

Impact Analysis of Transformer Extension and Network Maneuvering Strategy on Tulungagung Substations

Article History:

Received
20 October 2025

Revised
12 November 2025
Accepted
7 December 2025

**RIVALDO SETYA PAMUNGKAS, CANDRA FEBRI
NUGRAHA**

Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada,
Indonesia
Email: candra.febri.nugraha@ugm.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan konsumsi listrik di Tulungagung menyebabkan transformator di GI Tulungagung 1 dan 2 mendekati batas kapasitas. Untuk mengatasinya, PT PLN (Persero) UP3 Kediri menambahkan satu transformator 60 MVA di GI New Tulungagung disertai redistribusi beban. Penelitian ini menganalisis dampak penambahan transformator terhadap pembebanan, rugi-rugi daya, dan profil tegangan, serta menentukan skema manuver jaringan paling efisien selama pemeliharaan. Simulasi dilakukan dengan DIgSILENT PowerFactory menggunakan data sistem distribusi Tulungagung. Hasil menunjukkan penurunan pembebanan menjadi 62,8% dan 70,5%, peningkatan tegangan minimum dari 0,91 p.u. menjadi 0,93 p.u., serta penurunan rugi-rugi daya dari 2,84 MW menjadi 2,71 MW (4,6%). Dari tiga skema manuver yang diuji, skema ketiga memberikan kinerja terbaik dengan tegangan minimum 0,94 p.u. dan rugi-rugi 3,90 MW. Penambahan transformator terbukti meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi.

Kata kunci: Aliran daya, gardu induk, manuver, transformator, rugi-rugi daya

ABSTRACT

Increasing electricity demand in Tulungagung has caused transformers at Substation 1 and 2 to reach critical loading. To address this, PT PLN (Persero) UP3 Kediri added a 60 MVA transformer at the New Tulungagung Substation with load redistribution. This study analyzes the impact of the new transformer on transformer loading, power losses, and voltage profile, and identifies the most efficient network maneuver scheme during maintenance. Simulations using DIgSILENT PowerFactory were based on Tulungagung distribution data. Results show reduced loading to 62.8% and 70.5%, improved minimum voltage from 0.91 p.u. to 0.93 p.u., and loss reduction from 2.84 MW to 2.71 MW (4.6%). Among three maneuver schemes, the third achieved the best performance with 0.94 p.u. minimum voltage and 3.90 MW losses. The new transformer significantly enhances system efficiency and reliability.

Keywords: Load flow, power losses, power substation, transformer, maneuvering

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan konsumsi energi listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahun. Kondisi ini mendorong sistem distribusi bekerja mendekati batas kapasitasnya, terutama pada transformator yang mengalami pembebahan berlebih seiring peningkatan jumlah pelanggan dan aktivitas industri (**Yunus, dkk, 2022**). Situasi tersebut tidak hanya menurunkan efisiensi sistem tetapi juga mempercepat penurunan umur isolasi dan komponen transformator (**Siregar, dkk, 2021**). Cara mengatasi transformator yang mengalami pembebahan lebih yaitu dengan menambahkan atau menyisipkan transformator untuk membagi beban (**Ningrum, dkk, 2023**). Penambahan transformator merupakan solusi teknis umum yang efektif untuk menurunkan rugi-rugi daya dan menjaga kestabilan tegangan (**Riyanto, dkk, 2022**). Peningkatan kapasitas memungkinkan penyaluran daya yang lebih merata dan mengurangi arus yang mengalir pada konduktor, sehingga rugi-rugi daya menurun signifikan (**Rahman & Akbar, 2021**). Selain itu, kualitas tegangan di ujung penyulang juga lebih stabil karena beban tidak lagi terlalu terkonsentrasi pada satu unit transformator (**Khasanah, 2024**). Upaya perbaikan efisiensi tidak dapat dilepaskan dari rekayasa kapasitas dan pemerataan beban (**Sugiharto & Santoso, 2020**).

Efisiensi sistem distribusi perlu diimbangi dengan kontinuitas suplai, terutama selama proses pemeliharaan transformator. Manuver jaringan yang dirancang secara strategis dapat mencegah terjadinya gangguan suplai selama kegiatan perawatan (**Setiawan & Hardiansyah, 2020**). Selain itu, penataan beban melalui skema manuver yang tepat memungkinkan distribusi pembebahan yang lebih seimbang serta menjaga profil tegangan tetap berada dalam rentang standar (**Wafiq, dkk, 2023**), (**Oktaviani, dkk, 2024**).

