

PENGARUH *WEIGHT ON BIT* (WOB) TERHADAP *RATE OF PENETRATION* (ROP) PADA KEGIATAN PENGEBORAN SKALA LABORATORIUM

Bochori¹, Alek Al Hadi², RR. Yunita Bayuningsih³, Harry Waristian⁴,
Dinda Purwanti⁵, Satriya Wibowo⁶

¹⁻⁴ Dosen Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

⁵⁻⁶ Mahasiswa Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

Corresponding author: alekalahadi@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Pengeboran merupakan kegiatan yang pertama kali dilakukan dalam suatu operasi peledakan batuan. Kegiatan ini bertujuan untuk membuat sejumlah lubang ledak yang nantinya akan diisi sejumlah bahan peledakan untuk diledakkan. Bukan hanya pembuatan lubang ledak tetapi pengeboran memiliki fungsi lain seperti pengumpulan data sebaran sumberdaya dan cadangan suatu endapan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan pembebanan pada mata bit terhadap laju penetrasi pengeboran. Pengujian sampel pengeboran dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *bench drilling* dimana kecepatan mata bor ± 1258 rpm dengan diameter bit sebesar 12 mm dan kedalaman penetrasi sebesar 5 cm. Pembebanan pada mata bor (*weight on bit*) 9.7 kg atau 95.2 Newton, 109.87 Newton, 124.59 Newton, 139.30 Newton dan 154.02 Newton. Hasil pengujian sampel menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara *Weight on Bit* (WoB) terhadap *Rate of Penetration* dimana nilai determinan rata-rata untuk kedalaman 1 cm sampai 5 cm yaitu 0.9952 korelasi lainnya terjadi pada hubungan *Weight on Bit* (WoB) terhadap *drill speed* (rpm) dengan nilai korelasi sama yaitu 0.9952, model regresi untuk kedua hubungan didapatkan model regresi polynomial orde ke-3 (cubic).

Kata Kunci: *drilling, penetration, weight on bit*

ABSTRAK: Drilling is the first activity carried out in a rock blasting operation. This activity aims to create a number of explosive holes that will later be filled with a number of explosives to be detonated. Not only create explosive holes but the drilling has other functions such as data collection of resource and reserves of a deposit. The aim of this research is to determine impact of variance of weight of bit on rate of penetration. Drilling sample testing was conducted in drilling and blasting laboratory using bench drilling where the drill bit speed ± 1258 rpm with a bit diameter of 12 mm and a penetration depth of 5 cm. Weight on bits (WoB) started from 9.7 kg or 95.2 Newton, 109.87 Newton, 124.59 Newton, 139.30 Newton to 154.02 Newton. The results of the analysis showed a significant correlation between Weight on Bit and Rate of Penetration where the average termination value for a depth of 1 cm to 5 cm, namely 0.9952 other correlations occurred in the relationship of Weight on Bit to drill speed (rpm) with the same correlation value of 0.9952, the regression model for both relationships obtained a cubic polynomial regression model.

Kata Kunci: *drilling, penetration, weight on bit*

PENDAHULUAN

Pengeboran merupakan kegiatan yang pertama kali dilakukan dalam suatu operasi peledakan batuan. Kegiatan ini bertujuan untuk membuat sejumlah lubang ledak yang nantinya akan diisi sejumlah bahan peledakan untuk diledakkan. Bukan hanya pembuatan lubang ledak tetapi pemboan memiliki fungsi lain seperti

pengumpulan data sebaran sumberdaya dan cadangan suatu endapan.

Tujuan pekerjaan pengeboran dan peledakan adalah memecah/membongkar batuan padat menjadi material lepas yang cocok untuk dikerjakan pada proses berikutnya yaitu pemuatan, pengangkutan, dan crushing. Pada dasarnya pekerjaan pengeboran dan peledakan adalah menghasilkan batuan lepas, dinyatakan dalam

derajat fragmentasi (degree of fragmentation) yang sesuai dengan keinginan. Fragmentasi batuan hasil peledakan sangat mempengaruhi produktivitas alat muat, alat angkut, dan crusher.

