



Kajian Teknis Umur Pakai Mata Bor Menggunakan Metode *Galle and Woods* pada Batuan Sedimen

Aullia Bintang Jaladri^{1*}, Bagus Wiyono¹, Wirawan Nurcahyo Utomo²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia,

²Drill Blast Departement, PT. Kaltim Prima Coal

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i3.2283>

Article Info:

Received : 30 Mei 2026
Revised : 12 Juni 2026
Accepted : 20 Juni 2026
Published : 29 Juni 2026

Correspondence:

Aullia Bintang Jaladri

Phone: +6285600087101

Abstract: The operational efficiency of coal drilling at Pit Bendili, PT Kaltim Prima Coal, is directly influenced by drill bit life. This study aims to evaluate technical drilling parameters to achieve a target bit lifespan of 10.800 m using the Galle and Woods theoretical method. Evaluated parameters include Weight on Bit (WOB) and Rotational Speed (RPM) from a Sandvik D55SP drill rig (unit D162) operating in soft to very soft formations with Uniaxial Compressive Strength (UCS) values ranging from 14,14 MPa to 17,73 MPa. The Galle and Woods method mathematically models tooth and bearing wear rates to predict optimum bit replacement intervals. Results indicate that mitigating bit balling while achieving the cumulative 10.800 m target requires maintaining the pipe rotation speed constant at its maximum limit of 187 RPM and optimizing WOB within safe Sandvik operational thresholds. This parameter combination maximizes the penetration rate while minimizing premature component failure.

Keywords: Rotary Drilling; Bit life; Galle and Woods; Tooth wear; Weight on Bit.

Citation: Jaladri, A. B., Wiyono, B., & Utomo, W. N. (2026). Kajian Teknis Umur Pakai Mata Bor Menggunakan Metode Galle and Woods pada Batuan Sedimen. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(3), 2861-2867. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i3.2283>

Pendahuluan

Kegiatan pemboran lubang ledak merupakan tahap awal yang penting dalam siklus pembongkaran batuan pada metode tambang terbuka. Efisiensi dari proses ini tidak hanya diukur dari kecepatan penetrasinya, melainkan juga dari mata bor. Penggantian mata bor yang terlalu cepat akan secara langsung meningkatkan biaya operasional pengeboran serta menurunkan tingkat ketersediaan fisik alat (*physical availability*) akibat tingginya waktu henti untuk penggantian komponen.

PT Kaltim Prima Coal (PT KPC) sebagai salah satu perusahaan tambang batubara di Indonesia melakukan pengelolaan efisiensi operasional untuk mempertahankan target produksi, salah satunya di area Pit Bendili. Lapisan batuan *interburden* yang terdapat di area ini merupakan jenis batuan sedimen klastik yang tersusun atas 41,03% *mudstone*, 36,27% *siltstone*, dan 22,7% *sandstone*. Terdapat tiga *seam* batubara utama

pada lokasi penelitian, yaitu *seam* PR, BN dan B2. Berdasarkan data Departemen Geoteknik PT KPC, nilai rata-rata kuat tekan uniaksial ketiga *seam* tersebut sebesar 15,46 MPa. Mengacu pada klasifikasi Bieniawski (1989), rentang nilai UCS tersebut termasuk ke dalam kelompok batuan lemah (*soft rock*). Pada formasi batuan lemah, rentan terjadi penumpukan *cuttings* batuan hasil pengeboran yang memicu penyumbatan pada mata bor sehingga akan meningkatkan gesekan dan kerusakan ekstrem akibat *stuck*.

