



ANALISIS PENGARUH *SWING ANGLE* TERHADAP *CYCLE TIME* ALAT GALI MUAT PADA KEGIATAN *OVERBURDEN REMOVAL* DI PT KALIMANTAN PRIMA PERSADA, JOBSITE INDEXIM

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SWING ANGLE ON LOADING EQUIPMENT CYCLE TIME IN OVERBURDEN REMOVAL ACTIVITIES AT PT KALIMANTAN PRIMA PERSADA, INDEXIM JOBSITE

Samira Mustika Zahra^{1*}, Infantri Putra¹, Dian Eka Aryanti²

¹Program Studi Teknologi Pertambangan, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

Korespondensi: samiramustikazahra15@gmail.com

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

cycle time, produktivitas, *swing angle*, korelasi Karl Pearson, regresi linear sederhana.

Pengupasan *overburden* merupakan tahapan penting dalam kegiatan penambangan yang sangat dipengaruhi oleh kinerja alat gali muat. Di PT Kalimantan Prima Persada Jobsite Indexim, Komatsu PC 2000 merupakan alat gali muat dengan populasi terbanyak sehingga kinerjanya berdampak signifikan terhadap ketercapaian produksi. Salah satu parameter utama kinerja alat adalah *cycle time* yang terdiri dari *digging time*, *swing* muatan, *dumping*, dan *swing* kosong. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan masing-masing komponen waktu terhadap *cycle time*, menganalisis pengaruh *swing angle* terhadap *swing time*, serta menentukan rentang *swing angle* optimal untuk mencapai target *cycle time* dan produktivitas. Data primer diperoleh melalui observasi sebanyak 300 *cycle time*, pengukuran *swing angle*, dan *bucket fill factor*, sedangkan data sekunder meliputi target *cycle time* 28 detik, target produktivitas 812 bcm/jam, *swell factor*, dan efisiensi kerja. Analisis data dilakukan menggunakan uji normalitas, analisis korelasi Pearson, dan regresi linear sederhana.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *swing time* muatan memiliki hubungan paling kuat terhadap *cycle time* dengan koefisien korelasi 0,91 dan koefisien determinasi 0,82, diikuti oleh *digging time* dan *swing* kosong. *Swing angle* berpengaruh sangat signifikan terhadap *swing time*, dengan rekomendasi *swing angle* optimal per *passing* berada pada rentang 19–31°, 37–48°, dan 55–66° untuk menjaga *cycle time* tetap stabil dan mencapai target produksi.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Cycle Time, Productivity, Swing Angle, Pearson Correlation, Simple Linear Regression

Overburden removal is a critical stage in mining operations that is strongly influenced by the performance of loading equipment. At PT Kalimantan Prima Persada Jobsite Indexim, the Komatsu PC 2000 is the most widely used loading equipment, making its performance crucial to achieving production targets. One of the main performance indicators is cycle time, which consists of digging time, loaded swing time, dumping time, and empty swing time. This study aims to analyze the relationship between each time component and cycle time, examine the effect of swing angle on swing time, and determine the optimal swing angle range to achieve target cycle time and productivity. Primary data were obtained from observations of 300 cycle times, swing angle measurements, and bucket fill factor, while secondary data included a target cycle time of 28 seconds, target productivity of 812 bcm/hour, swell factor, and work efficiency. Data analysis was conducted using normality tests, Pearson correlation analysis, and simple linear regression. The results show that loaded swing time has the strongest correlation with cycle time, with a correlation coefficient of 0.91 and a determination coefficient of 0.82, followed by digging time and empty swing time. The swing angle has a highly significant effect on swing time, and optimal swing angle ranges of 19–31°, 37–48°, and 55–66° per passing are recommended to maintain stable cycle time and achieve production targets

1. PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi, dengan kegiatan pengupasan overburden sebagai tahap utama untuk membuka lapisan batubara. Produktivitas alat gali muat sangat menentukan keberhasilan pencapaian target produksi. Di PT Kalimantan Prima Persada Jobsite Indexim, Komatsu PC 2000 merupakan alat gali muat dengan populasi terbanyak yang digunakan untuk *overburden removal* sehingga kinerjanya berpengaruh signifikan terhadap produksi. Salah satu parameter yang memengaruhi kinerja alat adalah *cycle time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menggali, memuat, dan memindahkan material. Dalam *cycle time*, *swing time* menjadi komponen penting yang dipengaruhi oleh *swing angle*. Semakin besar *swing angle*, semakin lama *swing time* dan *cycle time*, sehingga dapat menurunkan produktivitas alat. Sebaliknya, *swing angle* yang lebih kecil dapat meningkatkan efisiensi kerja dan produktivitas alat gali muat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *swing angle* terhadap *cycle time* alat gali muat Komatsu PC 2000 serta memberikan rekomendasi

operasional untuk mengoptimalkan efisiensi kerja dan mendukung pencapaian target produksi di PT Kalimantan Prima Persada Jobsite Indexim.

