

Artikel Penelitian

## Pengaruh Tegangan Elektroda terhadap Efisiensi Pemisahan Zircon Low Grade pada High Tension Roll Separator

### *Effect of Electrode Voltage on the Separation Efficiency of Low-Grade Zircon Using a HighTension Roll Separator*

Riria Zendy Mirahati<sup>1\*</sup>, Fitri Ayu Mardhatila<sup>1</sup>, Frideni Yushandiana Putri<sup>1</sup>, Indun Titisariwati<sup>2</sup>, Bagus Wiyono<sup>2</sup>, Indri Lesta Siwidiani<sup>2</sup>, Gunawan Nusanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta Alamat Jl. Padjajaran/ Jl. SWK 104, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283, Indonesia

<sup>2</sup> Prodi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta Alamat Jl. Padjajaran/ Jl. SWK 104, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283, Indonesia

\*Penulis korespondensi

e-mail: ririazendymirahati@upnyk.ac.id

#### **ABSTRAK**

*Zircon low grade* merupakan salah satu mineral ikutan yang memiliki nilai ekonomis namun masih mengandung banyak pengotor, sehingga diperlukan proses pemisahan yang efektif untuk meningkatkan kualitas dan perolehan mineral tersebut. Salah satu metode pemisahan yang umum digunakan adalah *High Tension Roll Separator* (HTRS) yang memanfaatkan perbedaan sifat kelistrikan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan elektroda terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* pada proses HTRS yang dinyatakan melalui nilai *recovery*. Percobaan dilakukan dengan variasi tegangan elektroda sebesar 16 kV, 18 kV, dan 20 kV, sementara kecepatan roll dijaga konstan pada 18 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan elektroda cenderung menurunkan nilai *recovery zircon*. Pada tegangan 16 kV diperoleh *recovery* tertinggi sebesar 74,44%, sedangkan pada tegangan 18 kV dan 20 kV *recovery* masing-masing menurun menjadi 52,78% dan 45,02%. Penurunan *recovery* ini diduga disebabkan oleh meningkatnya gaya elektrostatik yang menyebabkan partikel zircon ikut tertarik bersama mineral pengotor sehingga efisiensi pemisahan menurun. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tegangan elektroda berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pemisahan zircon low grade pada High Tension Roll Separator, dengan kondisi optimum pada tegangan 16 kV untuk kecepatan roll 18 Hz.

Kata Kunci: *zircon low grade, high tension roll separator, elektrostatik*.

#### **ABSTRACT**

*Low-grade zircon* is an associated mineral with economic value; however, it still contains a relatively high amount of impurities, making an effective separation process necessary to improve both its quality and recovery. One of the separation methods widely applied for this purpose is the High Tension Roll Separator (HTRS), which operates based on differences in the electrical properties of materials. This study aims to analyze the effect of electrode voltage on the separation efficiency of low-grade zircon in the HTRS process, as expressed by the recovery value. The experiments were carried out by varying the electrode voltage at 16 kV, 18 kV, and 20 kV, while the roll speed was maintained constant at 18 Hz. The results indicate that increasing the electrode voltage tends to decrease zircon recovery. The highest recovery, 74.44%, was achieved at an electrode voltage of 16 kV, whereas at 18 kV and 20 kV, the recovery values decreased to 52.78% and 45.02%, respectively. This reduction in recovery is presumed to be associated with the increase in electrostatic force, which causes zircon particles to be attracted together with impurity minerals, thereby reducing separation efficiency. Based on the results, it can be concluded that electrode voltage has a significant effect on the separation efficiency of low-grade zircon in a High Tension Roll Separator, with the optimum operating condition achieved at an electrode voltage of 16 kV at a roll speed of 18 Hz.

