

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan modern karena digunakan pada berbagai sektor, seperti rumah tangga, perkantoran, fasilitas umum, dan industri. Ketersediaan energi listrik yang andal dan berkualitas sangat bergantung pada kinerja sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi, hingga distribusi. Dalam sistem tersebut, transformator memiliki peranan penting karena berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai kebutuhan sistem tanpa mengubah frekuensi. Oleh karena itu, keandalan operasi transformator menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga kontinuitas dan kualitas penyaluran energi listrik (Yusiran & Hasanudin, 2025).

Pada sistem tenaga listrik tiga fasa, kondisi operasi yang ideal adalah ketika pembebanan pada masing-masing fasa berada dalam keadaan seimbang. Pada kondisi ini, arus pada fasa R, S, dan T memiliki besar yang relatif sama dengan sudut fasa yang saling berbeda sebesar 120° , sehingga jumlah vektor ketiga arus tersebut mendekati nol (Rifaldi et al., 2025). Akibatnya, arus yang mengalir pada penghantar netral juga sangat kecil atau mendekati nol. Kondisi pembebanan yang seimbang akan membantu menjaga efisiensi operasi transformator, mengurangi rugi-rugi daya, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Namun, dalam kondisi aktual di lapangan, pembebanan pada sistem tiga fasa tidak selalu berada dalam keadaan seimbang. Ketidakseimbangan beban dapat terjadi akibat distribusi beban satu fasa yang tidak merata, perubahan pola konsumsi pelanggan, serta penambahan beban yang tidak diikuti dengan pengaturan pembagian fasa yang seimbang (G. S. Wicaksono & Wrahatnolo, 2023). Ketika ketidakseimbangan ini terjadi, arus pada masing-masing fasa menjadi berbeda sehingga jumlah vektor arus tidak lagi sama dengan nol. Kondisi tersebut menyebabkan timbulnya arus netral pada transformator. Besarnya arus netral tidak

hanya dipengaruhi oleh tingkat ketidakseimbangan beban, tetapi juga oleh magnitudo arus pembebanan pada masing-masing fasa.

Ketidakseimbangan beban menyebabkan jumlah vektor arus ketiga fasa tidak sama dengan nol sehingga menimbulkan arus pada penghantar netral. Arus pada masing-masing fasa menyebabkan rugi beban pada transformator, sedangkan arus netral yang mengalir melalui jalur pentanahan dapat menimbulkan disipasi daya. Dengan demikian, ketidakseimbangan beban dapat memengaruhi arus netral dan rugi-rugi daya pada sistem transformator (Rifaldi et al., 2025; Yusiran & Hasanudin, 2025).

Fenomena ketidakseimbangan beban juga ditemukan pada Transformator Daya TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun. Berdasarkan data operasional Mei 2026, tanggal 20 Mei 2026 menunjukkan tingkat ketidakseimbangan beban tertinggi selama periode pengamatan. Pada pukul 10.00 WIB, arus fasa R, S, dan T masing-masing sebesar 503 A, 549 A, dan 499 A. Perbedaan tersebut menunjukkan pembebanan antar fasa yang tidak merata dan berpotensi menimbulkan arus netral serta meningkatkan rugi-rugi daya.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya. Penelitian oleh (G. S. Wicaksono & Wrahatnolo, 2023) menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi dapat menimbulkan arus netral dan rugi daya pada penghantar netral. Penelitian (Rifaldi et al., 2025) juga menemukan bahwa ketidakseimbangan beban pada Penyulang GI Gorontalo Baru berkaitan dengan peningkatan arus netral dan rugi daya. Sementara itu, (Yusiran & Hasanudin, 2025) menganalisis transformator *step-down* 20 kV/400 V dan menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban dapat memengaruhi rugi-rugi daya serta efisiensi transformator. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban perlu diperhatikan dalam mengevaluasi kondisi operasi transformator.

Meskipun demikian, penelitian terdahulu pada umumnya lebih banyak dilakukan pada transformator distribusi atau penyulang, sedangkan penelitian pada transformator daya di gardu induk dengan memanfaatkan data operasi aktual masih relatif terbatas.

Selain itu, penelitian yang mengombinasikan perhitungan manual dengan simulasi DIgSILENT PowerFactory untuk membandingkan hasil analisis ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi-rugi daya pada transformator daya juga masih terbatas. Penelitian ini turut mempertimbangkan keberadaan NGR sebagai bagian dari sistem, sehingga analisis tidak hanya mencakup rugi beban transformator, tetapi juga daya yang terdisipasi pada NGR akibat arus netral. Perbedaan objek, metode, dan parameter analisis tersebut menjadi kesenjangan penelitian yang mendasari pelaksanaan penelitian ini.

Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan analisis mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada Transformator TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun. Analisis dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi DIgSILENT PowerFactory untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat ketidakseimbangan beban, besarnya arus netral, rugi beban transformator, serta daya yang terdisipasi pada NGR. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan judul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi Daya pada Transformator di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun.”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari dilakukannya penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap besarnya arus netral pada Transformator TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun?
2. Bagaimana pengaruh arus netral akibat ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi daya pada Transformator TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun?
3. Berapa besar persentase ketidakseimbangan beban pada Transformator TD1 dan bagaimana klasifikasinya berdasarkan acuan evaluasi ketidakseimbangan arus yang digunakan dalam penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka tujuan dari penelitian Adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap besarnya arus netral pada Transformator TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun.
2. Menganalisis pengaruh arus netral akibat ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi daya pada Transformator TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun.
3. Menentukan persentase ketidakseimbangan beban pada Transformator TD1 serta mengevaluasi klasifikasinya berdasarkan acuan ketidakseimbangan arus yang digunakan dalam penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari Penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Secara akademik, penelitian ini dapat memberikan kajian empiris mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator daya.
2. Bagi PT PLN (Persero), hasil penelitian ini dapat menjadi bahan evaluasi dalam melakukan pemantauan ketidakseimbangan beban, arus netral, dan kondisi pembebanan Transformator TD1 di Gardu Induk Arun.
3. Secara praktis, penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai hasil perhitungan manual dan simulasi DIgSILENT PowerFactory pada berbagai kondisi pembebanan Transformator TD1.
4. Bagi penelitian selanjutnya, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan analisis ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi-rugi daya pada transformator daya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun Batasan Penelitian Laporan Tugas Akhir ini ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada Transformator Daya TD1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Arun menggunakan data operasional dan data teknis selama Mei 2026, dengan analisis utama pada data tanggal 20 Mei 2026.
2. Parameter yang dianalisis meliputi persentase ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi beban transformator, daya yang terdisipasi pada *Neutral Grounding Resistor* (NGR), dan total rugi-rugi daya yang dianalisis.
3. Perhitungan manual dilakukan terhadap seluruh titik pengamatan tanggal 20 Mei 2026, sedangkan simulasi DIgSILENT PowerFactory 2024 dilakukan pada empat kondisi pembebanan, yaitu beban minimum, beban rata-rata, beban puncak, dan ketidakseimbangan maksimum.
4. Penelitian ini hanya membahas ketidakseimbangan beban dan arus netral serta pengaruhnya terhadap rugi-rugi daya. Aspek lain di luar pembahasan tersebut tidak dianalisis karena tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.