Fragmentasi batuan hasil peledakan dapat dikontrol dengan mengubah pola pengeboran atau mengatur *powder factor* atau kombinasi keduanya. Bila derajat fragmentasi meningkat (ukuran material pecahan batuan makin kecil) akan menambah biaya pengeboran dan peledakan. Tapi fragmentasi batuan hasil peledakan yang kecil akan meningkatkan produktivitas sehingga menurunkan biaya pemuatan, pengangkutan, dan proses *crushing* serta menghilangkan biaya *secondary blasting*. Prinsip hubungan antara biaya per unit batuan yang diledakan dan derajat fragmentasi untuk masing-masing tahap pekerjaan.

Sebelum dilakukan kegiatan peledakan perlu dipersiapkan lubang ledak dengan menggunakan alat bor. Efektivitas kegiatan pengeboran sangat tergantung dari kondisi bantuan, peralatan serta teknik yang digunakan. Ada banyak faktor yang akan berpengaruh pada kinerja alat bor seperti sifat batuan, *drillability of rock*, umur dan kondisi mesin bor, dan geometri pengeboran.

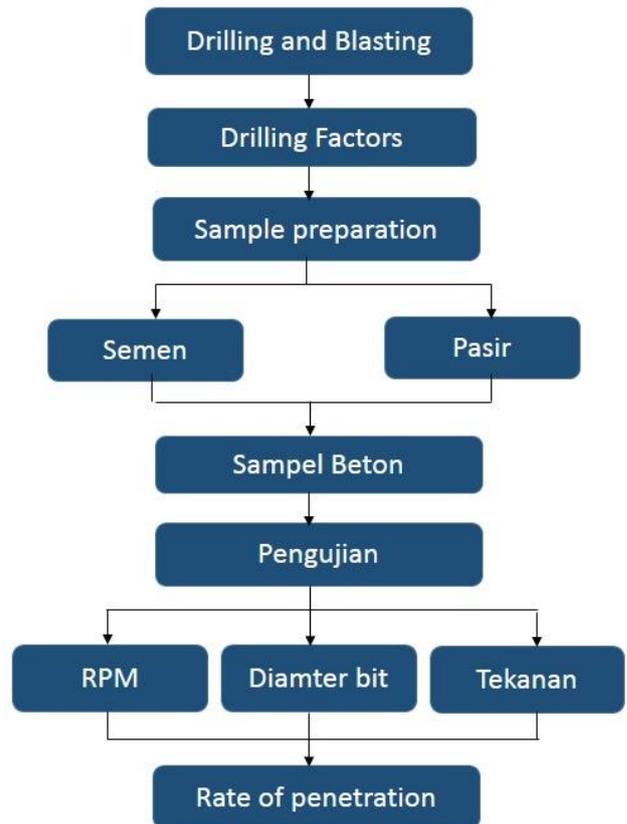
Penelitian ini perlu dilakukan untuk mendapatkan beban optimum pada pemboran, sehingga ada penurunan waktu pengeboran. Dimana hasil akhirnya adalah untuk mendapatkan nilai pengeboran yang paling ekonomis.

METODOLOGI

Kajian ini merupakan penggabungan antara kajian teoritis mengenai faktor-faktor apa saja yang berpengaruh terhadap kecepatan penetrasi pengeboran, dimana kajian difokuskan pada pengeboran untuk kegiatan peledakan.

Pada dasarnya pengeboran disesuaikan dengan tujuannya, misalkan ada pengeboran eksplorasi untuk mengetahui kondisi sumberdaya dan cadangan bahan galian tambang, pengeboran geoteknik untuk melakukan pengambilan sampel pengujian geotek, pengeboran yang berkaitan dengan migas, pengeboran untuk kegiatan peledakan dan masih banyak lagi kegiatan pengeborannya lainnya.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada kinerja pengeboran untuk peledakan diantaranya yaitu sifat batuan, *drillability of rock*, umur dan kondisi mesin bor, dan geometri pengeboran. Dimana pada kajian ini dilakukan pengeboran skala laboratorium dengan menggunakan sampel beton (semen dan pasir) dengan perbandingan tertentu. Asumsinya bahwa sampel ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan riset lebih lanjut dengan menggunakan sampel batuan.



