

BAB I. Pendahuluan

Energi listrik merupakan tulang punggung bagi perkembangan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Di Indonesia, PT PLN (Persero) memiliki tanggung jawab utama dalam penyediaan listrik yang andal dan berkelanjutan. Untuk mengantisipasi pertumbuhan permintaan listrik yang pesat, PT PLN (Persero) telah menyusun Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030, yang mencakup berbagai strategi guna memenuhi kebutuhan energi nasional dengan lebih efisien dan ramah lingkungan.

Perkembangan teknologi kendaraan listrik di sektor pertambangan menjadi bagian penting dari upaya global untuk menurunkan emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi. Penggunaan *battery electric vehicles* (BEV) di lingkungan tambang terbukti mampu mengurangi emisi gas rumah kaca dan partikulat berbahaya yang dihasilkan oleh mesin diesel konvensional, serta menurunkan kebutuhan energi untuk ventilasi dan pendinginan di area tambang bawah tanah. Dengan efisiensi motor listrik yang mencapai 90% dibandingkan efisiensi mesin diesel sekitar 30%, teknologi BEV menghadirkan peluang besar untuk mendukung operasi tambang yang lebih berkelanjutan. Studi empiris pada tambang di Finlandia, Kanada, dan Australia menunjukkan bahwa penerapan BEV tidak hanya memperbaiki kualitas udara dan suhu kerja, tetapi juga berpotensi menekan biaya operasional jangka panjang meskipun investasi awal relatif tinggi. Hooli & Halim (2025)

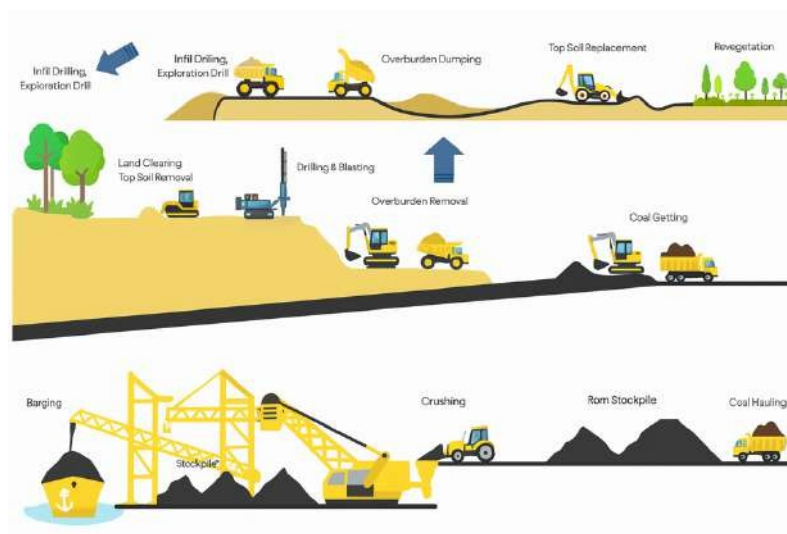
Namun, adopsi kendaraan listrik skala besar di sektor pertambangan memerlukan dukungan infrastruktur pengisian daya yang memadai serta perencanaan sistem kelistrikan yang efisien. Penelitian oleh Wang *et al.* (2025) menekankan bahwa biaya pembangunan infrastruktur *depot charging* untuk truk listrik berat sangat bergantung pada ukuran armada dan tingkat utilisasi pengisian harian. Peningkatan tingkat utilisasi pengisian dari 10% menjadi 50% dapat menurunkan biaya infrastruktur per kendaraan hingga lebih dari 50%, menjadikan efisiensi penggunaan *fast charger* (150–350 kW) sebagai faktor kunci dalam menekan biaya investasi keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa strategi elektrifikasi kendaraan tambang perlu mempertimbangkan keseimbangan antara

kapasitas jaringan PLN, biaya investasi infrastruktur, dan optimalisasi waktu operasi truk listrik agar mencapai keekonomian yang kompetitif terhadap kendaraan berbahan bakar B40 atau diesel konvensional. Wang *et al.* (2025)

