

Performa *Magnetic Separator* Tipe Portabel dengan Variasi Sudut dan Kecepatan Putar Magnet

^{1*}Dimas Wahyu Syah Putra, ²Mahros Darsin, ³Ahmad Syuhri, ⁴Santoso Mulyadi, ⁵Fachruzzaki, ⁶Rina Lestari

^{1,2,3,4} Teknik Mesin, Universitas Jember

^{5,6} Teknik Pertambangan, Universitas Jember

E-mail: ^{*1}demaswahyu@icould.com, ²mahros.teknik@unej.ac.id, ³asyuhri@gmail.com,
⁴santoso.teknik@unej.ac.id, ⁵198911262023211013@mail.unej.ac.id,
⁶199002082023212049@mail.unej.ac.id

Penulis Korespondens : Dimas Wahyu Syah Putra

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa *magnetic separator* tipe portabel dengan variasi sudut kemiringan dan kecepatan putar magnet terhadap hasil pemisahan material. Metode yang digunakan adalah *Design of Experiments* (DoE) dengan rancangan faktorial penuh dua faktor tiga level (3^2), yaitu variasi sudut kemiringan (19° , 29° , dan 39°) dan kecepatan putar magnet (200, 400, dan 600 rpm). Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode analisis varians (ANOVA) dengan bantuan perangkat lunak Minitab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang diperoleh memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 96,00%. Faktor sudut kemiringan berpengaruh signifikan terhadap hasil pemisahan, sedangkan kecepatan putar magnet secara mandiri tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Namun, interaksi antara sudut dan kecepatan putar menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan, yang mengindikasikan bahwa efek kecepatan putar bergantung pada besarnya sudut yang digunakan. Kondisi optimum diperoleh pada kombinasi kecepatan putar 200 rpm dan sudut kemiringan 39° , dengan hasil pemisahan maksimum sebesar 9,034 gram.

Kata Kunci— ANOVA, DoE, kecepatan putar, *magnetic separator*, sudut kemiringan.

Abstract— This study aimed to analyze the performance of a portable magnetic separator by varying the inclination angle and magnet rotational speed on material separation results. The research employed a *Design of Experiments* (DoE) approach with a full factorial design of two factors and three levels (3^2): inclination angle (19° , 29° , and 39°) and magnet rotational speed (200, 400, and 600 rpm). Experimental data were analyzed using *Analysis of Variance* (ANOVA) in Minitab. The results showed that the developed model had an excellent fit with an R^2 value of 96.00%. The inclination angle significantly affected separation results, while magnet rotational speed alone was not significant. However, the interaction between angle and rotational speed was highly significant, indicating that the influence of rotational speed depends on the inclination angle. The optimum condition was achieved at 200 rpm and a 39° inclination angle, producing a maximum separation result of 9.034 grams.

Keywords: *Analysis of Variance* (ANOVA), *Design of Experiments* (DoE), inclination angle, magnetic separator, rotational speed.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pertambangan dan pengolahan mineral menunjukkan peningkatan intensitas produksi dan tuntutan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya semakin besar [1]. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi adalah sulitnya memisahkan mineral yang sifatnya magnetik, seperti pasir besi [2]. Pasir besi merupakan salah satu sumber daya mineral yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri logam maupun material magnetik. Namun, pasir besi umumnya masih bercampur dengan material nonmagnetik sehingga diperlukan proses pemisahan untuk meningkatkan kualitas dan kadar mineral yang diinginkan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *magnetic separator* karena mampu memisahkan material berdasarkan perbedaan sifat kemagnetannya secara efektif.