1.1. Tujuan

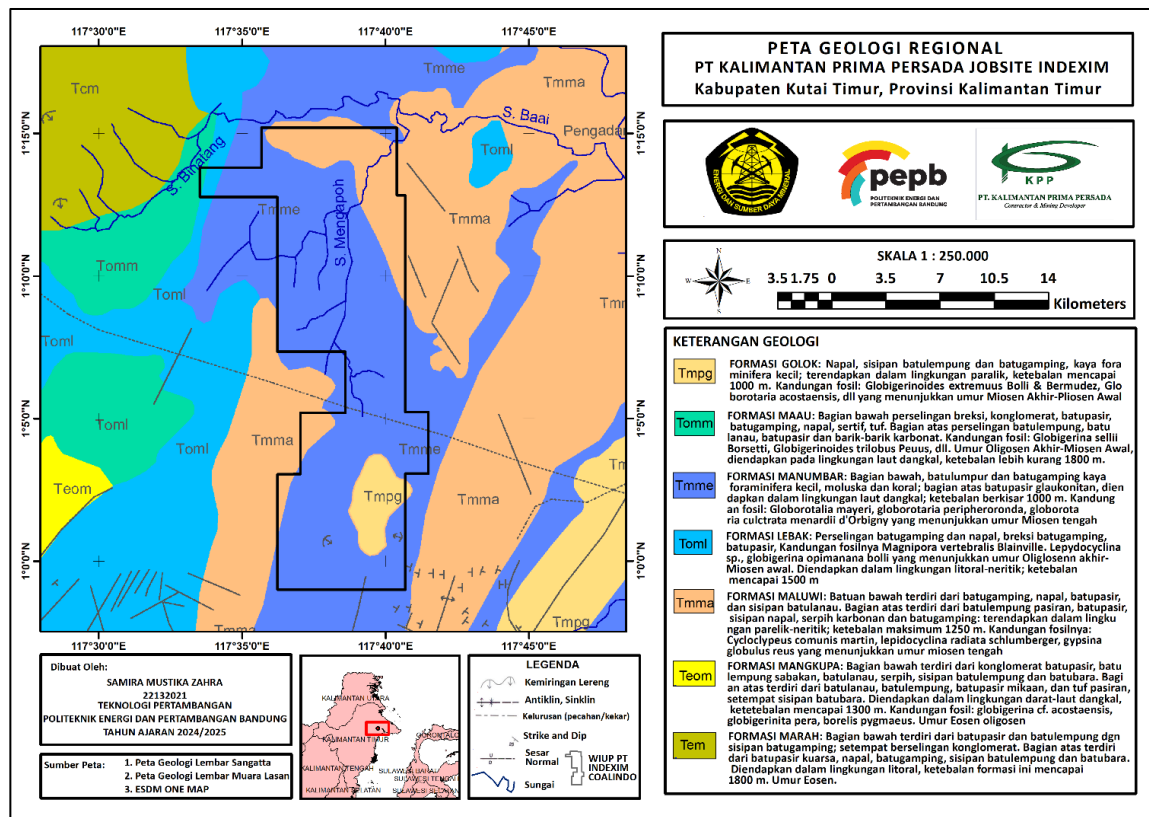
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan atau korelasi antara *swing angle* muatan, *swing angle* kosong, *digging time*, dan *dumping time* terhadap *cycle time* secara keseluruhan dengan menggunakan analisis korelasi Karl Pearson. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh *swing angle* muatan dan *swing angle* kosong terhadap *swing time* melalui pendekatan regresi linear sederhana. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan untuk memberikan rekomendasi rentang *swing angle* optimal guna meningkatkan efisiensi *cycle time* serta produktivitas alat gali muat pada kegiatan *overburden removal*.

1.2. Kesampaian Daerah

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Sangatta dan Lembar Muara Lasan (Gambar 1), wilayah kerja PKB2B PT Indexim Coalindo tersusun oleh tiga formasi batuan utama, yaitu Formasi

Manumbar, Formasi Maluwi, dan Formasi Golok. Ketiga formasi ini memiliki karakteristik litologi dan umur geologi yang berbeda. Wilayah penelitian ini berada dalam satuan stratigrafi Cekungan Kutai bagian utara (*Northern Runtu*) dan tercakup dalam Peta Geologi Bersistem Indonesia lembar Sangatta, yang disusun oleh Sukardi, dkk pada

tahun 1995 serta dipublikasikan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (PPPG) Bandung di tahun yang sama. Menurut kolom stratigrafi umum yang terdapat pada Peta Geologi Lembar Sangatta (Sukardi, N., & dkk., 1995), urutan stratigrafi di Cekungan Kutai bagian utara dari yang tertua hingga termuda ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

dianalisis menggunakan analisis korelasi terlebih dahulu untuk mengidentifikasi variabel yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap *cycle time* alat gali muat. Setelah itu, dilakukan *analisis regresi linear sederhana* dengan bantuan *Microsoft Excel* untuk mengetahui sejauh mana pengaruh *swing angle* muatan dan kosongan terhadap *swing time* muatan dan kosongan. Sebagai langkah akhir, berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, penulis merumuskan rekomendasi mengenai rentang *swing angle*

yang optimal, dengan tujuan mempercepat *cycle time*, sehingga mendukung pencapaian target produktivitas alat gali muat secara lebih efisien.

2. 3 Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang berkaitan dengan pengaruh sudut *swing* produktivitas alat gali muat telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Ringkasan dari penelitian tersebut disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Referensi Penelitian Sebelumnya

No	Nama Peneliti, Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Rivaldi Auditya Sudarmadji, 2023. Pengaruh <i>Swing Angle</i> terhadap Produktivitas Alat Gali Muat pada Kegiatan Penambangan Andesit di PT Lotus SG Lestari)	1. Mengetahui produktivitas berdasarkan sudut <i>swing angle</i> .	Observasi lapangan, pengukuran <i>cycle time</i> , analisis efisiensi, simulasi menggunakan <i>software Talpac</i>	Produktivitas meningkat dari 713,57 ton/jam menjadi 900,71 ton/jam setelah evaluasi.
		2. Mengetahui evaluasi untuk mengurangi sudut <i>swing angle</i> .		Optimasi sudut <i>swing</i> terbukti meningkatkan efisiensi kerja dari 72% menjadi 82%.
		3. Mengetahui produktivitas setelah evaluasi.		Hasil simulasi <i>Talpac</i> mendekati hasil aktual.
		4. Mengetahui produktivitas berdasarkan <i>software Talpac</i> .		
2	Muhammad Rafi Basuki Putra, 2023 Analisis Korelasi <i>Swing Angle</i> terhadap Produktivitas <i>Excavator</i> di PT Gunung Bumi Perkasa	1. Mengetahui korelasi antara <i>swing angle</i> dan produktivitas.	Analisis korelasi dengan SPSS (R^2), observasi lapangan, perhitungan teoritis dan dengan <i>software bantu</i>	Koefisien korelasi R^2 sebesar 96,8%, menunjukkan pengaruh kuat dari sudut <i>swing angle</i> .
		2. Mengetahui pengaruh metode pemuatan (<i>top loading</i> terhadap <i>bottom loading</i>).		Metode <i>top loading</i> dengan sudut 45° menghasilkan produktivitas tertinggi (117 lcm/jam).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengumpulan Data

Peneliti menggunakan alat dan bahan untuk proses pengambilan data, pengolahan data, dan penyusunan laporan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. *Stopwatch*, digunakan untuk menghitung *cycle time* alat gali muat.
2. *Drone*, digunakan untuk dokumentasi foto dan video di lapangan.
3. *Software ArcGis*, digunakan untuk membuat peta, yaitu peta kesampaian daerah.
4. *Microsoft Excel*, digunakan untuk mengelompokkan data, dan mengolah data hasil penelitian.