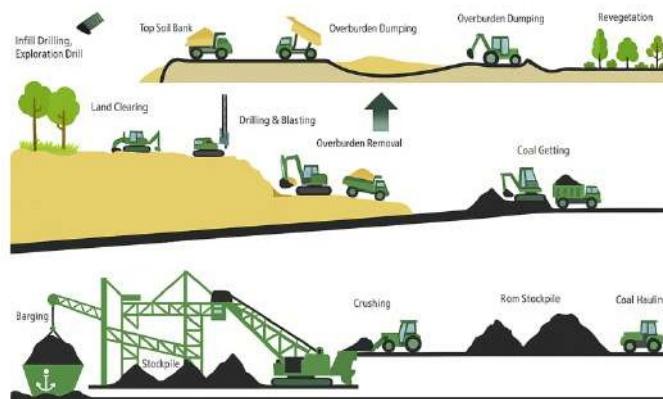
I.1 Latar Belakang

Industri pertambangan adalah salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia, namun juga dikenal sebagai penyumbang emisi karbon yang signifikan. Tuntutan global terhadap praktik industri yang berkelanjutan mendorong upaya dekarbonisasi di sektor ini. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen mencapai Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060, sehingga sektor pertambangan dituntut untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi energi dalam operasionalnya. Sektor transportasi, sebagaimana tercantum pada Gambar I-1 termasuk di dalamnya kendaraan angkut berat seperti truk, merupakan kontributor besar emisi GRK; studi membuktikan bahwa emisi karbon tercatat 200 ton CO²/unit/tahun dihasilkan oleh truk.

Elektrifikasi kendaraan merupakan salah satu strategi utama yang dipandang efektif untuk menurunkan emisi sektor transportasi sekaligus mendukung dekarbonisasi sektor ketenagalistrikan. Dalam konteks tersebut, elektrifikasi alat berat pertambangan (misalnya *dump truck* tambang) dengan proses tercantum pada Gambar I-2 menjadi langkah strategis untuk menekan emisi sekaligus meningkatkan keberlanjutan operasional tambang.



Gambar I-1 Urutan Proses Penambangan Batubara (Open Pit Mining) [10]



Gambar I-2 Urutan Proses Penambangan Batubara dengan EV [10]

Lebih lanjut, penelitian *The Potential of Electric Trucks – An International Commodity-Level Analysis* menunjukkan bahwa sektor pertambangan memiliki potensi elektrifikasi yang paling tinggi dibandingkan sektor transportasi berat lainnya karena profil perjalanannya bersifat berulang, jarak angkut relatif pendek, dan lokasi operasi yang tetap. Dalam konteks penambangan terbuka, proses pengangkutan (*hauling cycle*) terdiri atas tahapan muat, angkut menanjak dengan beban, kembali tanpa beban, dan waktu tunggu pengisian. Pola kerja ini sesuai dengan karakteristik motor listrik yang mampu memberikan torsi maksimum sejak awal serta memanfaatkan *regenerative braking* pada fase menurun untuk mengisi ulang energi baterai. Hooli & Halim (2025).

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kelayakan teknis peralihan armada dump truck dari diesel ke *Electric Vehicle* (EV) dalam operasi tambang, ditinjau dari kebutuhan daya, sistem charging, serta kesiapan infrastruktur kelistrikan?
2. Bagaimana kelayakan ekonomi peralihan armada tambang dari diesel ke *Electric Vehicle* (EV) dengan mempertimbangkan biaya investasi (CAPEX), biaya operasi (OPEX), dan potensi penghematan jangka panjang?