Naskah masuk	: 19 Desember 2025
Revisi pertama	: 15 Januari 2026
Naskah diterima	: 21 Januari 2026
Naskah dipublikasi online	: 28 Januari 2026

*Keywords: low-grade zircon, high tension roll separator, electrostatic separation*

---

## I. PENDAHULUAN

Mineral *zircon* merupakan salah satu mineral ikutan yang sering ditemukan bersama bijih timah dan mineral lain pada proses pengolahan mineral. *Zircon low grade*, meskipun memiliki potensi ekonomi, umumnya masih mengandung banyak pengotor sehingga diperlukan metode pemisahan yang efektif untuk meningkatkan kadar dan *recovery* mineral tersebut. Salah satu metode pemisahan yang banyak digunakan dalam pemisahan mineral berdasarkan sifat kelistrikan adalah *High Tension Roll Separator* (HTRS), yaitu alat pemisahan elektrostatik yang memanfaatkan perbedaan perilaku partikel dalam medan elektrostatik untuk memisahkan mineral konduktor dan non-konduktor.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan HTRS dalam pemisahan mineral. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Abadi (2022) menunjukkan bahwa pengaturan variabel operasional HTRS seperti kecepatan roll dan tegangan elektroda dapat mempengaruhi kadar dan *recovery* mineral zirkon yang dihasilkan dalam proses pemisahan, dengan konfigurasi optimum tertentu mampu menghasilkan kadar zirkon yang cukup tinggi. Selanjutnya, Fista Syahfira (2023) melakukan analisis pengaruh kombinasi tegangan elektroda dan kecepatan roll terhadap karakteristik hasil pemisahan HTRS, dan menemukan bahwa variasi tegangan elektroda berkontribusi secara signifikan terhadap kadar dan *recovery* mineral zirkon dalam rentang tegangan 18–25 kV.

Selain itu, penelitian terkini oleh Mirahati dkk. (2025) dalam konteks *tailing High Tension Roll Separation* menggunakan alat konsentrasi gravitasi (*shaking table*) menunjukkan strategi lanjutan untuk mengolah residu hasil proses HTRS dengan memanfaatkan variabel proses lain, meskipun fokusnya pada *recovery* timah dari tailing HTRS. Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas pemisahan mineral dengan HTRS sangat dipengaruhi oleh variabel operasi, khususnya tegangan elektroda dan parameter lain seperti kecepatan *roll* maupun laju aliran pada alat konsentrasi berikutnya.

Berdasarkan ulasan di atas, masih terdapat kebutuhan penelitian yang fokus pada pengaruh tegangan elektroda terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* secara sistematis dengan mempertahankan variabel lain tetap, misalnya kecepatan roll yang konstan. Hal ini penting untuk memahami secara eksperimental bagaimana tegangan elektroda secara langsung mempengaruhi nilai *recovery*, karena perbedaan medan elektrostatik akan mempengaruhi gaya yang diterima partikel sehingga menentukan efektivitas pemisahan pada HTRS. Penelitian ini

bertujuan untuk menganalisis efek tegangan elektroda pada efisiensi pemisahan *zircon low grade* pada HTRS, dinyatakan melalui perubahan nilai *recovery* sebagai respon utama.

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk mengkaji pengaruh variasi tegangan elektroda terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* menggunakan metode pemisahan elektrostatik dengan alat *High Tension Roll Separator* (HTRS). Pemilihan metode ini didasarkan pada prinsip pemisahan mineral berdasarkan perbedaan sifat kelistrikan partikel, khususnya konduktivitas dan respons partikel terhadap medan elektrostatik, yang merupakan prinsip dasar dalam teknologi pemisahan elektrostatik (Wills & Finch, 2016).

*High Tension Roll Separator* merupakan salah satu alat pemisahan elektrostatik yang bekerja dengan memanfaatkan interaksi antara partikel mineral dan medan listrik bertegangan tinggi. Menurut Wills dan Finch (2016), partikel mineral akan mengalami gaya elektrostatik yang berbeda tergantung pada sifat kelistrikkannya, sehingga mineral konduktor dan non-konduktor dapat terpisah ketika melewati permukaan roll yang bermuatan listrik. Efisiensi pemisahan pada HTRS dipengaruhi oleh beberapa parameter operasi, antara lain tegangan elektroda, kecepatan roll, ukuran partikel, serta kondisi umpan.