Berikut adalah data primer dan sekunder yang diperoleh oleh peneliti, diantaranya:

1. Data Primer

a. Kondisi *Front*

Kegiatan *overburden removal* di Pit Tempudo 2 menggunakan 11 *fleet* pada bulan Januari 2025. Masing-masing *fleet* menggunakan alat gali muat yang berbeda, dan dijelaskan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Sebaran Alat Gali Muat di Pit Tempudo 2

Alat Gali Muat	<i>Equipment Number</i>
Komatsu PC 1250	EX2029, EX2047, EX2049, EX2508

Komatsu PC 2000	EX3003, EX3005, EX3007, EX3013, EX3016, EX3017, EX3020
Komatsu PC 2600	EX4001

(Sumber: PT KPP)

Dari 11 *fleet* peneliti akan mengamati *fleet* alat gali muat Komatsu PC 2000 saja. Berdasarkan pengamatan di lapangan, area *front* kerja dari *fleet* EX3020 terlihat bergelombang (*undulating*) dan material yang berserakan, sehingga memerlukan bantuan alat *supporting bulldozer* untuk membersihkan area *front*. Area *front* memiliki lebar standar, yaitu >35m.



Gambar 4. Kondisi *Front* EX3020

a. Material

Material yang menjadi objek penelitian yaitu *clay* yang berasal dari hasil kegiatan peledakan, (sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Data sebaran material *clay* dapat dilihat dalam Tabel 3.



Gambar 5. Material *Clay* Hasil *Blasting*

Tabel 3. Sebaran Material *Overburden* Pit Tempudo 2

<i>Eqnum</i>	Kapasitas Alat (PERE) (BCM)	Material (BCM)	
		<i>Clay</i>	<i>Sand</i>
EX3003	358.705	286.964	71.741
EX3005	376.531	301.225	74.306
EX3007	340.570	272.456	68.114
EX3013	367.610	367.610	
EX3016	331.322	231.926	99.397
EX3017	344.201	206.521	137.680
EX3020	367.610	367.610	
SUBTOTAL		2.375.248	733.61
Presentase Jenis Material		82 %	18%

b. *Cycle Time* Alat Gali Muat

Cycle time alat gali muat didapatkan melalui 300 kali observasi di Pit Tempudo 2. Berikut merupakan hasil *cycle time* rata-rata pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. *Cycle Time* Alat Gali Muat

<i>Digging time</i> Rata-rata (detik)	11,92
<i>Swing time</i> Muatan Rata-rata (detik)	8,05
Dumping time Rata-rata (detik)	3,61
<i>Swing time</i> Kosongan Rata-rata (detik)	6,43
<i>Cycle Time</i> Rata-rata (detik)	30,01

c. *Bucket Fill Factor* (BFF)

Dilakukan 300 kali perolehan data pada bulan Januari 2025, diperoleh hasil *bucket fill factor* secara rata-rata adalah 95%, maka termasuk ke dalam *average* (*excavating natural ground of soil such as sandy and dry soil*) dan *rather difficult* (*excavating natural ground of sandy soil with gravel*).

d. *Swing angle* Muatan dan Kosongan

Hasil observasi lapangan pada 300 data yang dikumpulkan selama Januari 2025 menunjukkan rata-rata *swing angle* muatan dan kosongan untuk setiap *fleet*, sebagaimana disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data *Swing angle* Muatan dan Kosongan Rata-rata per *Fleet*

<i>Fleet</i>	<i>Swing angle</i> Muatan (°) (rata-rata)	<i>Swing angle</i> Kosongan (°) (rata-rata)
EX3003	57,11	57,11
EX3005	57,50	57,50
EX3007	57,66	57,66
EX3013	57,25	57,25

EX3016	57,62	57,62
EX3017	57,50	57,50
EX3020	57,94	57,94

2. Data Sekunder

a. Target *cycle time* dan target produktivitas alat gali muat Komatsu PC 2000 di PT Kalimantan Prima Persada *Jobsite* Indexim adalah 28 detik dan 812 BCM/jam

b. Faktor Pengembangan Material (*Swell Factor*). Perusahaan menetapkan *swell factor* sebesar 1,2. Ini berarti volume material akan bertambah sekitar 20% saat

digali atau dipindahkan. Material dengan *swell factor* biasanya memiliki kerapatan sedang, seperti tanah lempung atau material yang agak longgar tetapi masih cukup padat.

c. Efisiensi Kerja menggunakan acuan yang sudah ditetapkan oleh perusahaan, yaitu sebesar 83%.

3.2. Pengolahan Data

Data yang diperoleh, baik primer maupun sekunder, diinput ke dalam *Microsoft Excel* dan disusun dalam bentuk tabel. Selanjutnya, data dikelompokkan sesuai dengan kebutuhan analisis dan perhitungan.

1. Analisis Korelasi. Data meliputi *dumping time*, *swing time* muatan,

swing time kosongan, dan *cycle time*.

Tujuan analisis adalah mengidentifikasi faktor yang memiliki hubungan paling signifikan terhadap *cycle time*.

2. Analisis Regresi Linear Sederhana. Analisis dilakukan untuk menentukan besarnya pengaruh *swing time* muatan terhadap *swing angle* muatan.
3. Perhitungan Produktivitas. Data yang dikelompokkan untuk perhitungan produktivitas meliputi kapasitas *bucket*, *bucket fill factor* (%), *swell factor* (%), *cycle time*, dan efisiensi kerja (%). Perhitungan dilakukan sesuai dengan rumus produktivitas guna memperoleh hasil yang akurat.