DIgSILENT PowerFactory merupakan salah satu perangkat lunak simulasi sistem tenaga listrik yang populer dan sudah terbukti di lingkungan riset maupun industri. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menganalisis performa jaringan, meliputi rugi-rugi daya dan profil tegangan pada berbagai kondisi operasi (**Pratama, dkk, 2019**). Perangkat lunak ini juga mendukung simulasi manuver jaringan, baik pada kondisi normal maupun saat terjadi gangguan atau pemeliharaan (**Binilang, dkk, 2017**).

Berdasarkan Statistik PLN 2022, terjadi pertumbuhan beban pelanggan sekitar 6,2% per tahun, yang menuntut peningkatan kapasitas dan fleksibilitas sistem (**PLN, 2022**). Selaras dengan tuntutan tersebut, integrasi teknologi cerdas seperti FLISR (*Fault Location, Isolation, and Service Restoration*) mulai banyak diterapkan karena mampu mempercepat pemulihan sistem saat gangguan (**Jazaeri & Milanovic, 2015**). Tidak hanya itu, integrasi PMU (*Phasor Measurement Unit*) dan AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) terbukti mempermudah deteksi gangguan dan mempercepat restorasi layanan (**Dehghani, dkk, 2020**).

Pembebahan transformator di Gardu Induk (GI) Tulungagung 1 dan 2 telah mendekati kondisi overload, masing-masing mencapai 98,3% dan 94%. Kondisi ini berpotensi menurunkan efisiensi operasi serta memperpendek umur peralatan. Untuk mengatasinya, PT PLN (Persero) UP3 Kediri merencanakan penambahan satu unit transformator berkapasitas 60 MVA di GI New Tulungagung disertai redistribusi beban. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak penambahan transformator tersebut terhadap pembebahan transformator eksisting, rugi-rugi daya, dan profil tegangan sistem distribusi, serta menentukan skema manuver jaringan paling efisien selama pemeliharaan transformator. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory berdasarkan kondisi aktual sistem, dengan mempertimbangkan lokasi sambungan antar penyulang dan panjang saluran dalam penentuan skema manuver jaringan.

2. METODA PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di bawah pengelolaan PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Kediri. Objek yang dikaji adalah jaringan distribusi yang terhubung dengan Gardu Induk (GI) New Tulungagung, termasuk transformator eksisting dan rencana penambahan transformator baru berkapasitas 60 MVA di GI New Tulungagung.

2.2 Metode dan Alat Simulasi

Penelitian ini difokuskan pada analisis dampak penambahan transformator terhadap pembebahan transformator eksisting, rugi-rugi daya jaringan, dan jatuh tegangan sistem distribusi. Selain itu, penelitian ini juga merancang skema manuver jaringan saat pemeliharaan transformator 1 di GI New Tulungagung untuk menjaga kontinuitas suplai. Analisis dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory, yang memiliki kemampuan perhitungan aliran daya berbasis metode Newton-Raphson serta mendukung pemodelan sistem tenaga secara detail. Data yang digunakan meliputi parameter teknis transformator dan saluran distribusi, konfigurasi penyulang, serta data beban aktual dari PLN UP3 Kediri.

