

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Transformator distribusi merupakan aset penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik karena berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan menengah ke jaringan tegangan rendah sebelum disalurkan kepada pelanggan. Kinerja transformator sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis seperti arus beban tiap fasa, keseimbangan beban, kualitas tegangan, dan kualitas sistem pentanahan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban (unbalance) dapat meningkatkan arus netral dan menyebabkan pemanasan berlebih pada lilitan transformator sehingga mempercepat degradasi umur peralatan [1] [2]. Demikian pula, tingginya nilai tahanan pentanahan dapat mengurangi sensitivitas proteksi dan meningkatkan risiko bahaya sentuh serta kegagalan operasi [3].

ULP Dolok Masihul – UP3 Lubuk Pakam merupakan salah satu wilayah kerja PLN dengan total 401 unit gardu distribusi yang harus dipantau kondisinya secara rutin. Namun, jumlah petugas inspeksi yang tersedia hanya 2 orang, sehingga beban kerja inspeksi sangat tinggi. Kondisi geografis wilayah kerja berupa perbukitan, area perkebunan sawit, jarak antar gardu yang jauh, serta keterbatasan sinyal telekomunikasi semakin menyulitkan proses inspeksi lapangan. Tantangan geografis ini menyebabkan keterlambatan pencatatan data dan meningkatnya risiko ketidaktepatan pengukuran di lapangan.

Permasalahan utama yang sering ditemukan di wilayah kerja ini meliputi ketidakseimbangan beban, nilai tahanan pentanahan yang tinggi, serta kondisi transformator yang tidak termonitor dengan baik. Ketiga permasalahan tersebut sangat bergantung pada akurasi data lapangan. Misalnya, analisis ketidakseimbangan beban membutuhkan data arus tiap fasa yang benar-benar valid, sedangkan evaluasi kualitas pentanahan membutuhkan pengukuran resistansi yang akurat. Tanpa data yang dapat dipertanggungjawabkan, operator berpotensi salah menilai kondisi gardu, sehingga

tindakan teknis seperti pemasangan pembagi beban, perbaikan pentanahan, atau pemeriksaan kondisi trafo tidak dapat dilakukan secara tepat.

Saat ini proses inspeksi gardu masih dilakukan secara manual menggunakan formulir kertas sebelum diinput ke aplikasi digital seperti Dream Mobile atau Maximo. Metode manual ini memiliki berbagai kelemahan, termasuk risiko salah tulis, perbedaan waktu pencatatan, ketidaktepatan lokasi inspeksi, hingga kemungkinan manipulasi data [4]. Di lapangan, sering terjadi ketidaksesuaian data inspeksi, seperti data arus dan tegangan yang tidak sesuai dengan kondisi riil gardu. Ketidakakuratan ini mengakibatkan kesalahan dalam analisis teknis, seperti salah menentukan prioritas pemeliharaan, tidak terdeteksinya gardu dengan persentase ketidakseimbangan yang tinggi, atau terlewatnya gardu dengan nilai tahanan pentanahan yang tidak memenuhi standar SPLN/PUIL.

Perkembangan teknologi digital menawarkan solusi untuk meningkatkan integritas data inspeksi melalui penggunaan NFC (Near Field Communication), QR Code, GPS, dan geofencing. Teknologi NFC efektif memastikan kehadiran fisik petugas di lokasi inspeksi dan mengurangi peluang pemindaian palsu [5] [6]. QR Code dapat digunakan sebagai cadangan, meski memiliki kelemahan seperti potensi pemindaian tanpa kehadiran fisik, sehingga perlu dikombinasikan dengan validasi lokasi dan waktu [7]. Validasi lokasi berbasis GPS dan koordinat geofencing telah banyak dimanfaatkan pada aplikasi infrastruktur untuk memastikan akurasi lokasi inspeksi [8]. Validasi waktu juga penting karena kondisi beban antara waktu LWBP dan WBP memiliki karakteristik berbeda yang memengaruhi hasil analisis arus dan tegangan [9] [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu memastikan bahwa data inspeksi gardu benar-benar valid, akurat, dan sesuai lokasi sebelum digunakan dalam analisis teknis kelistrikan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan sistem validasi data inspeksi gardu distribusi berbasis NFC dan QR Code, yang dilengkapi dengan validasi lokasi (GPS/geofencing), validasi waktu, dan autentikasi petugas. Data arus, tegangan, dan tahanan pentanahan yang telah tervalidasi dari sistem ini akan digunakan sebagai dasar analisis ketidakseimbangan beban, evaluasi nilai pentanahan, serta pemantauan kondisi transformator distribusi.

Dengan adanya sistem validasi ini, proses inspeksi di ULP Dolok Masihul diharapkan dapat menjadi lebih akurat, terpercaya, dan dapat dipertanggungjawabkan. Hal ini akan berdampak langsung pada peningkatan kualitas analisis teknis, pengambilan keputusan operasional, serta keandalan sistem distribusi tenaga listrik secara keseluruhan.