Gambar 1. Bagan alir proses penelitian untuk mendapatkan data rate of penetration pengeboran

Sampel pengujian merupakan campuran antara pasir dan semen dengan perbandingan mulai dari 1:1, dan 1:2. Perbandingan ini berdasarkan volume bukan perbandingan berat. Ini digunakan untuk melihat rate of penetration sampel 1:1. Sampel dibuat seperti kubus dengan dimensi ukuran 11 cm x 11 cm x 11, sampel ini disesuaikan dengan alat bor dan perlengkapannya dimana jarak sampel dengan mata bor sebesar 11 cm dan ragam untuk mengikat sampel dapat menyesuaikan dengan ukuran 11 cm x 11 cm. Sampel dibuat dan didiamkan selama 3-4 hari kemudian siap untuk dilakukan pengeboran.

Pengujian sampel pengeboran dilakukan dengan menggunakan *bench drilling* dimana kecepatan mata bor ± 1258 rpm dengan diameter bit sebesar 12 mm dan kedalaman penetrasi sebesar 5 cm. Pembebanan pada mata bor (*weight on bit*) 9.7 kg atau 95.2 Newton, 109.87 Newton, 124.59 Newton, 139.30 Newton dan 154.02 Newton.

Tingkat efektivitas alat bor diukur dengan menggunakan rumus kedalaman penetrasi dibagi dengan total waktu yang dibutuhkan. Asumsinya bahwa semakin keras material maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk pengeboran dan sebaliknya. Dimana rumusnya adalah sebagai berikut.

$$KP = \frac{60 L}{Ct}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Faktor yang mempengaruhi Pengeboran

Faktor-faktor yang mempengaruhi kegiatan pengeboran salah satunya adalah daya dorong, dimana ini berpengaruh pada gaya yang bekerja pada mata bor sebagai keefektifan penetrasinya. Daya dorong dihasilkan melalui tumbukan dan tekanan pada pengeboran yang sedang dilakukan.

Pengaruh sifat batuan dalam pengeboran adalah pada tingkat penetrasi dan sebuah konsekuensi pada pemilihan metode pengeboran yang akan kita pilih. Macam-macam sifat batuan ialah berdasarkan: kekerasan, elastisitas, kekuatan, abrasivitas, plastisitas, tekstur, karakteristik pembongkaran, dan struktur, selanjutnya adalah drilabilitas batuan merupakan kecepatan dari penetrasi rata-rata mata bor terhadap suatu batuan.

Geometri pengeboran merupakan rangkaian aktivitas yang dilakukan pada kegiatan pengeboran yang meliputi; pola pengeboran, diameter lubang bor, kedalaman lubang bor, tinggi jenjang, dan kemiringan lubang tembak.

Kondisi alat bor sangat berpengaruh pada aktivitas pengeboran karena apabila ada alat yang sudah lama digunakan atau ada juga kerusakan pada alat, maka kemampuan mesin bornya akan menurun. Hal ini dapat menyebabkan pengaruh pada kecepatan pengeboran.

Dilakukannya perhitungan produktivitas alat bor bertujuan untuk mengetahui kemampuan kinerja mesin bor dalam pembuatan lubang bor guna mencapai keefektifan suatu alat. Pengaruh volume ekivalen pada pengeboran ialah untuk mengukur kemampuan alat bor yang kita pakai untuk pengeboran lubang ledak serta tetap memperhatikan geometri peledakan.

Beban pada mata bor adalah bertujuan untuk mengoptimalkan suatu pengeboran agar dapat memastikan bahwa lubang bor semakin dalam saat pengeboran bergerak maju ke bawah. Laju penetrasi ialah suatu kecepatan mata bor untuk memecah formasi batuan dibawahnya guna memperdalam lubang bor. Kecepatan bit rotation per minute untuk menghitung jumlah putaran dalam waktu satu menit pada rangkaian mata bor. Kecepatan putar ini sendiri bertujuan untuk menghancurkan dan menembus batuan formasi.

