

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sedang mempercepat langkah menuju sistem energi yang lebih bersih sebagai bagian dari komitmen mencapai *Net Zero Emission (NZE)* pada 2060. Di tengah upaya tersebut, sektor transportasi mendapat perhatian khusus karena menjadi salah satu penyumbang terbesar polusi udara, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta. Peralihan dari kendaraan berbahan bakar fosil ke kendaraan listrik berbasis baterai (KBLBB) pun menjadi strategi penting untuk menekan emisi.

Pemerintah menetapkan Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 sebagai landasan untuk mempercepat penggunaan kendaraan listrik, termasuk di layanan transportasi umum di kawasan perkotaan. Jakarta menjadi salah satu daerah yang mulai mengimplementasikan kebijakan ini melalui pengoperasian bus listrik Transjakarta. Kehadiran armada listrik ini diharapkan dapat membantu mengurangi emisi karbon di lingkungan perkotaan yang padat. Namun, pertumbuhan penggunaan kendaraan listrik juga menimbulkan tantangan baru, khususnya terkait peningkatan beban jaringan dan kebutuhan menjaga stabilitas distribusi listrik.

Di sisi lain, teknologi *Vehicle to Grid (V2G)* menawarkan peluang yang menarik untuk menjawab tantangan tersebut. Teknologi ini memungkinkan kendaraan listrik tidak hanya berfungsi sebagai beban saat mengisi daya, tetapi juga sebagai sumber energi yang dapat mengembalikan listrik ke jaringan ketika dibutuhkan. Pola operasi armada Transjakarta yang terjadwal dan terpusat menjadikan integrasi V2G berpotensi lebih terkelola, sekaligus mendukung pengaturan beban puncak, pemanfaatan energi terbarukan, dan peningkatan efisiensi serta keandalan sistem tenaga listrik.

Meskipun menjanjikan, penerapan V2G di Jakarta tetap memerlukan kajian mendalam dari sisi teknis dan ekonomis. Dari aspek teknis, perlu dianalisis kesiapan infrastruktur pengisian daya, karakteristik baterai, pola penggunaan energi, hingga dampak V2G terhadap stabilitas jaringan distribusi. Dari sisi ekonomi, evaluasi

diperlukan untuk menghitung kebutuhan investasi, potensi penghematan energi, serta peluang pendapatan dari layanan kelistrikan yang dihasilkan melalui mekanisme V2G.

Kajian mengenai topik ini menjadi penting untuk memberikan gambaran awal mengenai potensi penerapan V2G pada sistem transportasi listrik perkotaan. Selain itu, hasil penelitian juga dapat berkontribusi pada perencanaan jangka panjang menuju 2060 dan mendukung pencapaian target NZE nasional. Temuan yang dihasilkan diharapkan mampu menjadi dasar rekomendasi kebijakan energi dan transportasi berkelanjutan di Indonesia, khususnya di Jakarta sebagai pusat pertumbuhan nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi teknis penerapan teknologi *Vehicle to Grid (V2G)* pada armada bus listrik Transjakarta di Jakarta?
2. Apa saja kebutuhan infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung integrasi V2G pada sistem kelistrikan Jakarta?
3. Bagaimana integrasi operasional antara sistem V2G dan jaringan listrik Jakarta dapat dioptimalkan untuk menjaga stabilitas, efisiensi, dan keandalan sistem kelistrikan perkotaan?
4. Sejauh mana penerapan teknologi V2G pada bus listrik Transjakarta layak secara ekonomi dalam jangka pendek dan jangka panjang hingga tahun 2060?
5. Bagaimana kontribusi implementasi teknologi V2G pada bus listrik Transjakarta dalam mendukung target *Net Zero Emission* Indonesia tahun 2060?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis potensi teknis penerapan teknologi *Vehicle to Grid (V2G)* pada armada bus listrik Transjakarta, khususnya dalam konteks sistem kelistrikan Jakarta yang semakin kompleks.