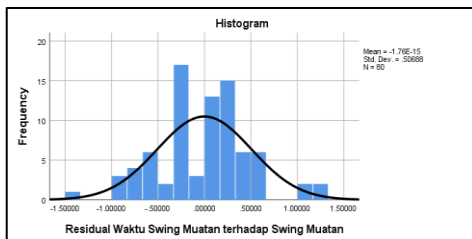
3.3. Analisis dan Pembahasan Data

1. Uji Normalitas Data

Data diuji normalitasnya untuk memastikan apakah dapat dianalisis menggunakan metode statistik parametrik. Tabel 6 dan 7 menyajikan hasil uji normalitas data residual dilihat dari hasil kemencengan (*skewness*) dan kurtosisnya, Gambar 6 dan 7 menampilkan histogram untuk menggambarkan distribusi data residual normal secara visual.

Tabel 6. Hasil Uji Normalitas Data Residual *Swing Time* Muatan terhadap *Swing Angle* Muatan

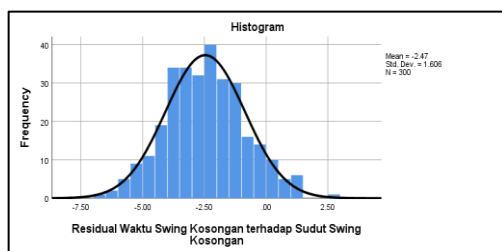
Statistics		
Residual <i>Swing Time</i> Muatan terhadap <i>Swing Angle</i> Muatan		
N	<i>Valid</i>	300
	<i>Missing</i>	0
<i>Skewness</i>		0,005
<i>Std. Error of Skewness</i>		0,269
<i>Kurtosis</i>		0,513
<i>Std. Error of Kurtosis</i>		0,532



Gambar 6. Histogram Residual *Swing Time* Muatan terhadap *Swing Angle* Muatan

Tabel 7. Hasil Uji Normalitas Data Residual *Swing Time* Kosongan terhadap *Swing Angle* Kosongan

Statistics		
Residual <i>Swing Time</i> Kosongan terhadap <i>Swing Angle</i> Kosongan		
N	<i>Valid</i>	300
	<i>Missing</i>	0
<i>Skewness</i>		0,134
<i>Std. Error of Skewness</i>		0,141
<i>Kurtosis</i>		-0,075
<i>Std. Error of Kurtosis</i>		0,281



Gambar 7. Histogram Residual *Swing Time* Kosongan terhadap *Swing Angle* Kosongan

Hasil uji normalitas pada data *residual swing time* muatan terhadap *swing angle* muatan menunjukkan nilai *skewness* 0,005 dan *kurtosis* 0,513, mengindikasikan distribusi bersifat normal karena mendekati nol. Kemudian, visualisasi *histogram* juga menunjukkan pola kurva lonceng, sehingga data berdistribusi normal. (Hajarisman & Herlina, 2022)

Selanjutnya, pada data *swing time time* kosongan terhadap *swing angle* kosongan diperoleh nilai *skewness* 0,134 dan *kurtosis* -0,075, yang keduanya mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi data bersifat simetris dan mendekati distribusi normal (*mesokurtik*). (Hajarisman & Herlina, 2022). Kurva *histogram* juga menunjukkan pola normal, sehingga data *residual* dapat disimpulkan berdistribusi normal dan layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan korelasi dan regresi linear.

2. Analisis Korelasi

Penjabaran lengkap mengenai perhitungan korelasi disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut yang menggambarkan tingkat keeratan hubungan antar variabel.

Tabel 1 Koefisien Korelasi (r) dan Koefisien Determinasi (r²) Masing-masing Variabel X

Variabel	<i>Digging time</i> terhadap <i>Cycle Time</i>	<i>Swing time</i> Muatan terhadap <i>Cycle Time</i>	Dumping time terhadap <i>Cycle Time</i>	<i>Swing time</i> Kosongan terhadap <i>Cycle Time</i>
Koefisien Korelasi (r)	0,55	0,91	0,02	0,53
Keeratan Korelasi	Sedang	Sangat Kuat	Sangat Lemah	Sedang
Koefisien Determinasi (r ²)	0,3	0,82	0,001	0,28

Tabel 2 Hasil t table Analisis Korelasi

Variabel	t hitung	t table	Kesimpulan
<i>Digging time</i> terhadap <i>Cycle Time</i>	11,22	1,65	t hitung > t table, maka kesimpulannya terdapat hubungan signifikan antara <i>digging time</i> dengan <i>cycle time</i>
<i>Swing time</i> Muatan terhadap <i>Cycle Time</i>	37,29	1,65	t hitung > t table, maka kesimpulannya terdapat hubungan signifikan antara <i>swing time</i> muatan dengan <i>cycle time</i>
Dumping time terhadap <i>Cycle Time</i>	0,39	1,65	t hitung < t table, maka kesimpulannya tidak terdapat hubungan signifikan antara dumping time dengan <i>cycle time</i>
<i>Swing time</i> Kosongan terhadap <i>Cycle Time</i>	10,82	1,65	t hitung > t table, maka kesimpulannya terdapat hubungan signifikan antara <i>swing time</i> kosongan dengan <i>cycle time</i>

Berdasarkan hasil analisis korelasi, dapat disimpulkan faktor yang paling berpengaruh terhadap *cycle time* alat gali muat adalah *swing time* muatan, dengan koefisien korelasi sangat kuat ($r = 0,91$), diikuti oleh *swing time* kosongan menunjukkan keeratan korelasi sedang ($r = 0,53$). *Swing time* muatan tidak hanya dipengaruhi oleh *swing angle*, tetapi juga pergerakan *arm boom* setelah proses *digging*. Setelah material tergali, operator perlu mengangkat dan mengayunkan *arm*

boom memindahkan *bucket* ke arah alat angkut. Hal ini menambah durasi *swing time* muatan karena tergantung pada seberapa tinggi dan jauh *bucket* harus diangkat sebelum diarahkan ke alat angkut (Indonesianto, 2005). Demikian pula, *swing time* kosongan dipengaruhi oleh pergerakan *arm boom* setelah *dumping*, setelah material dibuang ke alat angkut, operator menurunkan *bucket* dan mengembalikan *boom* ke posisi penggalian.

