa maupun prediksi terkait laju pengeboran.

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yang dimulai dari studi literatur hingga pengolahan data dan analisis data. Penelitian dilakukan di PT Freeport Indonesia (PTFI) yaitu pada tambang bawah tanah Kucing Liar (KL) pada bulan November 2024. Penelitian ini

menggunakan data aktivitas pengeboran yang dilakukan di PTFI termasuk data jumlah lubang ledak, waktu pengeboran, klasifikasi massa batuan serta data lainnya. Secara lebih rinci, metodologi penelitian ini sebagai berikut.

1. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh bahan-bahan pustaka yang berupa teori-teori penunjang kegiatan penelitian serta penelitian terdahulu yang terkait.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari *measure while drilling* (MWD) *software i-sure* by Sandvik.
3. Tahapan pengolahan data dilakukan dengan beberapa langkah di antaranya
  - Perhitungan *cycle time* pada kegiatan pengeboran menggunakan persamaan dari (Saputra et al., 2020).

$$CT = T + Jd + Bt + Ju \quad (1)$$

Keterangan:

$CT$  : waktu edar alat pengeboran (menit)

$T$  : waktu pindah lubang (menit)

$Jd$  : waktu menurunkan *jack* (menit)

$Bt$  : waktu pengeboran (menit)

$Ju$  : waktu menaikkan *jack* (menit)

- Perhitungan produktivitas pengeboran merupakan jumlah kedalaman lubang ledak yang

dihasilkan dari siklus kerja alat bor dalam satuan jam (Gunawan, 2013).

$$Q = \frac{Ht}{Ct} \quad (2)$$

Keterangan:

$Q$ : produktivita pengeboran (meter/menit)

$Ht$ : kedalaman lubang bor (meter)

$Ct$ : *cycle time* pengeboran (menit)

- Laju penetrasi pengeboran merupakan waktu yang dibutuhkan oleh mata bor dalam menembus material saat melakukan pengeboran pada satu lubang terhadap kedalaman pengeboran. Laju penetrasi pada alat bor dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut (Saputra et al., 2020).

$$Gdr = \frac{Ht}{Bt} \quad (3)$$

Keterangan:

$Gdr$  : laju penetrasi pengeboran (meter/menit)

$Ht$  : kedalaman lubang bor (meter)

$Bt$  : waktu pengeboran (menit)

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Salah satu kegiatan pengeboran yang dilakukan di tambang Kucing Liar milik PT Freeport Indonesia bertujuan untuk menyediakan lubang ledak, yang selanjutnya

akan dilakukan proses *charging* atau pengisian bahan peledak dengan bahan peledak *emulsion* yang kemudian dilanjutkan dengan proses peledakan. Peledakan pada tambang Kucing Liar di fungsikan sebagai metode pembukaan terowongan baru. Pola *burn cut* adalah pola yang digunakan untuk pembukaan terowongan di PTFI. Alat bor yang digunakan adalah *jumbo drill* produksi Sandvik dengan kode dd422i platinum. Pengeboran dilakukan dengan ukuran bit 102mm untuk lubang kosong dan 51mm untuk lubang lainnya dengan kedalaman rata rata 4 – 4,5 m.

Waktu edar alat pengeboran atau *cycle time* merupakan waktu yang diperlukan alat pengeboran dalam melakukan satu siklus beroperasi dalam membuat lubang bor. Waktu edar *drilling machine* terdiri dari *boom movement* atau menurunkan boom dan menaikkan boom, *drilling*, dan *idle*.. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama di lapangan, waktu edar alat yang diperlukan alat bor berbeda-beda tergantung pada kedalaman lubang bor. Semakin dalam lubang yang dibor maka waktu edarnya akan semakin tinggi. Waktu rata-rata *cycle time* hasil pengamatan yang diambil di lokasi pengeboran yaitu sebagai berikut:

**Tabel 1** Pengamatan waktu edar *drilling machine*

tanggal	lokasi	Tabel Pengamatan Waktu Edar Drilling Machine						Kedalaman boom 1 (m)	Kedalaman boom 2 (m)
		drill boom 1	drill boom 2	boom 1 movement	boom 2 movement	idle boom 1	idle boom 2		
01/11/2024	Lower Conveyor Acc	126	128	26	28	37	34	4,1	4,2
01/11/2024	711 service decline	94	93	27	25	33	24	3,7	3,6
01/11/2024	exh facilities acc	131	120	20	22	14	9	4,6	4,7
02/11/2024	uff intake 1 ramp	117	127	17	19	8	19	3,9	3,9
03/11/2024	exhaust 1-2 xc 2	128	124	26	20	70	30	4,2	4,5
12/11/2024	710 service decline	153	190	39	38	56	87	4,6	4,7
12/11/2024	cr 701 dump 3	94	115	54	25	75	32	3,7	4,3
16/11/2024	uff intake 1 ramp	138	145	24	27	41	42	3,9	3,8
16/11/2024	711 service decline xc5	176	141	25	24	42	36	4,3	4,2
21/11/2024	exh face rfc	114	109	43	37	77	46	3,7	3,7
22/11/2024	uff intake 1 ramp	129	117	20	20	31	12	4,6	4,5
22/11/2024	lff return	160	184	22	19	18	25	4,5	4,6
25/11/2024	Lower Conveyor Acc	165	151	28	32	27	24	4,4	4,1
26/11/2024	Intake 1	141	149	32	26	3	0	3,9	4,0

Pada pengeboran yang dilakukan waktu yang tertinggi di angka 190 detik dengan kedalaman pengeboran 4,7 m dan waktu pengeboran tercepat pada waktu 93 detik dengan kedalaman 3,6m. Selain kedalaman hal yang mempegaruhi waktu pengeboran adalah klasifikasi batuan dan sifat batuan dari hasil pengamatan klasifikasi batuan dan sifat batuan pada area pengamatan sebagai berikut:

**Tabel 2** Pengamatan klasifikasi dan sifat batuan

Tanggal	Lokasi	Tabel pengamatan klasifikasi dan sifat batuan		
		Q - value	Hardness	RQD
01/11/2024	Lower Conveyor Acc	5	r4	80
01/11/2024	711 service decline	2,75	r3	60
01/11/2024	exh facilities acc	3,3	r3	35
02/11/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r4	78
03/11/2024	exhaust 1-2 xc 2	2,1	r4	55
12/11/2024	710 service decline	7,7	r3	82
12/11/2024	cr 701 dump 3	1,1	r3	28
16/11/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r3	72
16/11/2024	711 service decline xc5	3,3	r2	40
21/11/2024	exh face rfc	7,7	r4	83
22/11/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r4	76
22/11/2024	lff return	5,8	r3	77
25/11/2024	Lower Conveyor Acc	13,3	r4	88
26/11/2024	Intake 1	2	r2	55

Pada klasifikasi batuan digunakan  $Q$  – value serta untuk sifat batuan didapatkan *hardness* dan RQD dari batuan. Laju penetrasi pengeboran Laju penetrasi pengeboran atau laju pengeboran didapat dari hasil kemampuan *drilling machine* menembus kedalaman material pada waktu pengeboran. Dari hasil pengamatan maka nilai laju pengeboran, laju pengeboran hasil pengamatan dapat di lihat pada tabel berikut:

**Tabel 3** Laju Penetrasi Pengeboran

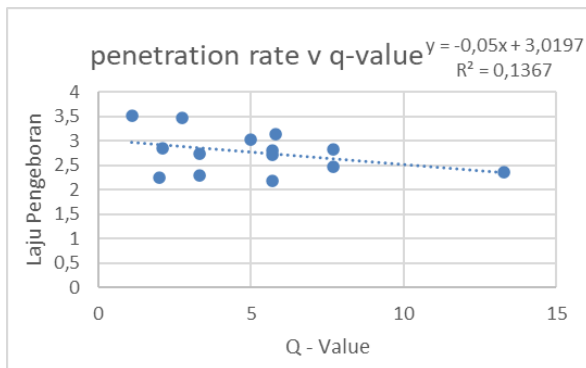
Tanggal	lokasi	Tabel Pehitungan Laju Penetrasi Pengeboran					
		Drill boom 1 (s)	Drill boom 2 (s)	Kedalaman boom 1	Kedalaman boom 2	pr boom 1 (m/minute)	pr boom 2 (m/minute)
01/11/2024	Lower Conveyor Acc	126	128	4,1	4,2	3,02	2,76
01/11/2024	711 service decline	94	93	3,7	3,6	3,48	3,84
01/11/2024	exh facilities acc	131	120	4,6	4,7	2,75	3,26
02/11/2024	uff intake 1 ramp	117	127	3,9	3,9	2,72	2,33
03/11/2024	exhaust 1-2 xc 2	128	124	4,2	4,5	2,85	3,41
12/11/2024	710 service decline	153	190	4,6	4,7	2,47	2,22
12/11/2024	cr 701 dump 3	94	115	3,7	4,3	3,52	3,14
16/11/2024	uff intake 1 ramp	138	145	3,9	3,8	2,19	2,4
16/11/2024	711 service decline xc5	176	141	4,3	4,2	2,3	2,65
21/11/2024	exh face rfc	114	109	3,7	3,7	2,84	3,04
22/11/2024	uff intake 1 ramp	129	117	4,6	4,5	2,8	3,18
22/11/2024	lff return	160	184	4,5	4,6	3,15	2,66
25/11/2024	Lower Conveyor Acc	165	151	4,4	4,1	2,37	2,64
26/11/2024	Intake 1	141	149	3,9	4,0	2,26	2,77