Penelitian ini difokuskan pada tegangan elektroda sebagai variabel bebas, dengan variasi sebesar 16 kV, 18 kV, dan 20 kV. Sementara itu, efisiensi pemisahan yang dinyatakan dalam nilai *recovery zircon (%)* ditetapkan sebagai variabel terikat. Parameter operasi lainnya, khususnya kecepatan roll, dijaga konstan pada 18 Hz untuk memastikan bahwa perubahan nilai *recovery* yang terjadi disebabkan oleh variasi tegangan elektroda semata.

Umpam (*feed*) yang digunakan dalam penelitian ini berupa *zircon low grade*, yang masih mengandung mineral pengotor hasil dari proses pengolahan sebelumnya. Sebelum dilakukan pemisahan, sampel dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air yang dapat mempengaruhi respons elektrostatik partikel. Setiap pengujian dilakukan dengan massa umpan yang sama untuk menjaga konsistensi hasil percobaan.

Proses pemisahan dilakukan dengan mengatur alat *High Tension Roll Separator* pada kondisi operasi yang telah ditentukan. Sampel kemudian dialirkan ke permukaan roll, dan hasil pemisahan berupa konsentrasi *zircon* dikumpulkan untuk selanjutnya ditimbang. Data berat konsentrasi dan umpan digunakan untuk menghitung nilai *recovery zircon*.

### Perhitungan Recovery

Perhitungan *recovery zircon* dilakukan berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh Wills dan Finch (2016) dalam Wills' Mineral Processing Technology, sebagai berikut (1):

$$\text{Recovery} = \frac{K \cdot k}{F \cdot f} \times 100\% \quad (1)$$

di mana,

K : berat konsentrat (g)

k : kadar logam di konsentrat (%)

F : berat umpan (g)

f : kadar logam di umpan (%)

Persamaan ini umum digunakan dalam industri pengolahan mineral untuk mengevaluasi performa proses konsentrasi, termasuk pada pemisahan elektrostatik, dalam menilai keberhasilan pemisahan mineral berharga dari material pengotornya (Wills & Finch, 2016).

### Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk mengamati hubungan antara tegangan elektroda dan nilai *recovery zircon*. Data hasil perhitungan *recovery* disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dianalisis untuk melihat kecenderungan perubahan *recovery* akibat peningkatan tegangan elektroda pada kondisi kecepatan roll yang konstan. Analisis ini bertujuan untuk menentukan kondisi operasi optimum serta memahami pengaruh medan elektrostatik terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* pada *High Tension Roll Separator*.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan pemisahan *zircon low grade* menggunakan *High Tension Roll Separator* (HTRS) dengan variasi tegangan elektroda pada kecepatan roll konstan 18 Hz ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa nilai *recovery zircon* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya tegangan elektroda. *Recovery* tertinggi diperoleh pada tegangan 16 kV sebesar 74,44%, sedangkan pada tegangan 18 kV dan 20 kV, nilai *recovery* menurun masing-masing menjadi 52,78% dan 45,02%.

Tabel 1. Pengaruh Tegangan Elektroda terhadap *Recovery Zircon*

Tegangan Elektroda (kV)	Kecepatan Roll (Hz)	Recovery (%)
16	18	74,44
18	18	52,78
20	18	45,02

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan elektroda memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* pada *High Tension Roll Separator*. Peningkatan tegangan elektroda tidak selalu menghasilkan peningkatan *recovery*, bahkan pada kondisi tertentu justru menyebabkan penurunan *recovery zircon*.