3. Bagaimana kesiapan sistem kelistrikan PLN dalam menyediakan pasokan listrik tambahan untuk kebutuhan elektrifikasi tambang, baik dari sisi pembangkit, transmisi, maupun distribusi?
4. Apa implikasi strategis elektrifikasi armada tambang terhadap PLN (peluang bisnis, peningkatan demand, carbon trading) dan bagi perusahaan tambang (efisiensi biaya, kepatuhan ESG, dan daya saing global)?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis aspek teknis peralihan armada *dump truck* dari diesel ke EV, meliputi kebutuhan daya, charging station (SPKLU), serta kesiapan infrastruktur kelistrikan tambang.
2. Menghitung kelayakan ekonomi elektrifikasi armada tambang dengan metode *IRR*, *NPV*, dan *Payback Period* serta membandingkan biaya antara EV dan Diesel.
3. Menilai kesiapan jaringan PLN dalam mendukung elektrifikasi tambang, baik dari sisi teknis penyediaan daya maupun model bisnis yang dapat diterapkan.
4. Menyusun analisis implikasi strategis elektrifikasi tambang terhadap PLN, perusahaan tambang, serta kontribusinya pada transisi energi nasional menuju NZE 2060.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Akademis:** Penelitian ini berkontribusi pada pengayaan literatur di bidang energi dan ketenagalistrikan, khususnya mengenai kajian tekno-ekonomi elektrifikasi alat berat di sektor pertambangan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi penelitian lanjutan dalam topik kendaraan listrik industri, manajemen energi, dan strategi dekarbonisasi.
2. **Praktis:** Secara praktis, penelitian ini memberikan manfaat bagi PT PLN (Persero) dalam perencanaan infrastruktur kelistrikan di wilayah pertambangan serta dalam pengembangan model bisnis elektrifikasi tambang. Bagi perusahaan pertambangan, penelitian ini dapat menjadi dasar

pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait efisiensi biaya operasional dan kelayakan investasi kendaraan listrik tambang.

3. **Kebijakan:** Dari sisi kebijakan, hasil penelitian ini diharapkan menjadi masukan bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan transisi energi di sektor pertambangan. Temuan penelitian ini dapat mendukung penyusunan insentif elektrifikasi, evaluasi kebijakan bauran energi, serta strategi pencapaian target Net Zero Emission 2060.

I.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Objek dan Obyek Kajian:** Fokus penelitian adalah pada *specific* dump truck tambang batubara yang digunakan pada jalur *hauling* sebagai objek kendaraan yang dikonversi dari penggunaan bahan bakar diesel (solar/B40) ke sistem penggerak listrik (battery electric vehicle). Studi kasus yang dikaji merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara di PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Kalimantan Selatan dan Tengah (Kalselteng) dengan perkiraan kebutuhan daya listrik sekitar **75 MVA** untuk mendukung operasi armada EV truck-nya.
2. **Aspek Teknis:** Pembahasan teknis meliputi analisis kebutuhan daya listrik per kendaraan dan total, pola pengisian daya (*charging*) harian, serta spesifikasi sistem pengisian cepat yang digunakan. Standar *fast charging* yang difokuskan dalam penelitian ini adalah standar GB/T dengan kapasitas daya sekitar 480 kW per unit charger, sesuai teknologi yang tersedia untuk kendaraan truk listrik berkapasitas besar. Selain itu, dibahas pula infrastruktur penunjang di sisi pelanggan, seperti jumlah stasiun pengisian yang dibutuhkan dan penataan beban listrik di lokasi tambang, namun analisa load flow tidak dilakukan di sisi keluaran pelanggan (70 kV dan 20 kV), dan hanya dilakukan di sisi PLN (150 kV). Selain itu kelayakan teknis di sisi load flow dan analisa hubung singkat hanya dilakukan hanya sampai Titik rencana gardu induk switching pelanggan 150 kV.
3. **Infrastruktur PLN:** Studi ini menilai kesiapan infrastruktur kelistrikan PLN untuk menyuplai kebutuhan daya EV truck di lokasi tambang studi

kasus. Cakupan infrastruktur PLN yang dianalisis meliputi jaringan transmisi dan distribusi hingga ke titik sambung (*Point of Connection*) pelanggan tambang, termasuk evaluasi kapasitas trafo, jaringan eksisting, dan kebutuhan perluasan jaringan (bila diperlukan) agar mampu menyalurkan daya sebesar 75 MVA tersebut. **Ruang lingkup tidak mencakup analisis di sisi pembangkitan listrik** (pembangkit tenaga listrik PLN).