Kegiatan operasional pengeboran *rotary drilling* di Pit Bendili dilakukan menggunakan unit *Rotary Drill* Sandvik D55SP. Berdasarkan data penggunaan mata bor, terdapat kesenjangan performa antara dua merek mata bor yang digunakan pada formasi batuan tersebut. Hasil pengamatan terhadap rata-rata umur mata bor merek TR tercatat mencapai 14.725 m dengan intensitas kerusakan gigi sebesar 0,55 berdasarkan standar *International Association of Drilling Contractors (IADC)*

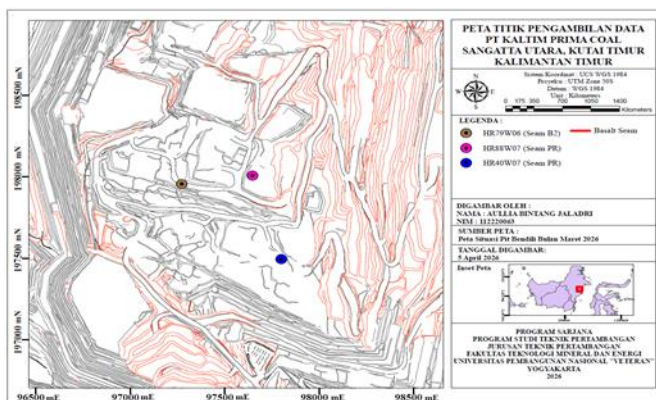
Email: aulliabintang@gmail.com

Dull Grading for Roller Tricone Bit. Sebaliknya, mata bor merek SC hanya mencapai rata-rata umur pakai sebesar 8.286 m dengan tingkat kerusakan gigi berada di angka 0,76. Kondisi ini menjadi masalah karena operasional pengeboran di Pit Bendili ke depannya menggunakan mata bor merek SC, sementara realisasi capaian umurnya masih berada di bawah target sebesar 10.800 m. Untuk mengatasi kesenjangan performa tersebut, diperlukan evaluasi kuantitatif terhadap laju kerusakan mekanis komponen pemboran.

Metode Galle *and* Woods merupakan pendekatan empiris dalam mekanika pengeboran yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara parameter operasional alat dengan laju keausan mata bor. Alasan utama pemilihan Metode Galle *and* Woods dalam penelitian ini adalah kemampuannya dalam menggabungkan tiga parameter sekaligus, yaitu parameter operasional pengeboran (gaya tekan dan kecepatan putar), spesifikasi mekanis mata bor yang digunakan, serta kondisi batuan yang dibor. Melalui integrasi ketiga parameter tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter operasional yang dapat memenuhi target umur pakai mata bor SC minimal sebesar 10.800 meter di Pit Bendili PT Kaltim Prima Coal.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di area Pit Bendili PT Kaltim Prima Coal. Pengambilan data dilakukan pada tiga titik lokasi, yaitu HR40W07, H88W07, dan HR79W06 selama periode pengeboran bulan Januari hingga Maret 2026, yang seluruhnya menggunakan mata bor merek SC pada formasi batuan *interburden seam* PR, BN, dan B2. Peta sebaran lokasi pengamatan di area Pit Bendili disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengambilan Data Operasional

Data operasional pengeboran diambil langsung dari unit mesin bor *Rotary Drill* Sandvik D55SP nomor lambung D162. Parameter yang dicatat dari layar monitor *dispatch* di dalam kabin operator yang dapat

dilihat pada Gambar 2 adalah nilai *Pull-down Pressure* (PP) dan *Rotational Pressure* (RP) dalam satuan Psi. Pencatatan ini dilakukan setiap 1 meter kedalaman selama proses penetrasi lubang ledak berlangsung untuk mencatat fluktuasi tekanan hidrolik yang diberikan oleh sistem mekanis alat bor terhadap lapisan batuan.



Gambar 2. Monitor Dispatch pada Kabin Drill

Pengambilan Data *Weight on Bit* dan RPM Aktual

Dilakukan kalibrasi parameter mekanis aktual pada alat bor D162, untuk mengetahui nilai *WOB* (klbs) yang akan dihasilkan ketika diberi variasi *pull-down pressure* (Psi). Nilai *WOB* diperoleh melalui metode *weight test*, kemudian dilakukan analisa regresi linear sederhana untuk mengonversi nilai *PP* ke nilai *WOB*. Sementara itu, kecepatan putaran pipa (RPM) diukur menggunakan alat *tachometer*. Dokumentasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengukuran *WOB* dan RPM ini dilakukan karena faktor umur alat yang mempengaruhi kinerja pemberian tekanan. Sehingga perlu dikalibrasi supaya dalam proses *trial* akan menghasilkan nilai yang akurat.