1.2. Rumusan Masalah

Inspeksi gardu distribusi membutuhkan data pengukuran arus, tegangan, dan kondisi trafo yang akurat. Ketidaksesuaian data dengan kondisi lapangan dapat menimbulkan kesalahan analisis, kerugian energi, hingga kerusakan peralatan. Untuk itu, penelitian ini merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana memastikan data hasil pengukuran arus dan tegangan sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan?
2. Bagaimana sistem dapat membantu mendeteksi indikasi beban lebih (*overload*) pada trafo distribusi?
3. Bagaimana validasi data inspeksi dapat digunakan untuk mengantisipasi kerugian energi listrik akibat data yang tidak sesuai?
4. Bagaimana penerapan teknologi NFC dan QR Code dapat menjamin keaslian data serta ketepatan lokasi dan waktu inspeksi?

1.3. Tujuan

Sebelum melakukan penelitian, perlu dirumuskan tujuan yang jelas agar arah penelitian terarah dan hasil yang dicapai sesuai dengan permasalahan yang telah diidentifikasi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem validasi data hasil inspeksi gardu distribusi untuk memastikan kesesuaian antara data yang dicatat dengan kondisi riil di lapangan.
2. Mengembangkan sistem yang diharapkan mampu menghindari terjadinya kondisi trafo overload (OB) maupun beban tidak seimbang (*unbalance*) akibat ketidaksesuaian data inspeksi.

3. Meminimalkan risiko kerugian energi listrik (*losses*) serta potensi gangguan sistem distribusi melalui validasi data yang lebih akurat.
4. Mengimplementasikan teknologi NFC dan QR Code sebagai metode autentikasi lokasi dan waktu untuk menjamin keaslian data inspeksi.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi secara akademis, tetapi juga menghadirkan manfaat praktis yang nyata di lapangan. Melalui penerapan sistem inspeksi berbasis digital, hasil penelitian ini dapat langsung digunakan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi pengelolaan gardu distribusi, khususnya pada wilayah ULP Dolok Masihul.

Secara lebih rinci, manfaat praktis dari penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Meningkatkan akurasi inspeksi dengan memastikan data yang diperoleh lebih sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.
2. Mengurangi risiko trafo overload (OB) dengan menyediakan sistem monitoring yang mampu memberikan informasi kondisi beban secara lebih cepat dan tepat.
3. Meminimalisasi ketidakseimbangan beban melalui pendataan dan analisis yang lebih akurat sehingga tindakan korektif dapat dilakukan lebih dini.
4. Mendukung keandalan sistem distribusi tenaga listrik dengan mengurangi potensi gangguan akibat kesalahan inspeksi maupun keterlambatan informasi.
5. Meningkatkan efisiensi kerja petugas inspeksi, karena proses pencatatan data dapat dilakukan lebih cepat dengan bantuan teknologi (misalnya QR Code atau NFC).
6. Mendukung transformasi digital di bidang kelistrikan, khususnya pada proses monitoring dan inspeksi trafo distribusi.

1.5. Ruang Lingkup Masalah

Dalam sebuah penelitian, diperlukan batasan ruang lingkup agar pembahasan tidak melebar dan tetap fokus pada tujuan yang hendak dicapai. Pada penelitian ini, ruang lingkup masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan hanya pada gardu distribusi yang berada di wilayah kerja ULP Dolok Masihul, dengan jumlah sampel gardu sekitar 15–20 unit dari total 401 gardu yang ada.
2. Sistem yang dirancang hanya difokuskan pada proses validasi data hasil inspeksi gardu distribusi, bukan pada perbaikan atau penggantian perangkat keras kelistrikan.
3. Teknologi yang digunakan dalam sistem validasi adalah Near Field Communication (NFC) dan QR Code untuk memastikan keaslian serta ketepatan data inspeksi.
4. Data inspeksi yang menjadi fokus penelitian meliputi arus beban, tegangan, suhu trafo, serta kondisi beban trafo (seimbang/tidak seimbang dan normal/overload).
5. Penelitian ini hanya sebatas pada tahap perancangan dan uji coba sistem validasi pada sejumlah gardu sampel, belum sampai pada tahap implementasi penuh di seluruh gardu distribusi.

Dengan adanya pembatasan ruang lingkup tersebut, penelitian ini diharapkan dapat lebih terarah dan fokus pada tujuan utama, yaitu merancang serta menguji sistem validasi data inspeksi gardu distribusi berbasis NFC dan QR Code. Batasan ini juga memungkinkan penelitian menghasilkan keluaran yang lebih terukur, relevan, dan sesuai dengan permasalahan yang terjadi di lapangan.