2. Hasil Pengujian Sampel

Sampel yang dilakukan uji pengeboran yaitu sampel 1:1. Pada pengujian ini akan dihitung waktu penetrasi untuk setiap kemajuan 1 cm dan dicatat rpm putaran bit pada ke dalam tersebut. Untuk setiap sampel dilakukan pengujian sebanyak masing-masing dua kali percobaan.

Pada sampel 1:1 dilakukan uji pengeboran dengan diameter bit 12 mm, putaran bit 1258 rpm, dan

melakukan variasi pembebanan pada bit mulai dari 95.16 N sampai 109.87 N. Data laju penetrasi dan rpm dicatat setiap kemajuan satu centimeternya.

Dari hasil percobaan didapatkan hasil pengujian sampel 1:1 untuk pembebanan 95.16 N, mata bor dapat menembus sampel kedalaman 1 cm membutuhkan waktu 9.96 detik dengan 1227 rpm, pada detik 25.25 mencapai kedalaman 2 cm dengan 1225 rpm, pada kedalaman 3 cm tercatat waktu yang dibutuhkan yaitu 41.04 detik dan 1227, kedalaman 4 cm pada detik ke 67.95 dengan 1230 rpm dan mencapai 5 cm pada detik 139.88 dengan 1241 rpm.

Sedangkan pada percobaan kedua dengan penambahan beban menjadi 109.87 N didapatkan data rate of penetration dimana kedalaman 1 cm dibutuhkan waktu 7.53 detik dengan 1225 rpm, pada kedalaman 2 cm di putaran 1223 rpm 18.19 detik, untuk kedalaman 3 cm membutuhkan waktu 31.73 detik di putaran 1226 rpm, kemudian pada kedalaman 4 cm membutuhkan 45.57 detik diputaran 1228 rpm, dan pada kedalaman 5 cm membutuhkan waktu 77.49 detik dengan 1236 rpm.

Percobaan dilanjutkan dengan penambahan beban menjadi 124.59 N, dimana tercatat total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengeboran dengan kedalaman 5 cm adalah 52.44 detik. Pada 1 cm pertama dibutuhkan 7.37 detik dengan 1219 rpm, 1 cm selanjutnya menjadi 14.59 detik dengan 1216 rpm, pada kedalaman 3 cm waktu yang dibutuhkan menjadi 24.27 detik dengan 1218 rpm, dan pada kedalaman 4 cm rpm bit menjadi 1217 pada detik 35.33, serta di cm terakhir rpm meningkat menjadi 1226 dan waktunya 52.44 detik.

Pada percobaan pengeboran ke empat ditambahkan beban menjadi 139.30 N, putaran bit dari 1258 rpm menjadi 1206 rpm ketika mencapai 1 cm penetrasi dan waktu yang dibutuhkan sebanyak 6.69 detik. Kedalam 2 cm putaran bit konstan di 1206 dengan waktu 14.95, selanjutnya pada kedalaman 3 cm putaran bit naik ke 1208 dengan waktu 23.18 detik, pada kedalaman 4 cm waktu yang dibutuhkan 32.59 detik dengan putaran bit meningkat ke 1213, pada kedalaman maksimal yaitu 5 cm putran bit naik 3 rpm menjadi 1216 rpm dan waktu sebesar 43.75 detik.

Sedangkan pada percobaan terakhir dengan beban pada mata bor diperbesar menjadi 154.02 N dimana waktu total yang dibutuhkan alat bor menembus sampel sedalam 5 cm membutuhkan total waktu 40.51 detik. Pada kedalaman 1 cm putaran bit menjadi 1201 di detik ke 5.07, sedangkan pada kedalaman 3 cm putaran bit naik ke 1207 di detik ke 19.5, sehingga pada detik 40.51 mata bor sampai ke kedalaman 5 cm (tabel 1).