Gambar 3. Proses Pengambilan Data *WOB* & RPM

Metode Penilaian Kerusakan Mata Bor

Setelah mata bor merek SC mencapai batas akhir pemakaian, dilakukan evaluasi kerusakan fisik komponen. Penilaian tingkat kerusakan ini menggunakan standar *International Association of Drilling Contractors* (IADC) *Dull Grading for Roller Tricone Bit*

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dari delapan kolom indikator standar IADC, variabel yang digunakan untuk kebutuhan input komputasi metode Galle and Woods dibatasi hanya pada dua parameter utama, yaitu intensitas kerusakan struktur gigi (*tooth wear*) pada kolom *inner* dan *outer rows*, serta tingkat kerusakan bantalan (*bearing wear*). Penilaian kerusakan gigi ada pada skala 0-8 yang menunjukkan tingkat pengurangan tinggi struktur gigi mata bor, di mana angka 0

merepresentasikan kondisi baru tanpa keausan dan angka 8 menandakan bahwa seluruh tinggi struktur gigi telah habis terabrasi, visualisasi kerusakan ini dapat dilihat pada Gambar 5. Penilaian kerusakan gigi dilakukan dengan mengukur tinggi awal gigi mata bor sebelum digunakan kemudian dibandingkan dengan tinggi akhir gigi mata bor saat dicabut dari pipa bor akibat mengalami kerusakan yang menghambat proses operasional pengeboran.

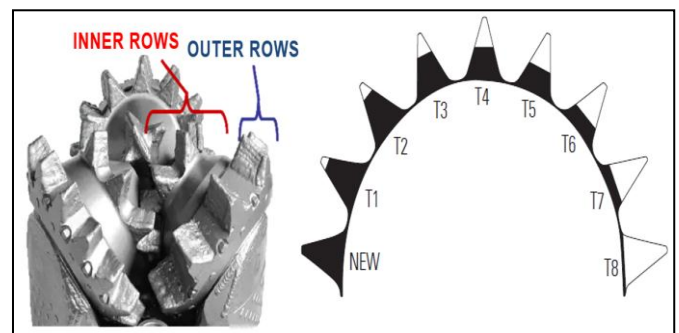
Cutting Structure							
Inner Rows	Outer Rows	Dull Char.	Location	Bearings/Seals	Gauge	Other Dull Char.	Reason Pulled
1	2	3	4	5	6	7	8

Gambar 4. Parameter Penilaian Kerusakan Mata Bor IADC (Halliburton, 2009)

Metode Perhitungan Galle and Woods

Metode Galle and Woods merupakan pendekatan empiris dalam mekanika pengeboran yang digunakan untuk menghitung laju keausan struktur gigi serta bantalan mata bor *tricone*, sekaligus memprediksi akumulasi umur pakai komponen berdasarkan variasi parameter *weight on bit* dan kecepatan putaran pipa (Galle & Woods, 1963). Metode ini mempertimbangkan parameter operasional pengeboran, kualitas mata bor dan juga kondisi batuan yang dihadapi. Persamaan empiris yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Seluruh rangkaian persamaan empiris di atas diselesaikan secara berurutan mulai dari penentuan beban tekan ekuivalen hingga kalkulasi nilai normalisasi waktu (*An*) dan fluida (*Sn*). Kedua nilai ternormalisasi tersebut kemudian diplot ke dalam grafik kurva Galle and Woods pada Gambar 6 dan Gambar 7 untuk mendapatkan nilai koefisien kerusakan mata bor (*K*) melalui titik perpotongan grafik yang terbentuk. Pada

tahap akhir, koefisien *K*, konstanta abrasivitas (*Af*) dan drillabilitas (*Cf*) formasi batuan digunakan untuk menghitung nilai *Total Footage*. Output kalkulasi ini menghasilkan estimasi batas umur pakai akumulatif maksimal mata bor SC dalam satuan meter dan tingkat kerusakannya.