2. Mengidentifikasi dan memetakan kebutuhan infrastruktur pendukung V2G, seperti sistem pengisian daya dua arah (*bi-directional charger*), sistem kontrol, serta jaringan *Smart Grid* yang terintegrasi.
3. Mengkaji integrasi operasional antara sistem V2G dan jaringan listrik Jakarta, dengan fokus pada optimalisasi stabilitas, efisiensi energi, serta keandalan sistem distribusi listrik perkotaan.
4. Menganalisis kelayakan ekonomi dari penerapan V2G dengan mempertimbangkan faktor biaya investasi, operasional, dan potensi pendapatan atau efisiensi sistem hingga tahun 2060.
5. Mengkaji kontribusi penerapan V2G terhadap target energi bersih dan *Net Zero Emission* nasional, serta memberikan rekomendasi kebijakan berbasis hasil studi teknis dan ekonomi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Akademis
 - a. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan studi terkait teknologi *Vehicle to Grid (V2G)* dan *smart grid*, khususnya dalam konteks sistem transportasi publik berbasis listrik.
 - b. Menjadi acuan bagi peneliti selanjutnya dalam melakukan studi kelayakan teknis dan ekonomi V2G di wilayah perkotaan di Indonesia.
2. Manfaat Praktis
 - a. Menyediakan informasi dan rekomendasi teknis bagi PT Transjakarta dan instansi terkait dalam merancang infrastruktur kelistrikan yang kompatibel dengan sistem V2G.
 - b. Memberikan gambaran kelayakan ekonomi untuk penerapan V2G pada skala besar di sektor transportasi publik, sebagai bagian dari strategi efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon.
 - c. Mendukung upaya pemerintah dan PLN dalam perencanaan transisi energi menuju *Net Zero Emission 2060*, melalui integrasi kendaraan listrik ke dalam sistem tenaga listrik.

3. Manfaat Kebijakan

- a. Menjadi bahan pertimbangan bagi pembuat kebijakan dalam menyusun regulasi atau insentif yang mendorong adopsi teknologi V2G secara luas di Indonesia.
- b. Memberikan dasar ilmiah untuk evaluasi kesiapan Jakarta dalam mengimplementasikan strategi energi bersih berbasis transportasi publik listrik.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka ruang lingkup masalah yang dibahas dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Objek Penelitian

Penelitian ini memusatkan perhatian pada armada bus listrik Transjakarta sebagai contoh kendaraan listrik publik berskala besar yang berpotensi diintegrasikan dengan sistem *Vehicle to Grid (V2G)*.

2. Lokasi Penelitian

Kajian dilakukan di wilayah Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta, yang menjadi pusat operasional Transjakarta sekaligus salah satu wilayah dengan konsumsi energi tertinggi di Indonesia. Jakarta juga sedang mengembangkan konsep *smart grid* dan elektrifikasi transportasi publik, sehingga relevan sebagai lokasi simulasi penerapan V2G.

3. Aspek Teknis

- a. Menganalisis potensi energi yang dapat disalurkan kembali dari baterai bus listrik ke jaringan listrik dalam skema V2G dengan mempertimbangkan *depth of discharge (DoD)*, siklus pengisian, efisiensi sistem, dan batas keausan baterai.
- b. Mengkaji kebutuhan infrastruktur teknis, termasuk ketersediaan dan kemampuan *bi-directional charger*, serta kesiapan jaringan distribusi PLN dalam menerima arus balik energi.

4. Aspek Ekonomi

- a. Menilai kelayakan finansial penerapan V2G melalui perhitungan *Capital Expenditure (CAPEX)*, *Operational Expenditure (OPEX)*, *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Benefit-Cost Ratio (BCR)*, dan *Levelized Cost of Storage (LCOS)*.

- b. Mengevaluasi potensi pendapatan dari penjualan energi balik (*reverse power*) ke PLN serta manfaat ekonomi tidak langsung, seperti penghematan biaya energi dan optimalisasi beban puncak.
 - c. Menyusun proyeksi ekonomi hingga tahun 2060 untuk menilai kesinambungan investasi dan peran V2G dalam mendukung target *Net Zero Emission* nasional.
5. Aspek Lingkungan dan Kebijakan
- a. Mengkaji kontribusi penerapan V2G terhadap pengurangan emisi karbon, peningkatan efisiensi energi, dan dukungan terhadap integrasi energi terbarukan dalam sistem kelistrikan Jakarta.
 - b. Menyesuaikan hasil analisis dengan kerangka kebijakan energi nasional, termasuk Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 mengenai percepatan kendaraan listrik berbasis baterai, serta strategi pembangunan rendah karbon Jakarta.

1.6 Kebaharuan

Penelitian ini menawarkan pendekatan multidisipliner dalam mengkaji penerapan teknologi *Vehicle to Grid (V2G)* pada armada bus listrik TransJakarta sebagai bagian dari sistem energi perkotaan yang berkelanjutan. Kajian tidak hanya berfokus pada aspek teknis pengaliran daya dua arah antara kendaraan dan jaringan listrik, tetapi juga mencakup analisis ekonomi dan lingkungan yang menjadi penentu utama kelayakan operasional teknologi tersebut.

Selain itu, penelitian ini mengembangkan sebuah model proyeksi jangka panjang hingga tahun 2060 yang memadukan perkembangan infrastruktur pengisian daya, kapasitas energi kendaraan, serta skenario kontribusi energi balik terhadap jaringan listrik Jakarta. Pendekatan ini memberikan perspektif baru mengenai peran V2G dalam memperkuat ketahanan energi perkotaan, menjaga stabilitas sistem kelistrikan, serta mengurangi emisi karbon sebagai bagian dari upaya nasional menuju target *Net Zero Emission*.