

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator tiga fasa merupakan komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, yang berfungsi menyalurkan energi antar tingkat tegangan secara efisien. Meskipun transformator distribusi kapasitif besar sering digunakan di lapangan, Transformator laboratorium juga memungkinkan mahasiswa dan peneliti untuk mempelajari perilaku transformator dalam kondisi nyata melalui simulasi beban seimbang maupun tidak seimbang dengan memanfaatkan panel interaktif untuk memantau parameter penting seperti arus, tegangan, efisiensi, dan regulasi. Selain itu meskipun transformator distribusi berkapasitas besar memiliki efisiensi operasi tinggi, model laboratorium memberikan keunggulan berupa kemudahan pengamatan fenomena dinamis dalam kondisi tidak ideal yang sulit dicapai di lapangan karena keterbatasan akses, risiko keselamatan, dan biaya tinggi [1].

Salah satu aspek penting yang banyak diperhatikan dalam kajian transformator tiga fasa adalah ketidakseimbangan beban antar fasa, yaitu kondisi ketika arus yang mengalir pada masing-masing fasa tidak seimbang. Keadaan ini dapat memunculkan arus netral yang cukup besar, meningkatkan kerugian daya, menurunkan efisiensi transformator, serta mempercepat kerusakan isolasi akibat timbulnya panas berlebih dalam praktik distribusi tenaga listrik, ketidakseimbangan beban sering muncul karena perbedaan konsumsi daya antar konsumen pada tiap fasa, sehingga arus yang disalurkan menjadi tidak merata. Oleh karena itu memahami konsekuensi dari ketidakseimbangan beban menjadi hal yang krusial, baik untuk menjaga kinerja dan keandalan transformator maupun untuk mengurangi kerugian energi serta memperpanjang masa pakai peralatan listrik [2].

Sebagian besar kajian mengenai ketidakseimbangan beban pada transformator tiga fasa masih banyak dilakukan dengan memanfaatkan transformator distribusi berdaya besar di lapangan, seperti kapasitas 20 kVA hingga 200 kVA. Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan karena kondisi beban di lapangan sulit dikendalikan, terdapat potensi bahaya bagi keselamatan, serta membutuhkan biaya dan akses yang cukup tinggi

Selain itu karakteristik beban nyata yang berubah-ubah sering menimbulkan variasi arus netral dan rugi daya yang tidak menentu, sehingga menyulitkan proses pengendalian eksperimen maupun konsistensi hasil pengukurann atas dasar itu penggunaan transformator skala laboratorium dengan kapasitas kecil menjadi pilihan yang lebih efektif, karena memungkinkan penelitian dilakukan dalam lingkungan yang lebih aman, terkontrol, dan mudah direplikasi, serta memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dampak ketidakseimbangan beban terhadap kinerja transformator [3].

Studi berbasis laboratorium dengan transformator tiga fasa berkapasitas kecil memiliki potensi besar untuk mengatasi keterbatasan penelitian lapangan yang sering terkendala oleh faktor variabilitas beban, risiko keselamatan, serta keterbatasan biaya. Pengujian dalam lingkungan laboratorium memungkinkan proses pengukuran dilakukan secara lebih terkontrol dan sistematis, termasuk pemantauan arus per fasa, arus netral, rugi-rugi daya, serta efisiensi transformator, kondisi yang terkendali ini memberikan peluang bagi peneliti untuk melakukan validasi empiris terhadap teori ketidakseimbangan beban, sekaligus menghasilkan analisis kuantitatif yang lebih mendalam, dengan demikian laboratorium tidak hanya berfungsi sebagai sarana simulasi kondisi nyata, tetapi juga sebagai media yang lebih aman, ekonomis, dan akurat dalam memahami pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap kinerja transformator tiga fasa [4].