2.3 Tahapan Penelitian

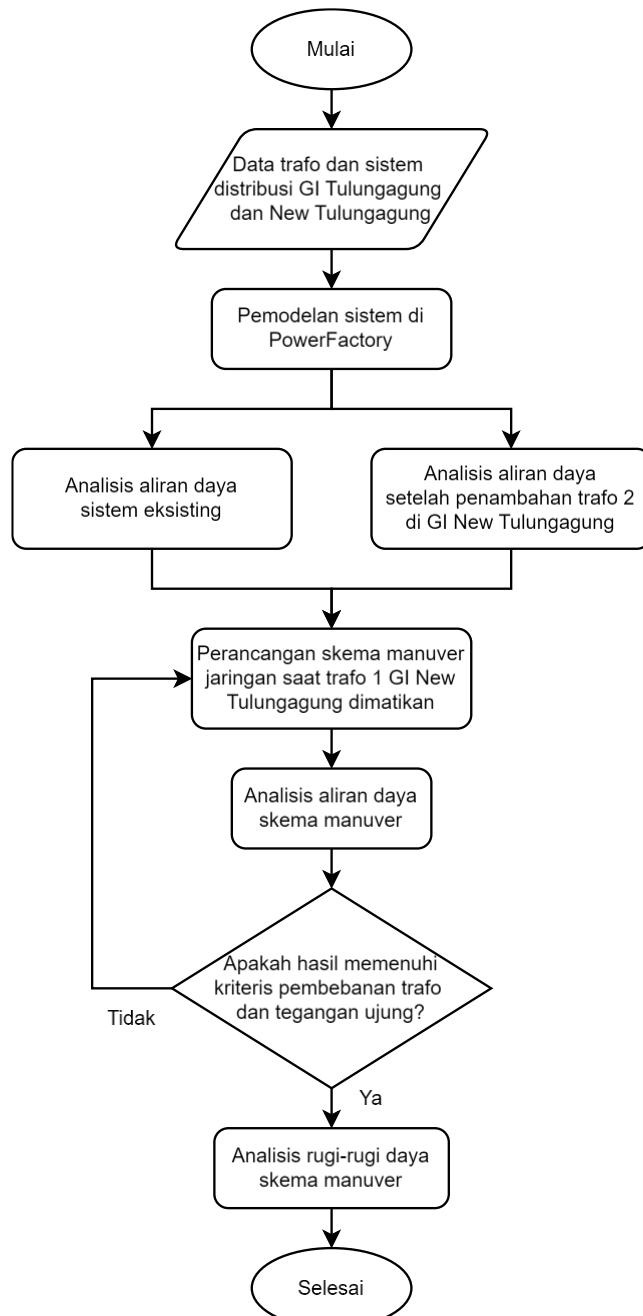
Metode penelitian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan pengumpulan data transformator dan sistem distribusi di GI Tulungagung dan GI New Tulungagung, meliputi data kapasitas transformator, panjang saluran, beban terpasang, serta *single line diagram* sistem eksisting. Data tersebut kemudian digunakan untuk melakukan pemodelan sistem pada DIgSILENT PowerFactory.

Tahap berikutnya adalah analisis aliran daya pada kondisi eksisting untuk mengetahui profil pembebahan transformator dan tegangan pada masing-masing bus. Setelah itu dilakukan analisis aliran daya setelah penambahan transformator 60 MVA di GI New Tulungagung guna mengevaluasi pengaruhnya terhadap pembebahan dan kondisi tegangan sistem.

Selanjutnya, dilakukan perancangan skema manuver jaringan ketika transformator 1 GI New Tulungagung dimatikan untuk kebutuhan pemeliharaan. Penentuan skema manuver ini perlu dilakukan karena penambahan transformator 2 di GI New Tulungagung memungkinkan transformator 1 dilakukan pemeliharaan karena kini tersedia unit cadangan. Setiap skema manuver kemudian diuji melalui analisis aliran daya, dan hasilnya dievaluasi berdasarkan kriteria pembebahan transformator serta batas tegangan ujung saluran. Jika hasil belum memenuhi kriteria, dilakukan penyesuaian skema manuver hingga kondisi yang optimal tercapai. Tahap akhir adalah analisis rugi-rugi daya pada skema manuver terbaik.

2.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan langkah penting dalam penyusunan model jaringan distribusi tenaga listrik yang representatif terhadap kondisi lapangan. Dalam penelitian ini, perancangan sistem dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu perancangan simulasi jaringan penyulang, perancangan rekonfigurasi jaringan, dan perancangan manuver jaringan.