Mesin *magnetic separator* adalah alat yang digunakan untuk memisahkan material magnetik dari non magnetik, misalnya pada pengolahan mineral, pasir besi, atau limbah industry [3]. Kinerja *magnetic separator* dipengaruhi oleh berbagai parameter operasi, di antaranya kecepatan putar magnet dan sudut kemiringan alat. Menurut Han, kecepatan putar magnet berpengaruh terhadap efisiensi pemisahan melalui perubahan interaksi antara partikel dan medan magnet [4]. Selain itu, sudut pemisahan memengaruhi distribusi gaya yang bekerja pada partikel sehingga berpengaruh terhadap hasil separasi [5]. Sementara itu, material non-magnetik tidak terpengaruh oleh medan magnet dan terus meluncur ke bawah sebagai tailing [6]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa optimasi parameter operasi dapat meningkatkan performa *magnetic separator* secara signifikan [7].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengaruh masing-masing parameter secara terpisah dan menggunakan konfigurasi alat yang berbeda dari *magnetic separator* tipe portabel. Kajian mengenai pengaruh interaksi antara sudut kemiringan dan kecepatan putar magnet pada *magnetic separator* portabel masih relatif terbatas. Padahal, kedua parameter tersebut diduga saling memengaruhi dalam menentukan efektivitas proses pemisahan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut kemiringan dan kecepatan putar magnet terhadap hasil pemisahan pasir besi pada *magnetic separator* tipe portabel. Penelitian dilakukan menggunakan metode *Design of Experiments* (DoE) dengan rancangan faktorial penuh 3^2 dan dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk menentukan faktor yang berpengaruh signifikan serta memperoleh kombinasi parameter operasi yang menghasilkan performa pemisahan optimal.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh sudut kemiringan dan kecepatan putar magnet terhadap hasil pemisahan pasir besi menggunakan *magnetic separator* tipe portabel. Material yang digunakan dalam penelitian berupa pasir pantai yang diperoleh dari wilayah Pantai Cemara, Jember dan telah melalui proses preparasi sebelum pengujian. Peralatan utama yang digunakan meliputi *magnetic separator* tipe portabel, motor

penggerak, dimmer pengatur putaran, tachometer digital, timbangan digital, serta peralatan pendukung lainnya.

A. Material

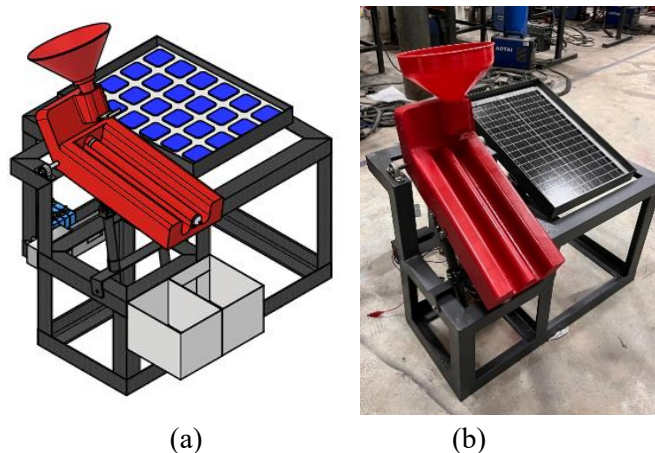
Pasir besi yang digunakan berasal dari pasir Pantai Cemara di Kabupaten Jember. Setelah sampel dibersihkan dilakukan pengujian XRF dengan hasil seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui total kandungan pasir besi yang kemudian menjadi patokan untuk performa magnetic separator.

Tabel 1. Kandungan pasir Pantai Cemara

Compound	Concentration	Unit
MgO (Magnesium oksida)	3,03	%
Al ₂ O ₃ (Aluminium Oksida)	21,823	%
SiO ₂ (Silika/pasir kuarsa)	43,383	%
P ₂ O ₅ (Fosfor Oksida)	1,197	%
Cl (Klorin)	0,709	%
K ₂ O (Kalium Oksida)	1,462	%
CaO (Kalsium Oksida)	11,433	%
Ti (Titanium)	0,773	%
Mn (Mangan)	0,234	%
Fe ₂ O ₃ (Besi Oksida)	15,837	%
Ni (Nikel)	30,3	Ppm
Cu (Tembaga)	79,7	Ppm
Zn (Seng)	145,0	Ppm
Ga (Galium)	28,9	Ppm
Sr (Stronsium)	915,9	Ppm

