BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyediaan tenaga listrik yang andal dan berkualitas merupakan fondasi penting bagi pembangunan sosial dan ekonomi di berbagai wilayah di Indonesia. Dengan berkembangnya aktivitas ekonomi termasuk sektor industri kecil, perdagangan, layanan publik, dan rumah tangga, kebutuhan daya listrik meningkat tidak hanya dari sisi kuantitas tetapi juga dari sisi kualitas layanan seperti kestabilan tegangan dan keandalan pasokan. Apabila sistem distribusi listrik mengalami gangguan atau tidak beroperasi secara optimal, maka masyarakat lokal akan merasakan dampak berupa pemadaman yang lebih sering, kerusakan peralatan listrik, atau biaya pemeliharaan yang bertambah (Handayani dkk., 2024).

Di sisi penyelenggara layanan listrik, yaitu PT PLN (Persero), tantangan utama tidak hanya terletak pada kapasitas pembangkitan dan transmisi, tetapi juga pada tahap distribusi khususnya transformator distribusi yang berada di sisi sekunder jaringan. Transformator distribusi ini menjadi simpul penting antara jaringan menengah dan konsumen akhir. Ketidakseimbangan beban antar fasa pada transformator distribusi menjadi salah satu problem teknis yang sering muncul. Masalah ini bukan semata teknis internal PLN melainkan juga berdampak langsung bagi pelanggan dan masyarakat setempat, misalnya melalui naiknya rugi-rugi daya, menurunnya efisiensi sistem, dan penurunan kualitas layanan listrik (Epiwardi dkk., 2023).

Ketidakseimbangan beban terjadi saat beban yang terhubung ke masing-masing fasa (R, S, T) dari transformator distribusi tidak terealisasi secara rata. Akibatnya, arus penghantar netral bisa meningkat, transformator bekerja di kondisi yang kurang optimal, rugi-rugi daya menjadi lebih besar, suhu operasi naik, serta umur peralatan bisa berkurang. Sebagai contoh, dalam suatu penelitian ditemukan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator 20 kV menyebabkan rugi-rugi daya hingga 9,14% (Yusiran & Hasanudin, 2025).

Secara sosial, di wilayah seperti ULP Makale yang melayani masyarakat di Kabupaten Tana Toraja dan sekitarnya, layanan listrik yang stabil sangat penting bagi berbagai aktivitas lokal: rumah tangga, usaha mikro dan kecil, pertanian, pariwisata, dan fasilitas publik. Bila transformator distribusi di sisi sekunder tidak bekerja optimal karena pembebanan yang tidak seimbang, maka pelanggan dapat mengalami tegangan rendah, gangguan peralatan listrik, atau pemadaman lebih sering. Dampak tersebut dapat menurunkan produktivitas usaha, meningkatkan biaya operasional rumah tangga atau usaha, dan secara luas menurunkan kepuasan layanan masyarakat terhadap perusahaan listrik (Aly & Ahmed, 2025).

Isu terkini yang menarik perhatian adalah meningkatnya variabilitas beban listrik akibat perubahan pola konsumsi misalnya lebih banyak peralatan elektronik rumah tangga, UMKM yang bertumbuh, beban satu fasa yang dominan, serta penetrasi teknologi baru seperti pompa air otomatis atau sistem pendingin yang berbeban tidak seimbang. Hal ini dapat memperburuk kondisi ketidakseimbangan beban di jaringan distribusi. Sebagai contoh, penelitian terkini menemukan bahwa pada malam hari

ketidakseimbangan beban bisa mencapai 37,66% pada suatu gardu distribusi (Ma dkk., 2020).