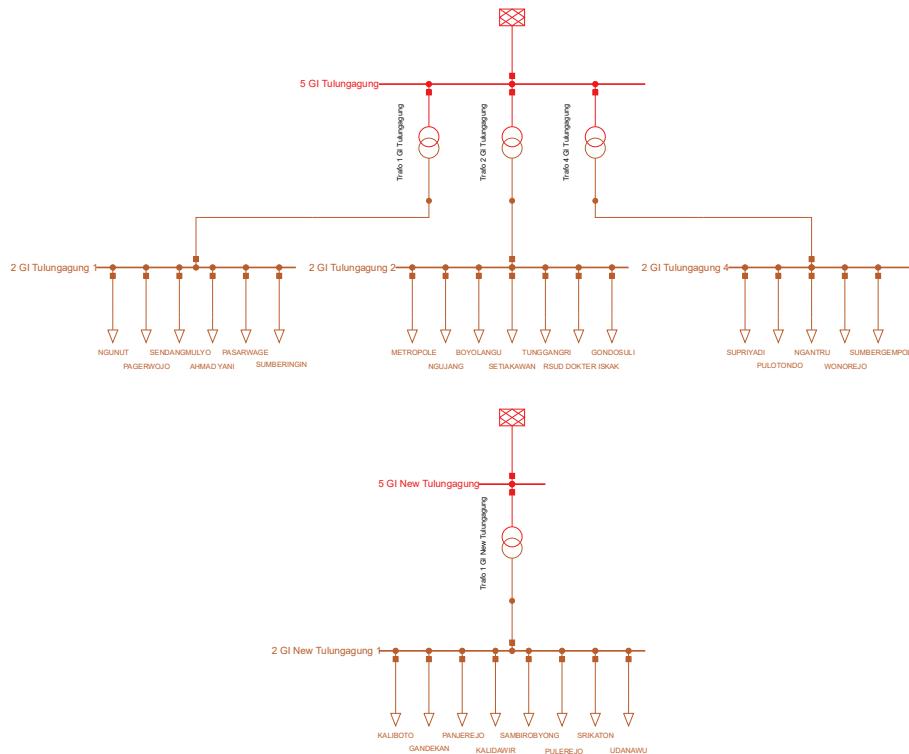


Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.4.1 Perancangan Simulasi Jaringan Penyalang

Tahapan pertama dalam perancangan sistem adalah pembangunan model jaringan distribusi eksisting menggunakan DIgSILENT PowerFactory seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pemodelan ini bertujuan merepresentasikan struktur jaringan yang dikelola oleh PLN UP3 Kediri, termasuk konfigurasi penyulang, transformator, dan beban. Pembangunan model dimulai dari penggambaran jalur distribusi utama dan titik-titik cabang, dilanjutkan dengan parameter *input* komponen seperti impedansi saluran, kapasitas transformator, serta penempatan beban aktual pada setiap *node* berdasarkan data lapangan. Adapun daftar penyulang yang terhubung pada jaringan ditunjukkan pada Tabel 1.

Impact Analysis of Transformer Extension and Network Maneuvering on Power Losses and Voltage Drop at New Tulungagung Substation



Gambar 2. Single Line Diagram Jaringan Eksisting

Tabel 1. Daftar Penyulang

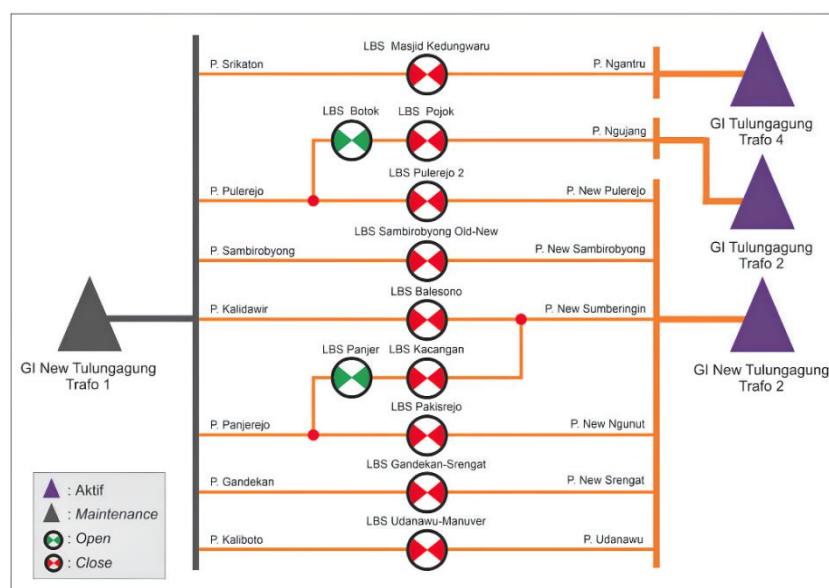
Gardu Induk	Transformator	Nama Penyulang
Tulungagung	Transformator 1	Ngunut Pasarwage Ahmad Yani Sendangmulyo Pagerwojo Sumberingin
	Transformator 2	Metropole Ngujang Boyolangu Setiakawan Tunggangri RSUD Dokter Iskak Gondosuli
	Transformator 4	Supriadi Pulotondo Ngantru Wonorejo Sumbergempol
New Tulungagung	Transformator 1	Srikaton Pulerejo Sambirobyong Kalidawir Panjerejo Gandekan Kaliboto Udanawu