B. Alat

Berikut merupakan desain dan hasil rancangan mesin *magnetic separator portable* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Desain *magnetic separator* tipe portabel (b) Hasil rancangan *magnetic separator* tipe portable

Penilaian performa magnetic separator umumnya dilakukan melalui parameter recovery, efisiensi pemisahan, serta produktivitas alat selama proses berlangsung [7]. Untuk menentukan performa alat didasarkan pada nilai recovery dan produktivitas yang ditentukan dari berat konsentrat atau perolehan pasir besi. Adapun rumus dari recovery yaitu sebagai berikut:

$$\eta = \frac{M_c}{M_f} \times 100\% \quad (1)$$

Produktivitas merupakan perbandingan antara keluaran dan masukan dalam suatu sistem produksi [8]. Adapun rumus dari produktivitas yaitu sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Massa sampel (kg)}}{\text{Waktu (jam)}} \quad (2)$$

C. Design of Experiment (DOE)

Design of Experiments (DOE) merupakan suatu metode perancangan percobaan yang digunakan untuk menyusun, melaksanakan, serta menganalisis eksperimen secara terstruktur dengan tujuan memperoleh informasi yang optimal mengenai pengaruh variabel bebas terhadap variabel respons. DOE dirancang untuk menghasilkan kesimpulan yang valid secara statistik dengan jumlah percobaan yang efisien, sehingga sangat sesuai diterapkan pada penelitian rekayasa dan eksperimen laboratorium [9]. Dalam penelitian ini terdapat 2 faktor yang digunakan yaitu rpm dan sudut kemiringan. Faktor dan level penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Faktor

Kode	Variabel Faktor	Level		
		L1	L2	L3
X_1	Kecepatan putar magnet (rpm)	200	400	600
X_2	Sudut kemiringan (°)	19	29	39

Dalam penelitian ini menggunakan model faktorial 3^2 yang ditujukan untuk menentukan jumlah percobaan minimal sebagai data yang berisikan informasi mengenai faktor – faktor yang mempengaruhi parameter. Penggunaan model faktorial 3^2 dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Desain Rancangan Data Penelitian

Run	X_1	X_2	X_1X_2
1	200	19	
2	400	19	
3	600	19	
4	200	29	
5	400	29	
6	600	29	
7	200	39	
8	400	39	
9	600	39	

Pemilihan rancangan *full factorial* ini didasarkan pada kemampuannya untuk mengevaluasi pengaruh setiap faktor secara individual maupun pengaruh interaksi keduanya terhadap respons yang diamati, yaitu hasil pemisahan pasir besi. Hubungan antara respons hasil pemisahan pasir besi dengan kedua faktor tersebut selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk model regresi sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_{AB} X_A X_B + \varepsilon \quad (3)$$

D. ANOVA (*analysis of variance*)

Metode ANOVA (*analysis of variance*) digunakan dalam rancangan *full factorial* untuk menguji signifikansi pengaruh efek utama dan interaksi antar faktor terhadap respons yang diamati. Pengujian dilakukan menggunakan uji F dengan membandingkan variasi akibat faktor terhadap galat eksperimen, sehingga faktor dan kombinasi parameter yang berpengaruh signifikan dapat diidentifikasi [9]. Terdapat perhitungan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemisahan Pasir Besi