Pada *penetration rate* dari hasil pengamatan angka tertinggi yaitu pada 3,84 m/menit dan yang terendah pada 2,26 m/menit. Pada penelitian ini diketahui laju penetrasi, klasifikasi dan sifat batuan seperti pada tabel 4 berikut:

**Tabel 4 Pengaruh klasifikasi material terhadap laju penetrasi pengeboran**

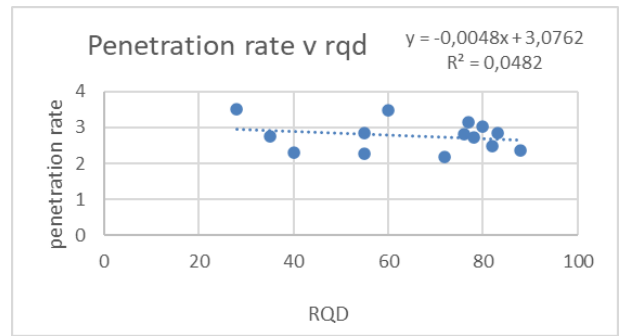
ggal	lokasi	klasifikasi dan sifat batuan				penetration rate	
		q value	hardness	rqd	pr boom 1 (m/minute)	pr boom 2 (m/minute)	
I/2024	Lower Conveyor Acc	5	r4	75-90	3,02	2,76	
I/2024	711 service decline	2,75	r3	50-75	3,48	3,84	
I/2024	exh facilities acc	3,3	r3	25-50	2,75	3,26	
I/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r4	75-90	2,72	2,33	
I/2024	exhaust 1-2 xc 2	2,1	r4	50-75	2,85	3,41	
I/2024	710 service decline	7,7	r3	75-90	2,47	2,22	
I/2024	cr 701 dump 3	1,1	r3	25-50	3,52	3,14	
I/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r3	50-75	2,19	2,4	
I/2024	711 service decline xc5	3,3	r2	25-50	2,30	2,65	
I/2024	exh face rfc	7,7	r4	75-90	2,84	3,04	
I/2024	uff intake 1 ramp	5,7	r4	75-90	2,80	3,18	
I/2024	uff return	5,8	r3	75-90	3,15	2,66	
I/2024	Lower Conveyor Acc	13,3	r4	75-90	2,37	2,64	
I/2024	Intake 1	2	r2	50-75	2,26	2,77	

Berdasarkan hasil pengolahan data berupa klasifikasi batuan dapat diketahui pengaruh klasifikasi batuan terhadap laju pengeboran.



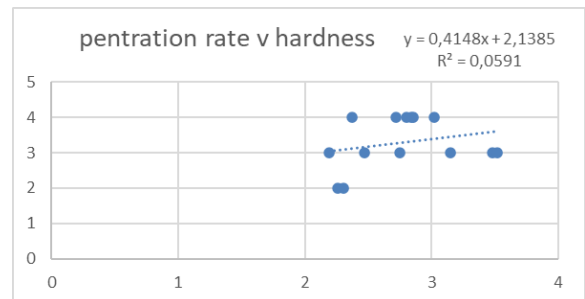
Gambar 3 Pengaruh Q – value terhadap laju pengeboran

Dari grafik pengeboran pada gambar 3 yaitu memiliki regresi yang menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,05x + 3,0197$  dengan nilai  $R^2$  atau koefisien determinasi dengan nilai  $R^2 = 0,1367$  yang menunjukkan bahwa  $Q - Value$  memiliki pengaruh sebesar 13,6% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,05 dalam kenaikan satu  $Q - Value$



Gambar 4 Pengaruh RQD Terhadap Laju Pengeboran

Dari grafik pengeboran pada gambar 4 yaitu memiliki regresi yang menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,0048x + 3,0762$  dengan nilai  $R^2$  atau koefisien determinasi dengan nilai  $R^2 = 0,0482$  yang menunjukkan bahwa RQD memiliki pengaruh sebesar 4,8% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,0048 dalam kenaikan satu RQD.