Secara teoritis, proses pemisahan elektrostatik pada HTRS bekerja berdasarkan perbedaan respons partikel terhadap medan listrik bertegangan tinggi. Menurut Wills dan Finch (2016), partikel mineral akan mengalami gaya elektrostatik yang besarnya dipengaruhi oleh sifat kelistrikan partikel, kuat medan listrik, serta kondisi kontak partikel dengan permukaan roll. Pada tegangan tertentu, gaya elektrostatik yang terbentuk mampu memisahkan mineral berharga dari mineral pengotor secara optimal.

Pada tegangan 16 kV, medan elektrostatik yang dihasilkan relatif cukup untuk memisahkan zircon dari mineral pengotor tanpa menyebabkan gangguan pemisahan yang signifikan. Hal ini tercermin dari nilai *recovery* tertinggi yang diperoleh pada kondisi tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada tegangan 16 kV, interaksi antara gaya elektrostatik, gaya gravitasi, dan gaya sentrifugal masih berada dalam keseimbangan yang mendukung pemisahan zircon secara efektif.

Sebaliknya, peningkatan tegangan elektroda hingga 18 kV dan 20 kV menyebabkan penurunan nilai *recovery zircon*. Fenomena ini diduga terjadi akibat meningkatnya gaya elektrostatik secara berlebihan, sehingga partikel zircon yang bersifat semi-konduktor atau non-konduktor kuat ikut tertarik bersama mineral pengotor. Akibatnya, sebagian zircon tidak terpisah secara selektif dan terbawa ke fraksi yang tidak diinginkan, sehingga menurunkan *recovery*.

Menurut teori pemisahan elektrostatik, efektivitas pemisahan sangat bergantung pada keseimbangan antara gaya elektrostatik, gaya gravitasi, dan gaya mekanis yang bekerja pada partikel (Kelly & Spottiswood, 1982; Wills & Finch, 2016). Jika gaya elektrostatik terlalu dominan, maka selektivitas pemisahan akan menurun karena perbedaan respons antar partikel menjadi kurang signifikan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori tersebut, di mana peningkatan tegangan elektroda di atas kondisi optimum justru menurunkan efisiensi pemisahan. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan elektroda optimum sangat penting dalam operasi HTRS untuk mencapai *recovery* maksimal.

Hasil penelitian ini memiliki kesesuaian dengan beberapa penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Siahaan dkk. (2021) melaporkan bahwa peningkatan parameter operasi pada alat pemisahan mineral tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan *recovery*, karena adanya batas optimum

yang dipengaruhi oleh sifat fisik dan kelistrikan material.

Selain itu, Widodo dkk. (2023) menyatakan bahwa pada pemisahan mineral berat menggunakan metode berbasis sifat fisik, pengaturan parameter operasi yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan efisiensi akibat terjadinya entrainment mineral pengotor. Meskipun penelitian tersebut dilakukan pada metode konsentrasi gravitasi, prinsip penurunan selektivitas akibat parameter yang terlalu tinggi juga relevan pada pemisahan elektrostatik.

Penelitian lain oleh Abadi (2022) pada pemisahan *zircon* menggunakan *High Tension Roll Separator* menunjukkan bahwa tegangan elektroda memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil pemisahan, dengan adanya nilai tegangan optimum yang menghasilkan *recovery* terbaik. Temuan ini mendukung hasil penelitian ini, di mana tegangan 16 kV memberikan performa pemisahan yang paling optimal dibandingkan tegangan yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil dan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengoperasian High Tension Roll Separator pada tegangan elektroda yang terlalu tinggi tidak selalu menguntungkan. Penentuan tegangan elektroda yang tepat menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi pemisahan zircon low grade. Pada kondisi penelitian ini, tegangan 16 kV dengan kecepatan roll 18 Hz merupakan kondisi yang paling efektif untuk memperoleh *recovery zircon* yang optimal.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh tegangan elektroda terhadap efisiensi pemisahan *zircon low grade* pada *High Tension Roll Separator*, dapat disimpulkan bahwa tegangan elektroda berpengaruh signifikan terhadap nilai *recovery zircon*. Pada kondisi kecepatan roll yang dijaga konstan sebesar 18 Hz, variasi tegangan elektroda menunjukkan tren penurunan *recovery* seiring dengan peningkatan tegangan.