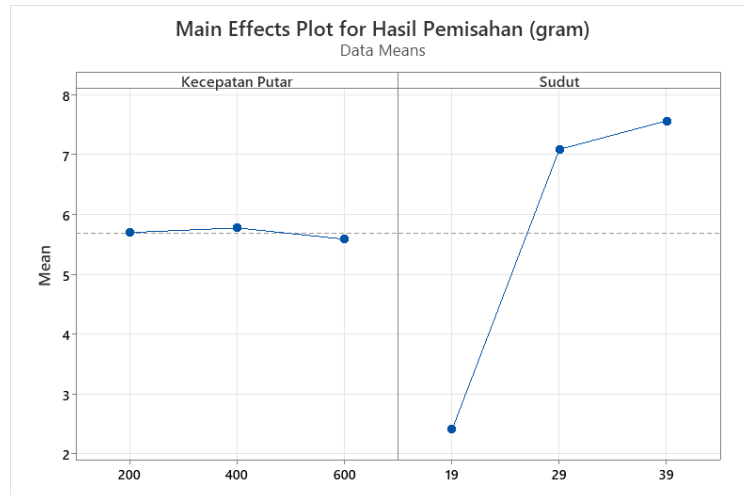
Pemisahan pasir besi pada mesin ini dilakukan dengan variasi sudut (X_1) dan kecepatan putar magnet (X_2). Data yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) full faktorial 3^2 dimana percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dengan replikasi di setiap pengujiannya sebanyak 3 kali. Analisis dilakukan menggunakan bantuan *software* Minitab. Berikut data hasil pemisahan pasir besi yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pemisahan pasir besi

Run	X_1 (°)	X_2 (rpm)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	Rata-rata (g)
1	19	200	0	0	0	0
2	19	400	2,5	3	2,8	2,7
3	19	600	4,5	4	4,8	4,4
4	29	200	8,9	8,9	6,3	8
5	29	400	8	8,6	7,6	8
6	29	600	5,3	5	5,1	5,1
7	39	200	8,2	9,1	9,8	9
8	39	400	5,5	6,6	7,3	6,4
9	39	600	7,3	7,2	7	7,1

B. Pengaruh Sudut Kemiringan dan terhadap Hasil Pemisahan

Gambar 2 menunjukkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh signifikan terhadap hasil pemisahan. Peningkatan sudut kemiringan menyebabkan perubahan komponen gaya gravitasi yang bekerja pada material sehingga memengaruhi laju aliran partikel dan waktu kontak dengan medan magnet. Pada sudut yang lebih besar, partikel magnetik memiliki peluang lebih tinggi untuk tertangkap oleh magnet sehingga hasil pemisahan meningkat. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa sudut pemisahan memengaruhi distribusi gaya pada partikel dan menentukan efektivitas proses separasi [10].

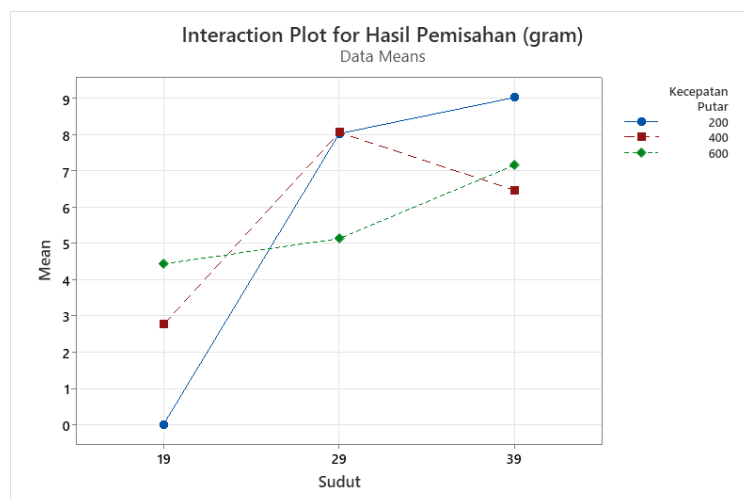


Gambar 2. Grafik main effects sudut terhadap hasil pemisahan

C. Pengaruh Kecepatan Putar Magnet terhadap Hasil Pemisahan

Berdasarkan Gambar 2, kecepatan putar magnet secara mandiri tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil pemisahan. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan kecepatan putar dari 200 hingga 600 rpm belum mampu menghasilkan perbedaan hasil pemisahan yang cukup besar apabila tidak disertai perubahan sudut kemiringan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa pengaruh kecepatan putar sangat bergantung pada kondisi operasi lainnya. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan putar tidak selalu meningkatkan efisiensi pemisahan karena adanya keseimbangan antara gaya magnetik dan gaya sentrifugal [5].