Gambar 5 Pengaruh kekerasan terhadap laju pengeboran

Dari grafik pengeboran pada gambar 5 yaitu memiliki regresi yang menaik dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = 0,4148x + 2,1385$  dengan nilai  $R^2$  atau koefisien determinasi dengan nilai  $R^2 = 0,0591$  yang menunjukkan bahwa klasifikasi kekerasan memiliki pengaruh sebesar 5,9% terhadap naiknya laju pengeboran sebesar 0,4148 dalam kenaikan satu klasifikasi kekerasan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Salah satu fungsi kegiatan pengeboran dan peledakan yang dilakukan pada tambang Kucing Liar PT Freeport Indonesia adalah sebagai pembukaan akses untuk pekerja.

Penelitian dilakukan di PT Freeport Indonesia (PTFI) yaitu pada tambang bawah tanah Kucing Liar (KL) pada bulan November 2024. Pada pengeboran yang dilakukan waktu yang tertinggi di angka 190 detik dengan kedalaman pengeboran 4,7 m dan waktu pengeboran tercepat pada waktu 93 detik dengan kedalaman 3,6m. Selain kedalaman hal yang memengaruhi waktu pengeboran adalah klasifikasi batuan dan sifat batuan.

$Q$  – Value memiliki regresi yang menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,05x + 3,0197$  dengan nilai  $R^2 = 0,1367$  yang menunjukkan bahwa  $Q$  – Value memiliki pengaruh sebesar 13,6% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,05 dalam kenaikan satu  $Q$  – Value. RQD memiliki regresi yang menurun dengan persamaan yang didapat yaitu  $y = -0,0048x + 3,0762$  dengan nilai  $R^2 = 0,0482$  yang menunjukkan bahwa RQD memiliki pengaruh sebesar 4,8% terhadap turunnya laju pengeboran sebesar 0,0048 dalam kenaikan satu RQD. Klasifikasi kekerasan batuan memiliki regresi yang menaik dengan persamaan yang didapat yaitu  $y =$

$0,4148x + 2,1385$  dengan nilai  $R^2 = 0,0591$  yang menunjukkan bahwa klasifikasi kekerasan memiliki pengaruh sebesar 5,9% terhadap naiknya laju pengeboran sebesar 0,4148 dalam kenaikan satu klasifikasi kekerasan.

Adapun saran untuk penelitian ini adalah

- Pemilihan variabel yang tepat guna mengidentifikasi hambatan pada kegiatan pengeboran
- Memasukan faktor alat kedalam variabel

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, Y. (n.d.). *Pengantar Teknik Pengeboran*.  
<http://publikasi.unisba.ac.id>
- Bakri, H. (2017). Produktivitas Kinerja Mesin Bor Dalam Pembuatan Lubang Ledak Di Quarry Batugamping B6 Kabupaten Pangkep Propinsi Sulawesi Selatan. In *Jurnal Geomine* (Vol. 5, Issue 2). Agustus.
- Bilim, N., & Karakaya, E. (2021). Penetration h Rate Prediction Models for Core Drilling. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 38(1), 359–366.  
<https://doi.org/10.1007/s42461-020-00322-6>
- Gunawan, C. (2013). *produktivitas alat bor pada kegiatan peledakan overburden compress*.
- Gilang Rizal. (2024). *Analisis Pengaruh Densitas Material Terhadap Laju*

*Penetrasi Pengeboran Di Pt Saptaindra Sejati Jobsite Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan Tugas Akhir.*

Heydari, S., Hoseinie, S. H., & Bagherpour, R. (2024). Prediction of jumbo drill penetration rate in underground mines using various machine learning approaches and traditional models. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59753-6>

Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.*

Saputra, R. A., Nugroho, W., Trides, T., Pertambangan, T., Kunci:, K., Bor, A., Kerja, E., & Pemboran, P. (2020). Evaluasi Kinerja Alat Bor Dalam Penyediaan Lubang Ledak

Untuk Mencapai Target Produksi Pembongkaran Overburden Di Pt. Sims Jaya Kaltim Site Pt. Kideco Jaya Agung Kalimantan Timur Kalimantan). In *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL* (Vol. 8, Issue 1).

Siburian, M. P., Widodo, N. P., Simangunsong, G. M., & Kramadibrata, S. (n.d.). *Studi Laju Penembusan Pada Batuan Menggunakan Metode Pengeboran Rotari Di Laboratorium.*

Sihotang, T. A. Z., & Ashari, Y. (2018). *Hubungan Karakteristik Massa Batuan dan Unjuk Kerja Pengeboran Pada Tambang Batu Andesit Blok Sukawargi Kelurahan Andir Kecamatan Balaendah Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat,.* 592–598.