Nilai *recovery* tertinggi sebesar 74,44% diperoleh pada tegangan elektroda 16 kV, sedangkan pada tegangan 18 kV dan 20 kV, nilai *recovery* masing-masing menurun menjadi 52,78% dan 45,02%. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan elektroda yang terlalu tinggi dapat menurunkan selektivitas pemisahan akibat meningkatnya gaya elektrostatik yang menyebabkan partikel *zircon* ikut terbawa bersama mineral pengotor.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kondisi operasi optimum pada penelitian ini dicapai pada tegangan elektroda 16 kV dengan kecepatan *roll* 18 Hz, yang memberikan efisiensi pemisahan *zircon low grade* terbaik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan awal dalam penentuan parameter operasi *High Tension Roll Separator* untuk

meningkatkan *recovery zircon* pada proses pemisahan elektrostatik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, R., & Pratama, Y. (2022). Pengaruh parameter operasi high tension roll separator terhadap hasil pemisahan zircon. *Jurnal Teknologi Mineral Indonesia*, 10(2), 65–73.
- Chen, X., Zhang, Y., & Li, H. (2020). Electrostatic separation of mineral particles: A review of principles and applications. *Minerals Engineering*, 149, 106251.
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Evans, J. D. (1996). Straightforward statistics for the behavioral sciences. Brooks/Cole Publishing.
- Fista Syahfira. (2023). Analisis pengaruh kecepatan separation roll dan tegangan elektroda high tension roll separator terhadap grade mineral zirkon di unit metalurgi Muntok PT Timah Tbk (Skripsi, Universitas Bangka Belitung). Repository Universitas Bangka Belitung.
- Kelly, E. G., & Spottiswood, D. J. (1982). Introduction to mineral processing. John Wiley & Sons.
- Li, Z., Wang, S., & Xu, L. (2021). Effect of operational parameters on electrostatic separation efficiency of heavy minerals. *Powder Technology*, 386, 52–60.
- Mirahati, R. Z., Sudaryanto, & Wahyuningsih, T. (2025). Pengaruh parameter elektrostatik terhadap recovery mineral ikutan pada high tension roll separator. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 21(1), 1–10.
- Putri, R. A., Hasanah, I., & Rahmawati, L. (2022). Karakteristik dan potensi pemanfaatan zircon low grade hasil pemisahan elektrostatik. *Jurnal Rekayasa Pengolahan Mineral*, 4(2), 88–96.
- Rahman, A., Susanto, B., & Hidayat, M. (2022). XRF analysis for rapid determination of mineral content in electrostatic separation products. *Applied Geochemistry Advances*, 10, 100106. <https://doi.org/10.1016/j.apgeoadv.2022.100106>
- Siahaan, R., Simanjuntak, T., & Hutapea, M. (2021). Studi pemisahan mineral berat berdasarkan sifat kelistrikan menggunakan metode elektrostatik. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3), 145–154.

Tripathy, S. K., & Suresh, N. (2020). Processing of beach sand minerals: Electrostatic separation approaches. Minerals Engineering, 155, 106438.

Widodo, S., Nugroho, A., & Santoso, B. (2023). Pengaruh ukuran partikel terhadap efisiensi pemisahan mineral berat pada alat konsentrasi. Jurnal Rekayasa Pertambangan, 9(1), 22–30.

Wills, B. A., & Finch, J. (2016). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery (8th ed.). Butterworth-Heinemann.

Xu, Y., Liu, Q., & Zhang, H. (2024). Optimization of electrostatic separation parameters for low-grade zircon concentrates. Separation and Purification Technology, 330, 125097.

Zhao, Y., Chen, J., & Wang, D. (2022). Influence of electric field strength on particle behavior in high-tension electrostatic separation. Advanced Powder Technology, 33(9), 103654.