D. Pengaruh Interaksi Sudut dan Kecepatan Putar



Gambar 4. Grafik interaksi rpm dan kemiringan sudut

Pada Tabel 5 rpm terlihat tidak memengaruhi secara signifikan didukung dengan hasil perhitungan ANOVA yang menunjukkan nilai P-value rpm yaitu 0,843 dimana nilai tersebut melebihi taraf signifikan yaitu 0,05 yang berarti putaran sangat tidak mempengaruhi pemisahan

pasir besi. Sedangkan untuk kemiringan sudut, nilai P-value-nya adalah 0,000, yang lebih kecil dari taraf signifikansi, yaitu 0,05, yang berarti faktor kemiringan sudut ini sangat memengaruhi pemisahan pasir besi. Sementara itu untuk interaksi dari rpm dan sudut memiliki nilai P-value 0,000 yang berarti interaksi antara dua faktor ini sangat mempengaruhi proses pemisahan pasir besi pada *magnetic separator*.

Tabel 5. Hasil perhitungan ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	203,733	25,4667	53,97	0,000
Linear	4	146,231	36,5578	77,48	0,000
Kecepatan Putar	2	0,162	0,0811	0,17	0,843
Sudut	2	146,069	73,0344	154,78	0,000
2-Way	4	57,502	14,3756	30,47	0,000
Interactions					
rpm*Sudut	4	57,502	14,3756	30,47	0,000
Error	18	8,493	0,4719		
Total	26	212,227			

E. Model Regresi dan Kondisi Optimum

Berdasarkan tabel *model summary* pada Tabel 6, diperoleh gambaran menyeluruh mengenai kontribusi masing-masing faktor terhadap respons hasil pemisahan. Model regresi faktorial umum ini menghasilkan nilai R^2 sebesar 96,00% dengan R^2 (*adj*) senilai 94,22%. Tingginya nilai ini menunjukkan bahwa model statistik yang dibangun mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data, sehingga prediksi yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi [11] .

Tabel 6 *Model summary*

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,686915	96,00%	94,22%	91,00%

Berdasarkan hasil analisis grafik interaksi dan data eksperimen, kombinasi parameter yang menghasilkan performa pemisahan terbaik diperoleh pada kondisi 200 rpm dan sudut 39°. Pada kondisi tersebut, model regresi memprediksi nilai hasil pemisahan maksimum sebesar 9,034 gram.

F. *Recovery* Pemisahan Pasir Besi

Menggunakan rumus perhitungan *recovery* didapatkan data *recovery* yang ditampilkan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 nilai *recovery* tertinggi didapat pada Run 7 yaitu interaksi sudut 39° dan 200 rpm, yang menunjukkan bahwa ini merupakan interaksi terbaik. Pada interaksi ini terjadi keseimbangan antara penggunaan sudut dan kecepatan putar sehingga hasil yang didapatkan maksimal. Sedangkan anomali terdapat pada Run 1 yaitu pada interaksi sudut 19° dan 200 rpm, di mana pada interaksi ini tidak menghasilkan hasil apapun dikarenakan pasir tidak dapat mengalir pada *sluice box* dan mengalami penumpukan sehingga tidak terjadi pemisahan antara pasir pantai dan pasir besi. Pada sudut-sudut 29° dan 39° yang menggunakan 200 rpm tetap menghasilkan pasir besi dikarenakan aliran pasir pantai yang akan dipisahkan berjalan dengan lancar sehingga dapat dipisahkan.