Selanjutnya, *digging time* menunjukkan korelasi sedang terhadap *cycle time* ($r = 0,55$) meskipun kondisi operasional dalam penelitian ini telah dibatasi, yaitu jenis alat yang sama (Komatsu PC 2000), kompetensi operator kelas *expert*, pola pemuatan *top loading* dan *single back up*, kondisi mesin optimal, dan material yang seragam (*clay* hasil *blasting*). Hal ini menunjukkan variabilitas *digging time* kemungkinan besar disebabkan oleh perbedaan posisi material ketika alat gali muat melakukan reposisi di *front* kerja.

Kemudian, *dumping time* menunjukkan korelasi sangat lemah terhadap *cycle time* ($r = 0,02$), yang mengindikasikan proses *dumping* relatif konstan dan tidak menjadi faktor signifikan dalam memengaruhi *cycle time* karena proses *dumping* berlangsung dalam durasi yang singkat dan cenderung konstan. Selain itu, kontribusi dominan terhadap *cycle time* lebih banyak berasal dari aktivitas seperti *swing* muatan dan kosongan yang memiliki variasi data lebih besar.

3. Analisis Regresi Linier Sederhana

Berikut hasil analisis regresi linear sederhana antara *swing time* muatan dan kosongan terhadap *swing angle* muatan dan kosongan

Tabel 3 Hasil Analisis Regresi Linear Sederhana

Kategori	<i>Swing time</i> Muatan terhadap <i>Swing angle</i> Muatan		<i>Swing time</i> Kosongan terhadap <i>Swing angle</i> Kosongan
Konstanta (a)	2,35		3,95
Koefisien (b)	0,09		0,04
Persamaan Regresi	$Y1 = 2,35 + 0,09X1$		$Y2 = 3,95 + 0,04X2$
Koefisien Korelasi (r)	0,98	(Sangat Kuat)	0,98 (Sangat Kuat)
Koefisien Determinasi (r^2)	0,96		0,96
Std. Error	0,37		1,27

Hubungan *swing time* muatan ($Y1$) terhadap *swing angle* muatan ($X1$) menghasilkan persamaan regresi $Y1 = 2,357 + 0,099X1$. Sementara itu, hubungan *swing time* kosongan ($X2$) terhadap *swing angle* kosongan menghasilkan persamaan regresi $Y2 = 3,959 + 0,043X2$. Persamaan ini dapat dijadikan sebagai alat simulasi untuk menentukan estimasi *swing time* berdasarkan *swing angle* tertentu, yang selanjutnya dapat digunakan untuk merancang *swing angle* aman dan efisien guna mencapai target *cycle time* dan produktivitas alat gali muat. Misalnya, jika dilakukan simulasi terhadap *swing angle* muatan dan *swing* kosongan masing-masing sebesar 0° dan 1° , maka hasilnya adalah

sebagai Tabel 11 berikut.

Tabel 4 Contoh Simulasi Perhitungan Persamaan Regresi Linear Sederhana

<i>Swing angle</i> (X) (°)	0	1
Persamaan Regresi <i>Swing time</i> Muatan terhadap <i>Swing angle</i> Muatan	$Y_1 = 2,35 + 0,09(0)$	$Y_1 = 2,35 + 0,09(1)$
Hasil Simulasi Perhitungan (detik)	$Y_1 = 2,35$	$Y_1 = 2,45$
Persamaan Regresi <i>Swing time</i> Kosongan terhadap <i>Swing angle</i> Kosongan	$Y_2 = 3,95 + 0,04(1)$	$Y_2 = 3,95 + 0,04(0)$
Hasil Simulasi Perhitungan (detik)	$Y_2 = 3,95$	$Y_2 = 4,00$

Perlu diperhatikan bahwa ketika *swing angle* adalah 0°, *swing time* tetap menghasilkan nilai konstanta (a) yang tidak nol. Nilai konstanta (a) dalam persamaan regresi tersebut merepresentasikan waktu minimum atau waktu dasar yang dibutuhkan untuk memulai dan mengakhiri *swing time*. Oleh sebab itu, nilai konstanta ini harus tetap diperhitungkan dalam simulasi secara matematis, agar estimasi waktu dan desain produktivitas tetap akurat dan mencerminkan kondisi nyata berdasarkan data aktual.

Koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,96 menunjukkan bahwa 96 % variasi *swing time* dijelaskan oleh *swing angle*, dengan koefisien korelasi (r) = 0,98 yang

menunjukkan hubungan sangat kuat dan searah. Nilai r^2 sebesar 0,96 dan $r = 0,98$ juga menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara kedua variabel ini (Hajarisman & Herlina, 2022)

4. Perbandingan Kinerja Aktual dan Hasil Prediksi

Berdasarkan observasi 300 data, rata-rata *cycle time* aktual adalah 30,01 detik. Hal ini disebabkan oleh kebiasaan operator yang menggunakan *swing angle* yang besar (modus hingga 80° pada passing tertentu).

Menggunakan persamaan regresi $Y_1 = 2,35 + 0,09X_1$ dan $Y_2 = 3,95 + 0,04X_2$, diprediksi bahwa jika *swing angle* rata-rata dijaga pada 45°, maka *cycle time* akan turun menjadi 28 detik (sesuai target perusahaan) Selisih sebesar 2,01 detik antara data aktual dan prediksi menunjukkan adanya potensi peningkatan efisiensi sebesar ±6,7%. Nilai r^2 sebesar 0,96 memberikan keyakinan tinggi bahwa pengurangan *swing angle* secara konsisten di lapangan akan memberikan hasil yang sangat mendekati prediksi simulasi ini

5. Rekomendasi Rentang *Swing Angle* Optimal

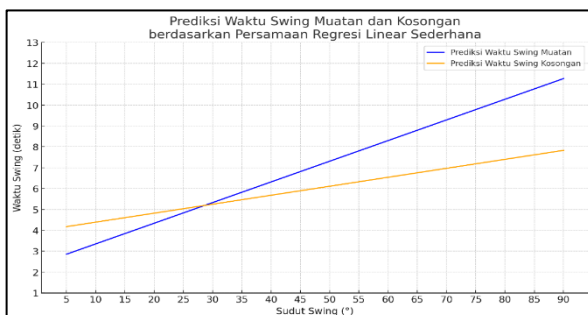
Rekomendasi disusun berdasarkan tiga pendekatan. Pada pendekatan pertama dilakukan dengan menganalisis distribusi

swing angle aktual dari operator. Temuan ini menunjukkan bahwa kecenderungan operator dalam mengoperasikan alat berat secara aktual masih belum mencapai rentang *swing angle* sesuai *digging* sekuens (lihat Tabel 12).