Kajian penelitian terdahulu di Indonesia telah mengungkap sejumlah kondisi ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi. Contohnya, PT PLN (Persero) ULP Abepura di Papua menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban terhadap arus netral (Tonda et al., 2025). Lainnya, penelitian oleh Latif & Santoso (2022) mengenai trafo gardu E308 menemukan persentase ketidakseimbangan tertinggi 21,6% pada malam hari. Namun, banyak penelitian tersebut dilakukan pada transformator dengan kapasitas besar atau di jaringan primer, atau menggunakan fokus yang berbeda. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Pertama, sedikit penelitian yang secara spesifik menelaah transformator distribusi kapasitas kecil seperti 20 kV di sisi sekunder dan dalam konteks ULP di daerah terpencil seperti Makale. Kedua, banyak studi yang menyoroti aspek teknis seperti arus netral atau rugi-rugi daya, namun kurang mengaitkan langsung dengan kondisi operasional ULP lokal dan implikasi terhadap pelanggan serta tindakan korektif spesifik di level lokal. Ketiga, konteks geografis seperti wilayah Sulawesi Selatan (termasuk Kabupaten Tana Toraja) relatif kurang terwakili dalam literatur nasional (Nadeak dkk., 2025).

Penelitian ini dengan pendekatan kuantitatif akan mengukur secara empiris beban antar fasa pada transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder di wilayah ULP Makale, menghitung persentase ketidakseimbangan beban, dan kemudian menganalisis hubungan antara tingkat ketidakseimbangan tersebut dengan rugi-rugi daya atau indikator efisiensi layanan. Dengan demikian, penelitian ini akan

memperkaya literatur dengan data lokal terkini, mengidentifikasi sejauh mana kondisi ketidakseimbangan beban terjadi di transformator kecil pada sisi sekunder, serta merekomendasikan tindakan operasional yang konkret bagi ULP (Patilima, 2022).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana besar tingkat ketidakseimbangan beban antar fasa pada transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder di PT PLN (Persero) ULP Makale?
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban tersebut terhadap rugi-rugi daya dan efisiensi transformator distribusi di wilayah penelitian?

1.3 **Tujuan** Penelitian

1. Mengidentifikasi tingkat ketidakseimbangan beban antar fasa pada transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder di PT PLN (Persero) ULP Makale.
2. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi daya dan efisiensi transformator distribusi di wilayah penelitian.

1.4 Batasan Masalah

Batasan ini disusun untuk memperjelas ruang lingkup penelitian agar tetap fokus, terarah, dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan :

1. Penelitian ini dibatasi pada analisis ketidakseimbangan beban antar fasa pada transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder yang beroperasi di PT. PLN (Persero) ULP Makale, khususnya pada titik layanan pelanggan yang teridentifikasi memiliki perbedaan beban signifikan antar fasa.

2. Penelitian ini dibatasi pada data hasil pengukuran arus, tegangan, dan daya pada masing-masing fasa (R, S, dan T) serta data teknis transformator yang meliputi kapasitas nominal, jenis beban, dan lama operasi. Data diambil sebelum penyeimbangan beban pada sisi sekunder transformator.
3. Penelitian ini tidak mencakup analisis jaringan tegangan menengah (20 kV) atau faktor eksternal seperti gangguan sistem, cuaca, maupun kondisi pembangkitan daya. Fokus penelitian diarahkan pada evaluasi ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya, dan efisiensi transformator distribusi pada jaringan tegangan rendah 400/230 V.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya dalam kajian sistem tenaga listrik dan distribusi daya. Hasil penelitian dapat menjadi referensi empiris dalam memahami hubungan antara tingkat ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya, serta efisiensi transformator. Selain itu, penelitian ini memperkaya literatur lokal di Indonesia bagian timur yang masih minim kajian teknis dan dapat dijadikan acuan bagi penelitian lanjutan tentang optimasi jaringan distribusi pada kapasitas transformator kecil.

2. Manfaat Praktis

Bagi pihak PT. PLN (Persero) ULP Makale, penelitian ini dapat menjadi dasar pengambilan keputusan teknis dalam pengelolaan beban distribusi, seperti redistribusi beban antar fasa, pemeliharaan preventif, serta peningkatan efisiensi

energi. Temuan penelitian juga dapat membantu PLN dalam menekan rugi-rugi daya, memperpanjang umur transformator, dan meningkatkan keandalan sistem distribusi, sehingga berdampak positif terhadap pelayanan pelanggan.