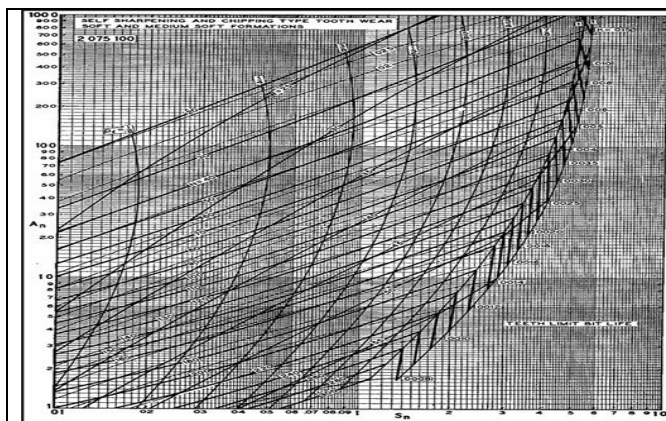


Gambar 5. Penilaian Kerusakan Gigi Mata Bor (Halliburton, 2009).

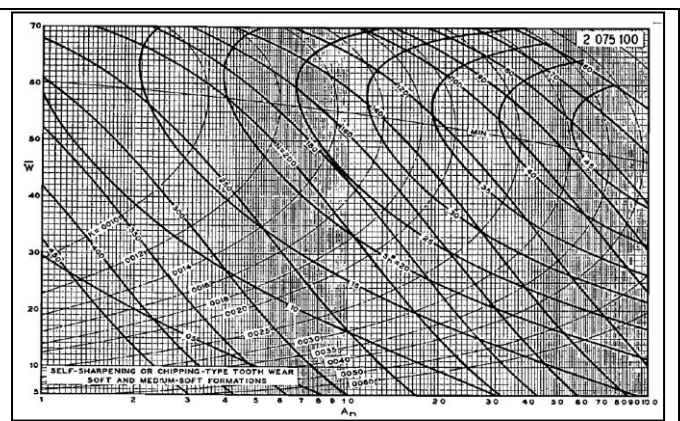
Tabel 1. Persamaan Empiris Metode Galle and Woods

GALLE AND WOODS EQUATION	PARAMETER
$\bar{w} = 7,875 \times \frac{WOB}{H}$ $m = \frac{(1359,1 - 714,191 \times \log(\bar{w}))}{714,191}$	w = Beban tekan ekuivalen mata bor diameter 7 7/8 inch. WOB = Gaya tekan bawah (klbs) H= Diameter mata bor (inch) m = Fungsi laju keausan gigi mata bor
$i = N + 4,348 \times 10^{-5} \times N^3$ $r \text{ (for soft formation)} = (e^{-\frac{100}{N^2}} \times N^{0.75} + 0,5 \times N \times (1 - e^{-\frac{100}{N^2}}))$	i = Fungsi pengaruh kecepatan putaran thd keausan gigi N = Kecepatan putaran pipa aktual (RPM) r = Konstanta putaran khusus formasi batuan lunak e = Bilangan konstanta natural (2,71828)
$Af = \frac{T \times i}{m \times U}$ $Cf = \frac{F \times i}{Af \times r \times w \times m \times Z}$	Af = Konstanta abrasivitas formasi batuan Cf = Konstanta drillabilitas formasi batuan T = Total durasi mata bor berotasi (jam) F = Kedalaman pemboran (Ft) U = Konstanta tingkat ketumpulan gigi (skala IADC)

	Z = Pola keausan ujung gigi mata bor (0=tidak terjadi keausan; 0,5=mempertajam diri; 1=mendatar)
$S = \frac{Tf \times N}{Bx \times L}$ $A = \frac{\text{Bit Cost } (\$)}{\text{Rig Cost } (\$/\text{jam})} + \text{Trip Time (jam)}$	S = Parameter pengaruh pembersihan fluida Bx = Tingkat kerusakan bearing (skala IADC) L = Fungsi laju keausan bearing Trip Time = Waktu proses angkat-turun rangkaian pipa dan travel antar lubang (jam)
$An = \frac{A}{Af}$ $Sn = \frac{S}{Af}$	An = Nilai alokasi waktu operasional ternormalisasi Sn = Nilai parameter fluida pengeboran ternormalisasi
$\text{Total Footage} = \frac{An + \frac{Sn \times L}{N}}{K} \times Af \times Cf$	Total Footage = Umur pakai maksimal mata bor (meter) K= Koefisien kerusakan akhir mata bor dari perpotongan grafik kurva An dan Sn