Tabel 12 Data Modus *Swing Angle* Passing 1-5

Passing ke-	Modus <i>Swing Angle</i> (°)
1	80
2	30
3	40
4	65
5	75

Pada pendekatan kedua, simulasi sudut 1°–90° menunjukkan bahwa *swing time* meningkat rata-rata 0,09 detik/derajat untuk *swing* muatan dan 0,04 detik/derajat untuk *swing* kosongan.



Gambar 8 Prediksi *Swing Time* Muatan dan Kosongan

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa grafik prediksi *swing time* muatan (Y_1) dan *swing time* kosongan (Y_2) berdasarkan *swing angle* membentuk dua garis regresi linear yang berbeda kemiringan. Persamaan regresi

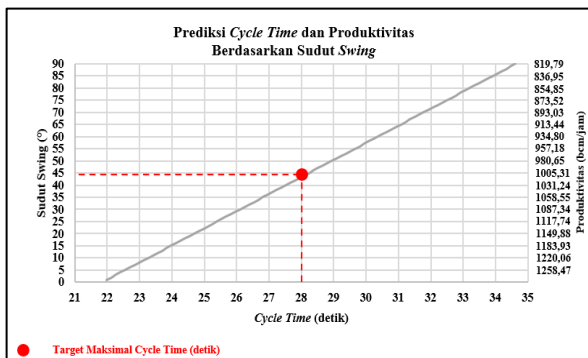
menunjukkan bahwa hubungan antara *swing angle* dan *swing time* bersifat linear positif.

Terjadi perpotongan antara garis Y_1 dan Y_2 pada kisaran *swing angle* sekitar 30° yang menandakan bahwa pada sudut kurang dari 30°, *swing time* kosongan lebih besar daripada *swing time* muatan. Hal ini disebabkan oleh nilai konstanta Y_2 (3,95) yang lebih tinggi dibandingkan konstanta Y_1 (2,35). Namun, karena koefisien regresi (b) pada Y_1 (0,09) lebih besar daripada Y_2 (0,04), maka laju peningkatan *swing time* muatan lebih cepat seiring bertambahnya *swing angle*. Akibatnya, pada *swing angle* yang lebih besar dari 30°, *swing time* muatan akan melampaui *swing time* kosongan.

Kemiringan garis Y_1 yang lebih tajam mencerminkan bahwa aktivitas *swing* muatan lebih sensitif terhadap perubahan sudut. Hal ini logis secara operasional karena ayunan alat saat membawa muatan memerlukan kestabilan dan kecepatan tertentu untuk menjaga keseimbangan, sehingga waktu yang dibutuhkan meningkat lebih signifikan ketika sudut membesar. Sebaliknya, *swing time* kosongan (Y_2) tidak dibebani oleh muatan, sehingga perubahannya terhadap sudut lebih lambat dan menghasilkan grafik yang lebih landai.

Kemudian, perlu dicatat bahwa pada grafik Y_1 dan Y_2 , prediksi *swing time* dengan

swing angle kurang dari 30° bersifat tidak realistis secara operasional. Hal ini disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, pada data aktual di lapangan, *swing angle* terkecil yang tercatat adalah 30°, sehingga tidak terdapat data empiris yang dapat mendukung akurasi prediksi di bawah sudut tersebut. Akibatnya, model regresi yang digunakan pada area tersebut merupakan hasil prediksi dari data yang tidak terobservasi, sehingga tingkat validitas data rendah. Kedua, keterbatasan ini juga dipengaruhi oleh kemungkinan *human error* dalam proses pengambilan data, seperti kesalahan pencatatan atau ketidaktepatan dalam pengukuran *swing angle*.



Gambar 9 Prediksi *Swing Angle* dan Produktivitas Berdasarkan *Swing Angle*

Kemudian, Gambar 9 menampilkan hasil prediksi *cycle time* dan produktivitas berdasarkan *swing angle* (1°–90°). Pada target *cycle time* 28 detik, diperoleh produktivitas sebesar 1005,31 bcm/jam dengan *swing angle* 45°. Hasil produktivitas dari maksimal target *cycle time* tersebut

masih berada di atas target produktivitas yang ditetapkan, yaitu 812 bcm/jam. Hasil perhitungan dari prediksi *cycle time* dan produktivitas tersebut lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13 Hasil Prediksi *Swing time* Muatan dan *Swing* Kosongan

Sudut <i>Swing</i> Muatan (°)	Prediksi Waktu <i>Swing</i> Muatan (detik)	Sudut <i>Swing</i> Kosongan (°)	Prediksi Waktu <i>Swing</i> Kosongan (detik)	<i>Cycle Time</i> (detik)	Produktivitas (bcm/jam)
5	2,85	5	4,17	22,56	1258,47
10	3,35	10	4,39	23,27	1220,06
15	3,84	15	4,60	23,98	1183,93
20	4,34	20	4,82	24,69	1149,88
25	4,83	25	5,03	25,40	1117,74
30	5,33	30	5,25	26,11	1087,34
35	5,82	35	5,46	26,82	1058,55
40	6,32	40	5,68	27,53	1031,24
45	6,81	45	5,89	28,24	1005,31
50	7,31	50	6,11	28,95	980,65
55	7,80	55	6,32	29,66	957,18
60	8,30	60	6,54	30,37	934,80
65	8,79	65	6,75	31,08	913,44
70	9,29	70	6,97	31,79	893,03
75	9,78	75	7,18	32,50	873,52
80	10,28	80	7,40	33,21	854,85
85	10,77	85	7,61	33,92	836,95
90	11,27	90	7,83	34,63	819,79

Dalam prediksi ini, digunakan acuan target *cycle time* 28 detik. Pemilihan target *cycle time* sebagai dasar simulasi dilakukan karena hasil analisis menunjukkan bahwa target produktivitas tetap dapat tercapai bahkan pada *swing angle* maksimal (90°). Dengan demikian, acuan menggunakan target *cycle time* dianggap lebih relevan untuk menjaga efisiensi waktu kerja alat. Selain itu, karena penelitian ini berfokus pada material *overburden*, maka semakin besar volume material yang dipindahkan, semakin cepat pula proses pengupasan berlangsung. Hal ini akan berdampak langsung pada percepatan akses terhadap lapisan batubara.