2.4.2 Perancangan Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengubah konfigurasi distribusi penyulang dengan tujuan menyeimbangkan pembebatan antar transformator dan meminimalkan rugi-rugi daya serta jatuh tegangan. Dalam proses ini, sejumlah penyulang dipindahkan dari transformator eksisting ke transformator baru 60 MVA di GI New Tulungagung. Perubahan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan letak fisik jaringan, panjang saluran, serta tingkat pembebatan transformator sebelumnya. Daftar penyulang yang dipindahkan dari transformator lama ke transformator baru ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perancangan Rekonfigurasi Jaringan

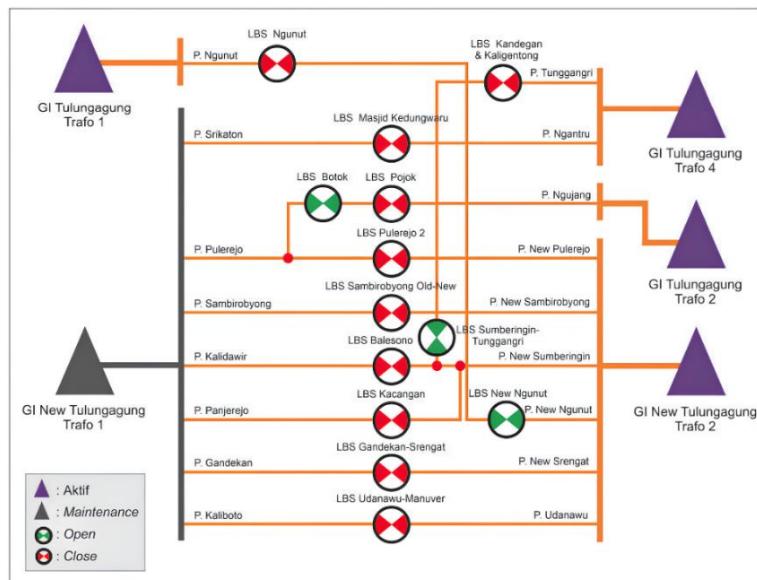
Nama Penyulang Lama	Transformator Lama	Nama Penyulang Baru	Transformator Baru
Ngunut	Trafo 1 GI Tulungagung	New Ngunut	Trafo 2 GI New Tulungagung
Sumberingin	Trafo 1 GI Tulungagung	New Sumberingin	Trafo 2 GI New Tulungagung
Tunggangri (Sebagian)	Trafo 2 GI Tulungagung	New Sumberingin	Trafo 2 GI New Tulungagung
Metropole	Trafo 2 GI Tulungagung	New Sambirobyong	Trafo 2 GI New Tulungagung
Sumbergempol (Sebagian)	Trafo 4 GI Tulungagung	New Sambirobyong	Trafo 2 GI New Tulungagung
Sambirobyong (Sebagian)	Trafo 1 GI New Tulungagung	New Sambirobyong	Trafo 2 GI New Tulungagung
Pulerejo (Sebagian)	Trafo 1 GI New Tulungagung	New Pulerejo	Trafo 2 GI New Tulungagung
Udanawu	Trafo 1 GI New Tulungagung	Udanawu	Trafo 2 GI New Tulungagung
Srengat	GI Blitar	New Srengat	Trafo 2 GI New Tulungagung