Gambar 4. Kurva Prediksi Kerusakan Mata Bor (Galle & Woods, 1963)



Gambar 7. Kurva Parameter Optimum Prediksi Umur Matar Bor (Galle & Woods 1963)

Hasil dan Diskusi

Karakteristik Massa Batuan

Kemampuan mata bor dalam menembus lapisan bumi sangat bergantung pada resistensi material batuan penyusunnya. Berdasarkan Tabel 2, nilai kuat tekan uniaksial di area penelitian tergolong kedala, batuan lunak (Schlumberger, 2018). Karakteristik batuan yang lunak ini dapat mengurangi kecepatan pengeboran karena cuttings akan terakumulasi dan masuk kedalam celah mata bor, sehingga fleksibilitas putaran akan terganggu.

Tabel 1. Kuat Tekan Uniaksial Batuan (Dept. Geoteknik PT KPC, 2026)

UCS (Psi)	Seam B2	Seam PR	Seam BN
MIN	325	615	382
MAX	4.226	4.574	4.026
AVG	2.225	2.511	2.031

Parameter WOB dan RPM

Berdasarkan Tabel 3, nilai gaya tekan bawah atau beban mekanis (*Weight on Bit*) memiliki korelasi yang berbanding lurus dengan besaran tekanan hidrolik (*Pulldown Pressure*) yang diaplikasikan pada unit. Semakin tinggi tekanan yang disalurkan, semakin masif pula beban vertikal yang dibebankan kepada struktur mata bor di dasar lubang.

Tabel 2. Pengukuran *Weight on Bit* pada Alat Bor Sandvik D55SP

<i>Pulldown Pressure</i> (Psi)	<i>Weight On Bit</i> (Kg)	<i>Weight On Bit</i> (Klbs)
500	2.186	4,819
750	3.324	7,328
1.000	5.520	12,170
1.250	7.302	16,098
1.500	9.195	20,272

<i>Pulldown Pressure (Psi)</i>	<i>Weight On Bit (Kg)</i>	<i>Weight On Bit (Klbs)</i>
1.750	10.742	23,682
2.000	12.755	28,120
2.250	14.859	30,995
2.500	15.890	15.031
2.750	17.554	38,711
3.000	18.838	41,531
3.250	18.906	41,681

Kemudian persamaan regresi linear sederhana yang digunakan untuk mengonversi nilai PP ke WOB sebagai berikut:

$$WOB = -895,4 + 6,56 \times \text{Pulldown Pressure}$$

Hasil pengukuran parameter kecepatan putaran pipa disajikan pada Tabel 4. Nilai ini diambil dalam kondisi kecepatan putaran maksimal.

Tabel 3. Pengukuran *Rotation Speed Drill D162*

<i>Rig Id</i>	<i>Rig Type</i>	<i>Date Test</i>	<i>Tachoe Result</i>
D162	Sandvik D55SP	6/3/2026	187 RPM

Penilaian Kondisi Kerusakan Mata Bor

Setelah mata bor SC mengalami kerusakan, evaluasi dilakukan menggunakan parameter IADC. Merujuk pada data penilaian pada Tabel 5, instrumen gigi mata bor tersebut mengalami kerusakan yang

cukup tinggi pada bagian *inner*. Keausan terjadi secara menyeluruh, baik pada struktur gigi bagian dalam *inner rows* maupun pada baris *outer rows*, dapat dilihat pada Gambar 8. Lebih lanjut, komponen *bearing* juga menunjukkan indikasi kerusakan fungsional akibat beban tekan dan rotasional terus menerus selama menembus formasi batuan.

Tingginya indeks kerusakan mekanis tersebut menunjukkan perlunya evaluasi teknis terhadap kombinasi parameter WOB dan RPM pada mata bor merek SC. Analisis interaksi kedua parameter ini diperlukan untuk memperpanjang umur pakai mata bor, mengingat pencapaian kedalaman kumulatif (*footage*) pada siklus operasional terakhir tercatat sebesar 6.678,2 meter (*Source: Departemen Drill and Blast PT KPC, 2026*).