Pada pendekatan kedua, *swing angle* untuk *passing* ke-1 dan *passing* ke-2 ditetapkan secara tetap, sementara *swing angle* untuk *passing* ke-3 hingga *passing* ke-5 diatur dalam rentang tertentu. Pengaturan ini bertujuan untuk menjaga kerapian bentuk jenjang (*bench*) selama proses pemuatan material (*loading*). Simulasi dilakukan berdasarkan kondisi optimal yang merepresentasikan situasi lapangan. Adapun ketentuan-ketentuan yang digunakan dalam simulasi *swing angle* optimal dijelaskan sebagai berikut.

Keterangan	Detail
Jenis Alat	<i>Excavator</i> Komatsu PC 2000
Kondisi Pola Pemuatan	<i>Top Loading</i> dan <i>Single Back Up</i>
Kondisi Operator	Kompetensi Operator <i>Expert</i>
Kondisi Mesin	<i>RPM</i> dan <i>Pressure Pump</i> Optimal
Kondisi Material	Hasil <i>Blasting</i> , jenis <i>Clay</i>
<i>Passing</i> ke-1	90° (Tetap)
<i>Passing</i> ke-2	0° (Tetap)
<i>Passing</i> ke-3	Diatur pada rentang 19°–36°
<i>Passing</i> ke-4	Diatur pada rentang 27°–54°
<i>Passing</i> ke-5	Diatur pada rentang 55°–72°

Rentang kombinasi *swing angle* untuk *passing* 3 hingga *passing* 5 dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu kategori rendah,

sedang, dan tinggi. Masing-masing kategori memiliki rentang *swing angle* tersendiri yaitu sebagai berikut.

Tabel 15 Kategori Rentang *Swing angle* untuk Simulasi

<i>Passing</i>	Kategori	Rentang <i>Swing angle</i>
<i>Passing</i> ke-3	Rendah	19°–24°
	Sedang	25°–30°
	Tinggi	31°–36°
<i>Passing</i> ke-4	Rendah	37°–42°
	Sedang	43°–48°
	Tinggi	49°–54°
<i>Passing</i> ke-5	Rendah	55°–60°
	Sedang	61°–66°
	Tinggi	67°–72°

Setiap kategori *swing angle* pada *passing* ke-3, 4, dan 5 dibagi dalam rentang 6°, lalu diuji menggunakan interval per 1°, sehingga masing-masing *passing* memiliki 6 nilai sudut. Seluruh nilai tersebut dikombinasikan satu sama lain (6 x 6 x 6) menghasilkan 216 kombinasi dalam satu simulasi. Terdapat tiga kategori (rendah, sedang, tinggi), sehingga total kombinasi simulasi yang dihasilkan adalah 216 x 3 (648) kombinasi. Seluruh kombinasi ini dianalisis untuk menentukan apakah rata-rata *swing angle* dari *passing* ke-1 hingga 5 memenuhi batas aman, yaitu $\leq 45^\circ$.

Hasil simulasi dari 648 kombinasi pada *passing* 3 hingga *passing* 5, rata-rata *swing angle* dan status keamanannya dapat dijelaskan oleh Tabel 16.

Tabel 16 Simulasi Rentang *Swing angle* Optimal

Simulasi	Rentang <i>Swing angle Optimal Passing</i> ke-3	Rentang <i>Swing angle Optimal Passing</i> ke-4	Rentang <i>Swing angle Optimal Passing</i> ke-5	Rata-rata <i>Swing angle</i>	Status
Simulasi 1 (Rendah)	19°–24°	37°–42°	55°–60°	42,70	Aman
Simulasi 2 (Sedang)	25°–30°	43°–48°	61°–66°	44,55	Aman
Simulasi 3 (Tinggi)	31°–36°	49°–54°	67°–72°	48,9	Tidak Aman

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, rentang *swing angle* optimal dapat ditentukan. Adapun hasil lengkapnya disajikan oleh Tabel 17.

Tabel 17 Rentang *Swing angle* Optimal

<i>Passing</i>	Rentang Sudut Optimal (°)
<i>Passing</i> 1	90 (tetap)
<i>Passing</i> 2	5 (tetap)
<i>Passing</i> 3	19–30
<i>Passing</i> 4	37–48
<i>Passing</i> 5	55–66

Setelah dilakukan tiga kali simulasi pendekatan, hasil analisis yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Pendekatan pertama menunjukkan bahwa modulus *swing angle* pada masing-masing *passing* belum mencapai rentang yang optimal. Sebagai contoh, pada *passing* ke-1 hingga ke-5, modulus *swing angle* berkisar antara 30° hingga 80°, yang berarti operator masih cenderung menggunakan sudut yang

tidak sesuai dengan sekuens *digging* yang diatur perusahaan.

b. Pendekatan kedua menunjukkan bahwa *swing angle* 45° menghasilkan produktivitas 1005,31 bcm/jam dengan *cycle time* tepat pada batas target yaitu 28 detik. Persamaan regresi juga menunjukkan bahwa semakin besar *swing angle*, *swing time* akan meningkat secara linear, terutama pada saat membawa muatan. Maka dari itu, sudut sekitar 45° adalah *swing angle* rata-rata optimal dilihat dari pencapaian target *cycle time* produktivitas.

c. Pendekatan ketiga dilakukan simulasi terhadap 648 kombinasi *swing angle* pada *passing* ke-3, ke-4, dan ke-5 dengan mempertimbangkan kondisi aktual lapangan dan teknik *loading* yang rapi. Diperoleh rentang *swing angle* optimal untuk masing-masing *passing*, yaitu:

a) *Passing* ke-1: 90° (tetap)

b) *Passing* ke-2: 5° (tetap)