4. **Batasan Lain:** Penelitian ini tidak membahas skenario teknis selain *fast charging* (misalnya *battery swapping* untuk EV truck) dan tidak membahas jenis alat tambang lain di luar dump truck. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan relevan untuk konteks dump truck tambang batubara dengan pola operasi dan lingkungan kerja yang serupa dengan studi kasus

I.6 Kebaruaran

Penelitian ini memiliki kebaruan yang terletak pada pendekatan integratif dalam menganalisis strategi elektrifikasi sektor pertambangan di Indonesia melalui implementasi kendaraan listrik tambang (*electric mining truck*). Kebaruan penelitian ini tidak hanya mencakup perumusan permasalahan yang berbeda dari penelitian terdahulu, tetapi juga pengembangan metodologi dan perspektif baru yang mengaitkan aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan energi nasional secara komprehensif.

Secara umum, kebaruan penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pendekatan Integratif Tekno-Ekonomi dan Kebijakan PLN
 - a. Penelitian ini menggabungkan analisis teknis (kebutuhan daya, sistem pengisian, dan profil beban) dengan analisis ekonomi (NPV, IRR, B/C Ratio, dan *Payback Period*) serta strategi bisnis PLN dalam konteks elektrifikasi tambang.
 - b. Integrasi ini memperluas cakupan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menitikberatkan pada performa teknis kendaraan listrik tambang tanpa mempertimbangkan kesiapan sistem kelistrikan PLN, baik dari sisi pembangkit, transmisi, maupun distribusi.

2. Konteks Nasional: Integrasi dengan Sistem Kelistrikan PLN
 - a. Berbeda dengan studi luar negeri seperti *Tokac et al. (2025)* dan *Hooli & Halim (2025)* yang meneliti elektrifikasi tambang dalam konteks operator tambang, penelitian ini menempatkan PLN sebagai aktor utama dalam penyediaan energi untuk sektor tambang.
 - b. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan data aktual PLN (Statistik 2024) yang mencakup kapasitas pembangkit 75.936,46 MW, panjang jaringan transmisi 72.655,85 kms, dan jaringan distribusi 1.074.800,21 kms. Hal ini menjadikan penelitian ini lebih aplikatif dan berbasis pada kemampuan sistem nasional yang sesungguhnya.
3. Desain Infrastruktur Pengisian Daya Berkapasitas Tinggi
 - a. Penelitian ini mengusulkan rancangan sistem *fast charging station* khusus untuk kendaraan tambang berat (*heavy-duty EV truck*), dengan daya hingga 480 kW per unit charger yang terintegrasi dengan jaringan tegangan menengah PLN.
 - b. Aspek teknis mencakup pengaturan *load management*, waktu pengisian optimal, dan sinkronisasi operasi kendaraan dengan pasokan daya listrik, yang belum banyak dibahas dalam literatur nasional.
4. Keterkaitan dengan Transisi Energi dan Kebijakan Nasional
 - a. Penelitian ini mengaitkan hasil analisis dengan kebijakan *mandatory B40*, *Permen ESDM No. 1 Tahun 2023*, dan target *Net Zero Emission 2060*.
 - b. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam memberikan masukan strategis bagi PLN untuk memperluas pasar kelistrikan industri tambang sekaligus mendukung pencapaian target dekarbonisasi nasional.