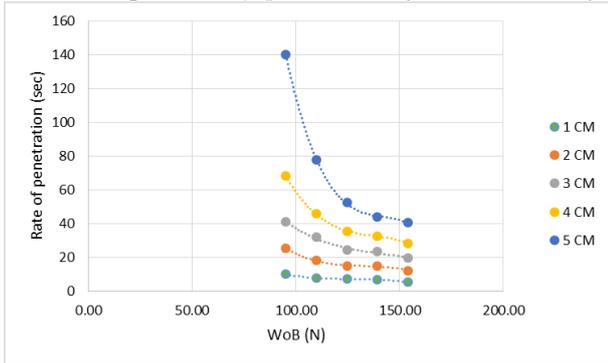
Tabel 1. Hasil Percobaan pengeboran sampel 1:1 (Hubungan Laju Penetrasi dengan Waktu dan RPM)

WoB (N)	Penetration 1 cm		Penetration 2 cm		Penetration 3 cm		Penetration 4 cm		Penetration 5 cm	
	RPM	t (s)								
0	1258	-	1258	-	1258	-	1258	-	1258	-
95.16	1227	9.96	1225	25.25	1227	41.04	1230	67.95	1241	139.88
109.87	1225	7.53	1223	18.19	1226	31.73	1228	45.57	1236	77.49
124.59	1219	7.37	1216	14.59	1218	24.27	1217	35.33	1226	52.44
139.30	1206	6.69	1206	14.95	1208	23.18	1213	32.59	1216	43.75
154.02	1201	5.07	1204	12.09	1207	19.5	1207	28.38	1212	40.51

3. Hubungan Weight on Bit (WoB) terhadap Rate of Penetration

Berdasarkan data pengujian yang dilakukan dengan menghubungkan *Weight on Bit* (WoB) terhadap *Rate of Penetration* (RoP) mulai dari kedalaman 1 cm, 2 cm sampai dengan kedalaman 5 cm.

Hasil Pengujian menunjukkan bawah adanya pengaruh yang signifikan antara penambahan berat pada bit terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kedalaman tertentu. Semakin besar berat pada mata bit semakin cepat *rate of penetration*nya dan sebaliknya.



Gambar 1. Hubungan antara Weight on Bit (WoB) dengan Rate of Penetration (RoP)

Pada kedalaman 1 cm penetrasi pengeboran yang dilakukan pengujian dengan beban bit yang berbeda didapatkan kecepatan pengeboran yang meningkat seiring bertambahnya beban pada bit. Pada pembeban 95.16 N didapatkan waktu untuk menembus 1 cm yaitu selama 9.96 detik, sedangkan pada WoB 109.87 N didapatkan data 7.53 detik artinya ada penurunan 2.43 detik untuk penambahan 14.72 N.

Penambahan beban yang sama dilakukan sehingga dari 109.87 N menjadi 124.59 N menambah kecepatan pengeboran dari 7.53 detik menjadi 7.37 detik atau penambahan sebesar 0.16 detik, penambahan 14.72 N lainnya mengurangi waktu pengeboran berturut-turut menjadi 6.69 detik dan 5.07 detik. Jadi secara umum setiap penambahan beban 14.72 N mengurangi waktu penetrasi rata-rata 1.22 detik.

Berdasarkan hubungan antara waktu penetrasi dan pembebanan bit pada kedalaman 1 cm didapatkan model matematis sebagai berikut ini :

$$y = -0.0008x^3 + 0.3562x^2 - 50.873x + 2474.3$$

Dimana nilai y adalah waktu pengeboran prediksi untuk nilai pembebanan tertentu (x). Model merupakan model polynomial pangkat tiga (cubic) dengan nilai determinan sebesar 0.9998, nilai ini merupakan nilai diterminasi terbesar dibandingkan dengan semua model yang disimulasikan.

Pada kedalaman 2 cm dengan *weight on bit* mulai dari 95.16 N menjadi 109.87 N terdapat mengurangi waktu *drilling* sebesar 7.06 detik dari 25.25 detik menjadi 18.19 detik. Pada penambahan beban bit menjadi 124.59 N ada percepatan pengeboran sebesar 3.60 detik, namun pada pembebanan 139.30 N ada perlambatan sebesar 0.36 detik menjadi 14.95 detik dari 14.59 detik. Kemudian pada penambahan beban yang sama didapat percepatan pengeboran sebesar 2.86 detik. Sehingga penambahan 14.72 N rata-rata memberikan percepatan sebesar 3.19 detik.