- c) *Passing* ke-3: 19°–30°
- d) *Passing* ke-4: 37°–48°
- e) *Passing* ke-5: 55°–66°

4. KESIMPULAN DAN SARAN

sebagai berikut:

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa *swing* muatan memiliki pengaruh paling kuat terhadap *cycle time*, dengan koefisien korelasi (r) 0,91 dan koefisien determinasi (r^2) 0,82 (sangat kuat). *Digging time* ($r = 0,55$; $r^2 = 0,30$) dan *swing* kosong ($r = 0,53$; $r^2 = 0,28$) memiliki hubungan sedang terhadap *cycle time*. Sementara itu, *dumping time* menunjukkan hubungan sangat lemah ($r = 0,02$; $r^2 = 0,001$). Ini membuktikan bahwa *swing time* muatan dan *swing* kosong merupakan faktor yang paling berhubungan dengan *cycle time*.
2. Hasil regresi linear sederhana menunjukkan adanya pengaruh signifikan antara *swing angle* terhadap *swing time*, baik untuk muatan maupun kosong. Persamaan regresi yang diperoleh masing-masing adalah $Y_1 = 2,35 + 0,09X_1$ untuk *swing muatan* dan $Y_2 = 3,95 + 0,04X_2$ untuk *swing kosong*, dengan nilai koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi (r^2) yang tinggi, yaitu di atas 0,96. Hal ini menunjukkan bahwa *swing angle* secara

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan oleh penulis pada Bab IV, kesimpulan yang dapat diperoleh adalah

- langsung memengaruhi lamanya *swing time*, sehingga perubahan sudut berperan penting terhadap *cycle time*.
- 3. Target *cycle time* sebesar 28 detik dan produktivitas 812 bcm/jam dapat dicapai dengan menjaga *swing angle* dalam rentang optimal, yaitu pada *passing* ke-3 antara 19–30°, *passing* ke-4 antara 37–48°, dan *passing* ke-5 antara 55–66°. Sementara itu, untuk *passing* ke-1 dan ke-2, *swing angle* masing-masing dipertahankan pada 90° dan 5° guna menjaga kerapian bentuk jenjang. Kemudian, analisis distribusi *swing angle* aktual dari operator menunjukkan bahwa nilai modus *swing angle* pada *passing* ke-1 hingga ke-5 mengalami variasi, masing-masing yaitu sebesar 80°, 30°, 40°, 65°, dan 75. Variasi ini menunjukkan bahwa kebiasaan operator dalam mengoperasikan alat masih berada di luar rentang *swing angle* optimal, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi kerja dan meningkatkan *cycle time* secara keseluruhan.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran dan rekomendasi yang perlu dipertimbangkan dalam implementasi perbaikan yaitu sebagai berikut:

1. Posisi alat angkut sebaiknya berada dalam rentang *swing angle* optimal, yaitu *passing* ke-3 memiliki rentang antara 19-30°, *passing* ke-4 antara 37-48°, dan *passing* ke-5 antara 55-66°. Rentang ini akan membantu meminimalisir *swing time* yang berlebihan dan memperpendek *cycle time*, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.
2. Pelatihan teknis secara rutin perlu diberikan kepada operator, khususnya dalam hal identifikasi posisi optimal alat angkut saat proses pemuatan (*loading*) dan pemahaman mengenai pengaruh *swing angle* terhadap produktivitas kerja, sehingga rata-rata *swing angle* akan mendekati 45°, lalu target *cycle time* dan produktivitas akan tercapai. Selain itu, penggunaan simulator alat gali muat juga sangat disarankan sebagai sarana pembiasaan dan pelatihan keterampilan operator dalam mencapai *swing angle* yang berada dalam rentang optimal, tanpa risiko terhadap unit maupun keselamatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. C. Anthony, *Usulan Perbaikan Produktivitas Alat Loader dan Alat Hauler di Pertambangan Bauksit dengan Pendekatan Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 2023.
- [2] A. Fitri *et al.*, *Dasar-dasar Statistika untuk Penelitian*, Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [3] N. Hajarisman dan M. Herlina, *Analisis Regresi dan Aplikasinya*, Bandung: Program Studi Statistika, FMIPA, Universitas Islam Bandung, 2022.
- [4] Y. Indonesianto, *Pemindahan Tanah Mekanis*, Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta, 2005.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*, Jakarta, 2018.
- [6] Komatsu, *PC2000-11 Hydraulic Excavator*, 2006.
- [7] Komatsu America Corp., *PC2000-8 Hydraulic Excavator Specifications*, America, 2006.
- [8] Komatsu America Corp., *Shop Manual*

- Hydraulic Excavator PC2000-8*, U.S.A., 2006.
- [9] A. A. Nugroho *et al.*, *Statistik Berbantu Ms. Excel*, Semarang: Potlot Publisher, 2023.
- [10] N. Oemiati, Revisdah, dan Rahmawati, *Analisa Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut pada Pengupasan Lapisan Tanah Penutup (Overburden)*, Palembang: Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang, 2020.
- [11] Pasyimi, *Batubara (Jilid-1)*, Padang: Bung Hatta University Press, 2008.
- [12] M. B. Putra, *Analisis Korelasi Swing Angle terhadap Produktivitas Excavator di PT Gunung Bumi Perkasa*, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah, 2023.
- [13] Y. M. Sarmidi, “Kajian Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut pada Pengupasan Overburden di PIT TSBC, Tambang Air Laya, PT. Bukit Asam, Tbk.,” *Surya Teknika*, vol. 10, no. 2, pp. 900–907, 2023.
- [14] S. H. Situmorang, *Analisis Data untuk Riset Manajemen dan Bisnis*, Edisi 3, Medan: USU Press, 2014.
- [15] R. A. Sudarmadji, *Pengaruh Swing Angle terhadap Produktivitas Alat Gali Muat pada Kegiatan Penambangan Andesit di PT Lotus SG Lestari*, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah, 2023.
- [16] N. Sukardi *et al.*, *Peta Geologi Lembar Sangatta, Kalimantan Timur Skala 1:250.000*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1995.
- [17] *The International Handbook of Coal Petrography*, England: University of Newcastle upon Tyne, 1993.
- [18] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 147, 2020