Tabel 7 Hasil pemisahan dan perhitungan *recovery magnetic separator*

Run	X ₁ (°)	X ₂ (rpm)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	Rata-rata (g)	Recovery (%)
1	19	200	0	0	0	0	0
2	19	400	2,5	3	2,8	2,7	3,4
3	19	600	4,5	4	4,8	4,4	5,5
4	29	200	8,9	8,9	6,3	8	10,1
5	29	400	8	8,6	7,6	8	10,1
6	29	600	5,3	5	5,1	5,1	6,4
7	39	200	8,2	9,1	9,8	9	11,3
8	39	400	5,5	6,6	7,3	6,4	8,1
9	39	600	7,3	7,2	7	7,1	8,9

Hasil pemisahan pasir besi dan nilai *recovery* yang didapat termasuk kecil dikarenakan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Ketebalan Aliran (*Feed Layer*), jika tumpukan pasir saat turun terlalu tebal, butiran pasir besi yang berada di lapisan atas terhalang oleh pasir non-magnetik sehingga tidak tertempel ke magnet.
2. Jarak Efektif (*Air Gap*), kemungkinan jarak antara magnet dengan bidang lurus pasir masih terlalu jauh, mengingat kekuatan medan magnet akan berkurang drastis seiring bertambahnya jarak.
3. Kandungan Fe memiliki persentase yang lebih rendah dibandingkan unsur lain yang jumlahnya lebih dominan, sehingga Fe yang terikat atau menempel pada komponen lain tersebut tidak dapat tertarik secara efektif oleh medan magnet.

G. Produktivitas *Magnetic Separator*

Waktu operasional dihitung sejak material (500 gram) mulai dimasukkan ke dalam *hopper* hingga seluruh material selesai melewati medan magnet dan terpisah menjadi konsentrat dan *tailing*. Sebelum menghitung produktivitas, waktu yang didapat harus dikonversi ke satuan jam. Menggunakan perhitungan produktivitas didapatkan hasil konversi data waktu menjadi nilai produktivitas yang dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Produktivitas *magnetic separator*

Run	Rata-rata (menit)	Konversi waktu (jam)	Produktivitas (kg/jam)
1	0	0	0
2	30,95	0,52	0,97
3	10,64	0,18	2,82
4	3,29	0,05	9,12
5	7,19	0,12	4,17
6	3,71	0,06	8,06
7	3,06	0,05	9,80
8	3,81	0,06	7,94
9	5,91	0,10	5,08