Pendekatan laboratorium dengan transformator tiga fasa skala kecil memberikan keunggulan dalam mengendalikan variabel eksperimen sekaligus memastikan akurasi pengukuran parameter penting seperti arus per fasa, arus netral, rugi-rugi daya, dan efisiensi. Melalui kondisi yang lebih stabil dan terkendali, penelitian di laboratorium mampu memvalidasi teori ketidakseimbangan beban dengan data empiris yang konsisten, peningkatan ketidakseimbangan beban secara langsung berdampak pada kenaikan arus netral dan rugi-rugi daya, sehingga eksperimen berbasis laboratorium menjadi relevan untuk mendalami hubungan antara fenomena ketidakseimbangan dan kinerja transformator dalam konteks praktis distribusi tenaga listrik [5].

Penelitian ini dirancang untuk menutup celah dari studi terdahulu dengan melakukan pengujian langsung pada transformator tiga fasa berkapasitas 1 kVA di laboratorium dalam kondisi beban tidak seimbang yang dikendalikan. Pengujian

difokuskan pada pencatatan parameter penting, meliputi arus netral, rugi-rugi daya, distribusi arus tiap fasa, dan efisiensi transformator melalui pendekatan eksperimental yang sistematis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah berupa data empiris baru dan analisis kuantitatif terkait dampak ketidakseimbangan beban terhadap kinerja transformator lebih jauh, hasil penelitian juga diproyeksikan menjadi dasar praktis bagi strategi penyeimbangan beban desain sistem proteksi, serta peningkatan keandalan distribusi tenaga listrik, Tujuan utamanya adalah menelaah secara menyeluruh pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa transformator, dengan luaran teoritis berupa validasi model ketidakseimbangan dan luaran praktis yang dapat mendukung perencanaan distribusi energi yang efisien dan handal [6].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, terdapat sejumlah persoalan yang perlu diteliti dan dianalisis untuk menemukan solusinya oleh karena itu, pertanyaan-pertanyaan penelitian yang akan dijawab melalui studi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana ketidakseimbangan beban berdampak terhadap kinerja pada transformator tiga fasa kapasitas 1 kVA skala laboratorium?
2. Bagaimana ketidakseimbangan beban mempengaruhi efisiensi transformator tiga fasa kapasitas 1 kVA dalam kondisi uji laboratorium?
3. Bagaimana ketidakseimbangan beban terhadap besar arus netral pada transformator 3 fasa kapasitas 1 kVA skala laboratorium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban antar fasa terhadap arus netral pada transformator tiga fasa kapasitas 1 kVA skala laboratorium.
2. Menganalisis dampak ketidakseimbangan beban terhadap kinerja transformator 3 fasa kapasitas 1 kVA skala laboratorium.
3. Menilai perubahan efisiensi transformator tiga fasa kapasitas 1 kVA dalam kondisi beban seimbang/tidak seimbang pada pengujian laboratorium.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan agar fokus penelitian tetap terjaga. Adapun batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan transformator tiga fasa skala laboratorium berkapasitas 1 kVA, sehingga hasilnya terbatas pada representasi transformator kecil dan tidak mencakup transformator distribusi berdaya besar di lapangan.
2. Variasi beban hanya mencakup kondisi seimbang dan tidak seimbang yang dikendalikan di laboratorium, sehingga faktor eksternal seperti fluktuasi beban nyata di lapangan tidak dibahas.
3. Parameter yang diamati difokuskan pada arus per fasa, arus netral, serta efisiensi transformator, sementara aspek lain seperti suhu lingkungan, isolasi, dan desain fisik tidak dianalisis secara rinci.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan data empiris mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral, rugi-rugi daya, dan efisiensi transformator tiga fasa skala laboratorium sebagai penguatan teori dan referensi penelitian lanjutan.
2. Penelitian dapat menjadi acuan dalam penyeimbangan beban dan peningkatan keandalan transformator pada sistem distribusi tenaga listrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi teori pustaka yang membahas pustaka maupun teori terkait yang digunakan dalam menyelesaikan penulisan

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang langkah–langkah atau penjelasan tahapan penelitian lebih mendasar yang berisi terkait identifikasi dan analisa kebutuhan penelitian.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Bab ini memaparkan berbagai hasil yang telah dilakukan dan disertai hasil yang didapatkan beserta solusi dari permasalahan yang didapat.

BAB V Penutup

Bab ini kesimpulan dan saran sebagai penunjang pengembangan penelitian kedepannya.