Nilai kerusakan gigi & *bearing* mata bor tersebut yang kemudian akan menjadi parameter kualitas mata bor pada analisa Galle & Woods.

Tabel 4. Data Kerusakan Mata Bor SC Sebelum Analisa

<i>Rig</i>	<i>Merek Bit</i>	<i>Total Hours (hr)</i>	<i>ROP (m/h)</i>	<i>Serial Number</i>	<i>Total Meters (m)</i>	<i>Bit Tooth Conditions (0-1)</i>	<i>Bearing Conditions (0-1)</i>
D166	SC	57,6	115,9	7600115	6.678,2	0,875	0,625



Gambar 5. Dokumentasi Kerusakan Mata Bor Sebelum Analisa (Penulis, 2026)

Kombinasi WOB & RPM untuk Mencapai Target 10.800 m.

Perhitungan prediksi umur dan kerusakan mata bor dihitung menggunakan persamaan yang terdapat

pada Tabel 1 dengan *input* data berdasarkan data historis mata bor SC pada Tabel 5. Hasil perhitungan dapat ditinjau pada Tabel 6. Pemilihan kombinasi WOB dan RPM dipertimbangkan berdasarkan kombinasi yang menghasilkan ketercapaian umur mata bor ≥ 10.800 m. Kemudian pertimbangan lainnya adalah dipilih untuk kombinasi dengan tingkat kerusakan (*Df*) paling rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi WOB sebesar 16,6 klbs atau sama dengan 1.285 Psi dan *rotation speed* 187 Rpm akan didapatkan prediksi umur mata bor sebesar 11.252 m dengan VP yang dihasilkan adalah 168 m/jam dan tingkat kerusakan 0,59.

Tabel 6. Iterasi Perhitungan Kombinasi WOB-RPM

<i>Pulldown Pressure (Psi)</i>	<i>Rotation Speed (rpm)</i>	<i>Prediksi Umur (m)</i>	<i>Indeks Kerusakan Gigi (0-1)</i>
1.760	187	12.902	0,75

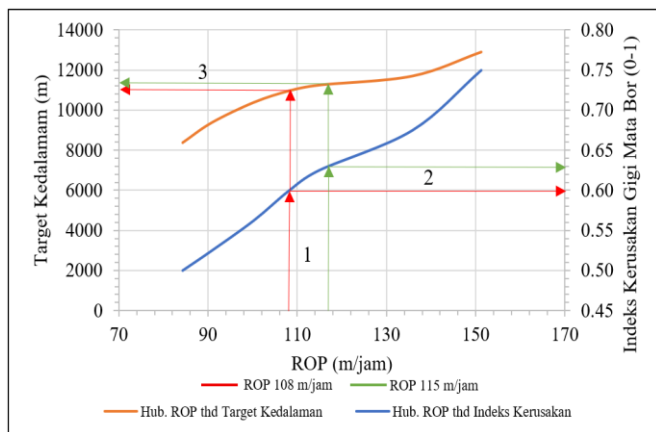
1.540	187	11.704	0,68
1.285	187	11.252	0,63
1.150	187	10.970	0,60
1.130	187	10.392	0,56
1.040	187	9.389	0,53
980	187	8.383	0,50

Setelah didapatkan kombinasi tersebut, kemudian Dilakukan trial menggunakan mata bor SC SN 7515811 dari tanggal 19 Maret hingga 8 April 2026 dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Prediksi Vs. Hasil *Trial*

Parameter	Prediksi	Aktual
Umur Mata Bor (m)	11.252 m	11.080 m
Skala Kerusakan Gigi (0-1)	0,63	0,59

Hasil *trial* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan umur mata bor sebesar 33,72% disbanding data historis mata bor sebelumnya sebesar 6.678,2 m. Skala kerusakan gigi juga mengalami penurunan dari skala 0,875 menjadi 0,59.