Berdasarkan data dari Tabel 8, terlihat produktivitas tertinggi dicapai pada Run 7 (Sudut 39°, 200 rpm) dengan laju sebesar 9,80 kg/jam, sedangkan produktivitas terendah berada pada Run 2 (Sudut 19°, 200 rpm) yang tidak menghasilkan pemisahan. Secara mekanis, peningkatan sudut kemiringan terbukti mempercepat laju aliran material secara drastis karena besarnya gaya gravitasi yang bekerja untuk mengatasi gaya gesek pada bidang lurus. Namun, kecepatan aliran yang tinggi ini perlu diimbangi dengan pengaturan kecepatan putar magnet yang tepat. Pada pengamatan di lapangan, kecepatan putar tinggi (600 rpm) cenderung menimbulkan vibrasi yang lebih besar pada kerangka portabel dan memberikan efek gaya yang mengakibatkan partikel melewati *sluice box* lebih cepat. Integrasi antara data kualitas (*recovery*) dan kuantitas (waktu/produktivitas) menunjukkan bahwa interaksi 39° pada 200 rpm merupakan titik performa paling efektif. Pada kondisi ini, mesin tidak hanya mampu mengolah material dengan cepat, tetapi juga memberikan waktu kontak (*residence time*) yang cukup bagi medan magnet untuk menarik pasir besi secara optimal tanpa terhambat oleh penumpukan material maupun gangguan vibrasi mekanis yang berlebihan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa performa magnetic separator tipe portabel dalam proses pemisahan pasir besi dipengaruhi oleh kombinasi parameter operasi yang digunakan. Variasi sudut kemiringan terbukti menjadi faktor utama yang menentukan hasil pemisahan, sedangkan pengaruh kecepatan putar magnet bergantung pada besarnya sudut kemiringan yang diterapkan. Temuan ini menunjukkan adanya interaksi antara kedua parameter tersebut, sehingga optimasi performa magnetic separator tidak dapat dilakukan dengan mempertimbangkan masing-masing faktor secara terpisah. Melalui pendekatan *Design of Experiments* (DoE) dan *Analysis of Variance* (ANOVA), penelitian ini mampu menentukan kondisi operasi optimum pada sudut kemiringan 39° dan kecepatan putar magnet 200 rpm yang menghasilkan pemisahan material magnetik tertinggi sebesar 9,034 gram. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan magnetic separator tipe portabel dengan menyediakan dasar ilmiah dalam penentuan parameter operasi yang lebih efektif untuk meningkatkan efisiensi proses pemisahan pasir besi pada skala laboratorium maupun pada aplikasi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Uniyal, G. Ajay, and K. Khanduri, "Sustainable mining : reducing waste and enhancing resource efficiency," *Discov. Civ. Eng.*, no. December 2024, 2025, doi: 10.1007/s44290-025-00233-9.
- [2] N. S. Nzeh, P. A. Popoola, A. Adeleke, and S. Adeosun, "Physical Concentration of Heavy Minerals : A Brief Review on Low and High Intensity Magnetic Separation Process Techniques," *JOM*, vol. 76, no. 3, pp. 1329–1344, 2024, doi: 10.1007/s11837-023-06251-1.
- [3] M. R. Pratama, J. Pitulima, and E. P. S. . T. Tono, "Kajian Perolehan Hasil Bijih Timah Berdasarkan Ukuran Butir Terhadap Variabel Magnetic Separator Skala Laboratorium," *Mineral*, vol. 6, no. 2, pp. 32–38, 2021, doi: 10.33019/mineral.v6i2.3093.
- [4] L. Han, Z. Cheng, and D. Lu, "Separation Analysis of New Magnetic Separator for Pre-Concentration of Ilmenite Particles," *Minerals*, vol. 12, no. 7, 2022, doi: 10.3390/min12070837.
- [5] S. Xu, H. Han, J. Liu, W. Sun, and J. Qiu, "Humped Flow Channel in Drum Magnetic

- Separator Leads to Enhanced Recovery of Magnetic Seeds in Magnetic Flocculation Process,” *Minerals*, vol. 15, no. 7, pp. 1–17, 2025, doi: 10.3390/min15070732.
- [6] T. Yuhe, “Permanent Rotating Magnetic Field Separator,” in *The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy*, Springer, 2024, pp. 1565–1567.
- [7] J. Liu *et al.*, “Multiphysics modeling simulation and optimization of aerodynamic drum magnetic separator,” *Minerals*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/min11070680.
- [8] N. N. Amaliah, F. N. Azizah, and D. Herwanto, “Standar Pada Produksi Pallet Menggunakan Time Motion Study Di PT XYZ,” pp. 170–177, 2025.
- [9] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*, 8th ed. Arizona, 2013.
- [10] Z. Shan *et al.*, “The effects of the separator structures and magnetic roller arrangements on eddy current separation,” *Miner. Eng.*, vol. 214, p. 108793, 2024.
- [11] J. Gao, “R-Squared (R) – How much variation is explained ?,” *Res. Methods Med. Heal.*, vol. 5(4), pp. 104–109, 2024, doi: 10.1177/26320843231186398.