Dari data-data hubungan antara WoB dengan RoP pada kedalaman penetrasi 2 cm didapatkan model matematis sebagai berikut:

$$y = -0.0004x^3 + 0.1475x^2 - 20.543x + 993.88$$

Model diatas merupakan model regresi polynomial orde ke-3 (cubic) dengan nilai diterminasi sebesar 0.9997 dan merupakan nilai diterminasi terbesar dibandingkan dengan model regresi lainnya.

Pada kedalaman 3 cm dengan WoB mulai dari 95.16 N sampai 154 N dengan skala penambahan beban 14.72 N. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kedalaman 3 cm mulai dari pembebanan terkecil 95.16 N yaitu 41.04 detik, kemudian menurun menjadi 31.73 detik, turun 7.46 detik menjadi 24.27 detik, sampai dengan pembebanan tertinggi 154.02 N di detik ke 19.5.

Hubungan antara penambahan beban terhadap waktu penetrasi sangat jelas terlihat, dimana penambahan beban memperkecil waktu pengeboran untuk mencapai 3

cm. Hasil uji korelasi dan regresi didapatkan nilai determinasi mendekati sempurna dengan angka 0.9912 model matematis untuk kedalaman 3 cm sebagai berikut.

$$y = -0.0001x^3 + 0.0492x^2 - 7.1219x + 373.32$$

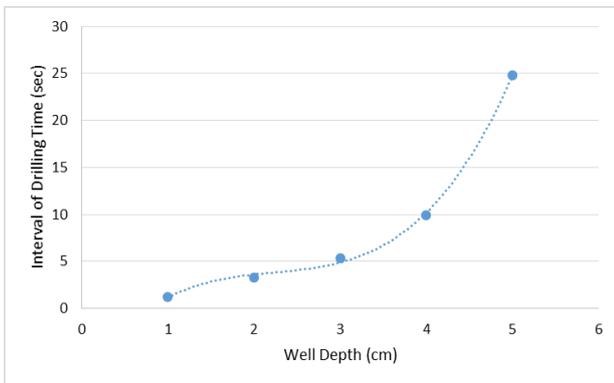
Pada kedalaman 4 cm dan 5 cm dengan penambahan beban yang sama didapatkan selisih waktu untuk mencapai kedua kedalaman tersebut. Pola penurunan waktu pengeboran akibat penambahan beban pada mata bor relative sama dengan nilai determinasi berturut-turut; 0.9919 dan 0.9936, dimana model matematisnya adalah sebagai berikut.

$$y = -0.0002x^3 + 0.0694x^2 - 9.2237x + 425.4$$

$$y = -8E-05x^3 + 0.0317x^2 - 4.0102x + 176.44$$

Berdasarkan data masing kedalaman yang terdiri dari beban pada bit dan waktu penetrasi didapatkan sebuah grafik yang menunjukkan adanya korelasi antara *interval of drilling time* (sec) dengan *well depth* (cm) dimana nilainya sebesar 0.9987 dengan model matematis regresi polynomial orde ke-3 (cubic) sebagai berikut.

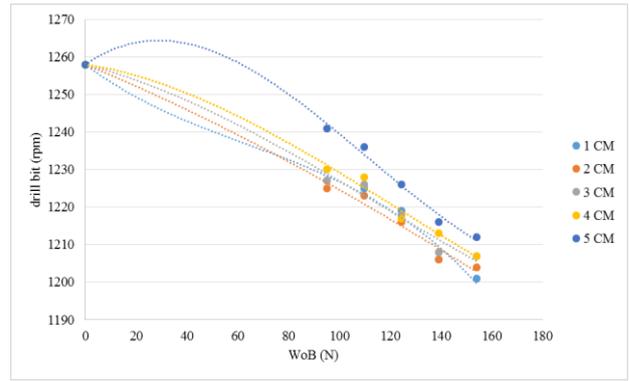
$$y = 0.8679x^3 - 5.7986x^2 + 13.791x - 7.7185$$