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai ROP Terhadap Indeks Kerusakan Mata Bor dan Target Kedalaman

Gambar 9 menampilkan hubungan antara parameter laju penetrasi terhadap indeks kerusakan struktur gigi mata bor dan target kedalaman berdasarkan metode Galle and Woods yang didapatkan dari hasil perhitungan iterasi Tabel 6. Grafik tersebut membandingkan dua skenario kecepatan pengeboran, yaitu 108 m/jam sebagai data pencapaian aktual selama operasional, dan 115 m/jam sebagai skenario apabila produktivitas pengeboran ditingkatkan.

Kurva berwarna biru mengindikasikan bahwa indeks kerusakan pada gigi mata bor berbanding lurus dengan kenaikan nilai ROP. Secara teoritis, nilai ROP umumnya dicapai melalui penambahan beban WOB yang berimplikasi pada pembesaran gaya kontak antara

komponen mata bor dan formasi batuan, sehingga memicu peningkatan laju keausan gigi (Galle & Woods, 1963). Di sisi lain, kurva berwarna oranye memperlihatkan bahwa target kedalaman juga berbanding lurus dengan kenaikan ROP. Kondisi ini terjadi karena durasi kontak efektif antara mata bor dan batuan per meter penetrasi menjadi lebih singkat, sehingga akumulasi rasio keausan per meternya menurun.

Berdasarkan interpretasi dari kedua kurva tersebut, terdapat pertimbangan dalam pengambilan keputusan operasional. Apabila pencapaian target kedalaman menjadi prioritas utama, maka nilai ROP perlu ditingkatkan melalui penambahan *pull-down pressure*, dengan konsekuensi terjadinya peningkatan laju kerusakan fisik pada mata bor. Sebaliknya, apabila operasional difokuskan pada pengendalian indeks kerusakan komponen, penerapan nilai ROP yang lebih rendah dapat dilakukan dengan konsekuensi penurunan target pencapaian kedalaman.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis evaluasi kerusakan mata bor dan penentuan kombinasi parameter operasional pengeboran menggunakan metode Galle and Woods pada area penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil *trial* terhadap analisa metode Galle and Woods pada mata bor SC berhasil mencapai umur mata bor aktual sebesar 11.080 m, melampaui target 10.800 m.
2. Prediksi skala kerusakan mata bor dengan metode Galle and Woods berhasil menurunkan tingkat kerusakan gigi mata bor SC dari 0,79 menjadi 0,59.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Apresiasi secara khusus ditujukan kepada Departemen Drill Blast dan para pembimbing lapangan di PT Kaltim Prima Coal atas kesempatan untuk melakukan penelitian operasional pengeboran Pit Bendili, serta Tim Sandvik Mining Contractor atas bantuan teknis selama penelitian berlangsung.

Referensi

- Alterman, J., Bennett, R., Cain, S., Cerkovnik, J., Danielson, O., & Gieck, J. (2000). IADC Drilling Manual eBook Version (V.11). International Association of Drilling Contractors.
- Departemen Drill and Blast PT Kaltim Prima Coal. (2026). Data Bit Records 2025–2026. Laporan Internal Perusahaan. Sangatta: PT Kaltim Prima Coal.
- Departemen Geoteknik PT Kaltim Prima Coal. (2026). Data Material Properties Pit Bendili: Kuat Tekan Uniaksial Batuan. Laporan Internal Perusahaan. Sangatta: PT Kaltim Prima Coal.
- Galle, E. M., & Woods, H. B. (1963). Best Constant Weight and Rotary Speed for Rotary Rock Bits. *Drilling and Production Practice*, 48-73. American Petroleum Institute.
- Halliburton. (2009). IADC Dull Grading for Roller Cone Drill Bit. Halliburton. <https://www.halliburton.com>
- IADC. (1992). IADC Dull Grading System for Tricone Bits. Houston: International Association of Drilling Contractors.
- Jimeno, C. L., Lopez, E., Carcedo, F. J. A., & Vidal Vigil, Y. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks*. A.A. Balkema.
- Schlumberger. (2018). Rock Compressive Strength Classification. Schlumberger Oilfield Glossary.
- Schlumberger. (2018). Schlumberger Smith Drilling Bit Module. Schlumberger.