Gambar 2. Grafik Hubungan antara *interval of drilling time* dengan *well depth*

4. Hubungan Weight on Bit (WoB) terhadap drill speed (rpm)

Visualisasi data pada gambar 3 menunjukkan bahwa adanya hubungan yang erat antara penambahan pembebanan pada bit terhadap kecepatan putaran bit itu sendiri. Dimana semakin besar pembebanan akan menurunkan nilai rpm mata bor seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Hubungan antara *weight on bit* terhadap *drill bit rpm*

Pengukuran dilakukan untuk setiap penetrasi interval kedalaman 1 cm sampai dengan kedalaman maksimal pada 5 cm. Hasilnya menunjukkan bahwa model regresi dengan nilai R² tertinggi yaitu regresi polynomial orde ke-3 (cubic) dengan nilai determinasi rata-rata sebesar 0.9952. Dimana model matematis untuk setiap kedalaman seperti pada tabel di bawah ini

Tabel 2. Model matematis untuk setiap penetrasi pengeboran

P (cm)	Models	R ²
1	$y = 3E-05x^3 - 0.0093x^2 + 0.468x + 1258$	0.9931
2	$y = 7E-06x^3 - 0.0026x^2 - 0.0989x + 1258$	0.9918
3	$y = 5E-06x^3 - 0.0019x^2 - 0.1707x + 1258$	0.9852
4	$y = 7E-06x^3 - 0.0026x^2 - 0.0989x + 1258$	0.9918
5	$y = -2E-05x^3 + 0.0039x^2 - 0.5021x + 1258$	0.9896

Model di atas dapat digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk setiap kedalaman penetrasi kedalaman pengeboran berdasarkan pembebanan pada mata bor.

KESIMPULAN

Pengujian sampel pengeboran dilakukan dengan menggunakan *bench drilling* dimana kecepatan mata bor ± 1258 rpm dengan diameter bit sebesar 12 mm dan kedalaman penetrasi sebesar 5 cm. Pembebanan pada mata bor (*weight on bit*) 9.7 kg atau 95.2 Newton, 109.87 Newton, 124.59 Newton, 139.30 Newton dan 154.02 Newton. Hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara *Weight on Bit* (WoB) terhadap *Rate of Penetration* dimana nilai determinasi

rata-rata untuk kedalaman 1 cm sampai 5 cm yaitu 0.9952 korelasi lainnya terjadi pada hubungan *Weight on Bit* (WoB) terhadap *drill speed* (rpm) dengan nilai korelasi sama yaitu 0.9952, model regresi untuk kedua hubungan didapatkan model regresi polynomial orde ke-3 (cubic).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkader Khentout, Mohamed Kezzar, Lakhdar Khochemane, (2019), Taguchi Optimization And Experimental Investigation Of The Penetration Rate Of Compact Polycrystalline Diamond Drilling Bits In Calcareous Rocks, International Journal of Technology 10(2): 226-235, ISSN 2086-9614.
- Hong-li Wang, Wei Bao, Xian-tang Zhang and Tai-hui Xu, (2017), Study on Prediction of Rotary-Impact Drilling Speed of Rock Drill, International Conference on Manufacturing Engineering and Intelligent Materials (ICMEIM 2017), Advances in Engineering, volume 100.
- Nguyen Van Hung¹, L. Gerbaud, R. Souchal, C. Urbanczyk, C. Fouchard, (2016), Penetration Rate Prediction For Percussive Drilling With Rotary In Very Hard Rock, Tạp chí Khoa học và Công nghệ 54 (1) (2016) 133-149.
- S. B. Kivadea, Ch. S. N. Murthyb, Harsha Vardhanb, (2015), Experimental Investigations on Penetration Rate of Percussive Drill, Procedia Earth and Planetary Science 11 (2015) 89 – 99.
- S. H. Hoseinie, M. Ataei, A. Aghababaie, (2014), A laboratory study of rock properties affecting the penetration rate of pneumatic top hammer drills, Journal of Mining & Environment, Vol.5, No.1, 2014, 25- 34.