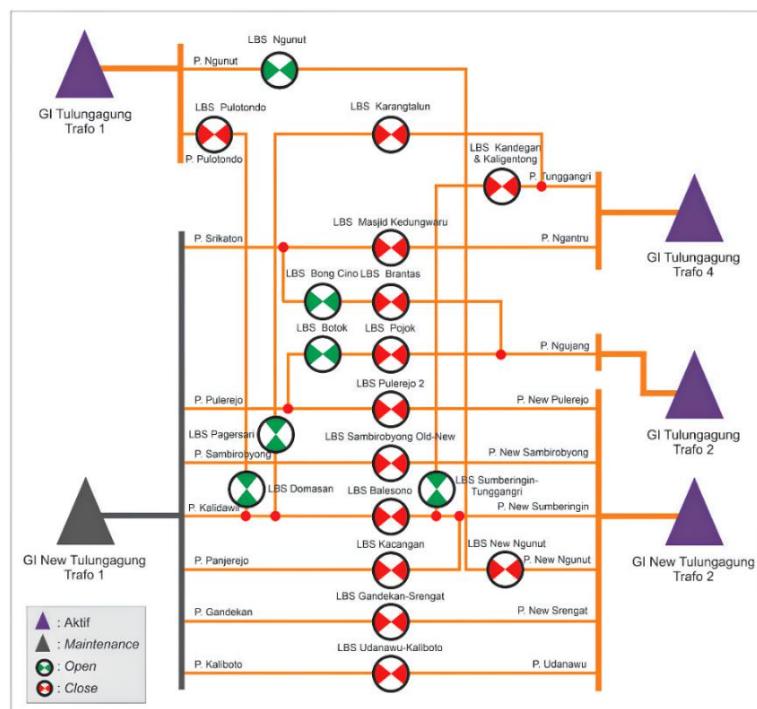
Gambar 3. Alur Manuver Jaringan Skema 1

2.4.3 Perancangan Manuver Jaringan

Perancangan manuver jaringan bertujuan untuk memastikan kontinuitas suplai saat dilakukan pemeliharaan transformator. Skema manuver dirancang agar beban pada transformator yang dipelihara dapat dialihkan ke transformator lain secara optimal. Dalam penelitian ini, dirancang tiga skema manuver jaringan apabila transformator 1 GI New Tulungagung sedang mengalami pemeliharaan, dan tiap skema disimulasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap rugi-rugi daya dan profil tegangan. Tiga skema manuver jaringan tersebut diilustrasikan pada Gambar 3 s.d. Gambar 5.



Gambar 4. Alur Manuver Jaringan Skema 2



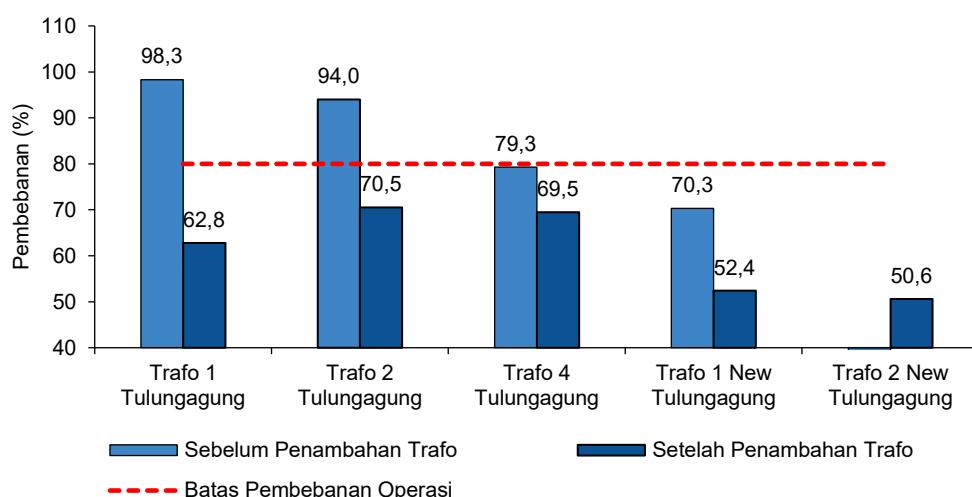
Gambar 5. Alur Manuver Jaringan Skema 3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Jaringan Sebelum dan Setelah Penambahan Transformator

Berdasarkan Gambar 6, transformator 1 dan 2 di GI Tulungagung mengalami *overload* dengan tingkat pembebanan masing-masing sebesar 98,3% dan 94% dari kapasitas transformator. Nilai ini melebihi batas standar pembebanan transformator dalam kondisi normal sebesar 80% sesuai SPLN, sehingga berpotensi mengurangi efisiensi transformator. Setelah dilakukan penambahan satu unit transformator berkapasitas 60 MVA di GI New Tulungagung, dilakukan redistribusi beban dari transformator 1, 2, dan 4 GI Tulungagung serta transformator 1 GI New Tulungagung ke transformator 2 GI New Tulungagung.

Hasil simulasi menunjukkan adanya penurunan pembebanan yang signifikan, di mana transformator 1 Tulungagung turun dari 98,3% menjadi 62,8% dan transformator 2 Tulungagung turun dari 94% menjadi 70,5%. Penurunan pembebanan sebesar 25–35% ini menunjukkan pemerataan distribusi beban antar gardu yang lebih optimal setelah integrasi transformator baru dan manuver jaringan dilakukan. Sementara pembebanan pada transformator 4 di GI Tulungagung berkurang dari 79,3% menjadi 69,5%, serta pembebanan pada transformator 1 di GI New Tulungagung berkurang dari 70,3% menjadi 52,4%.

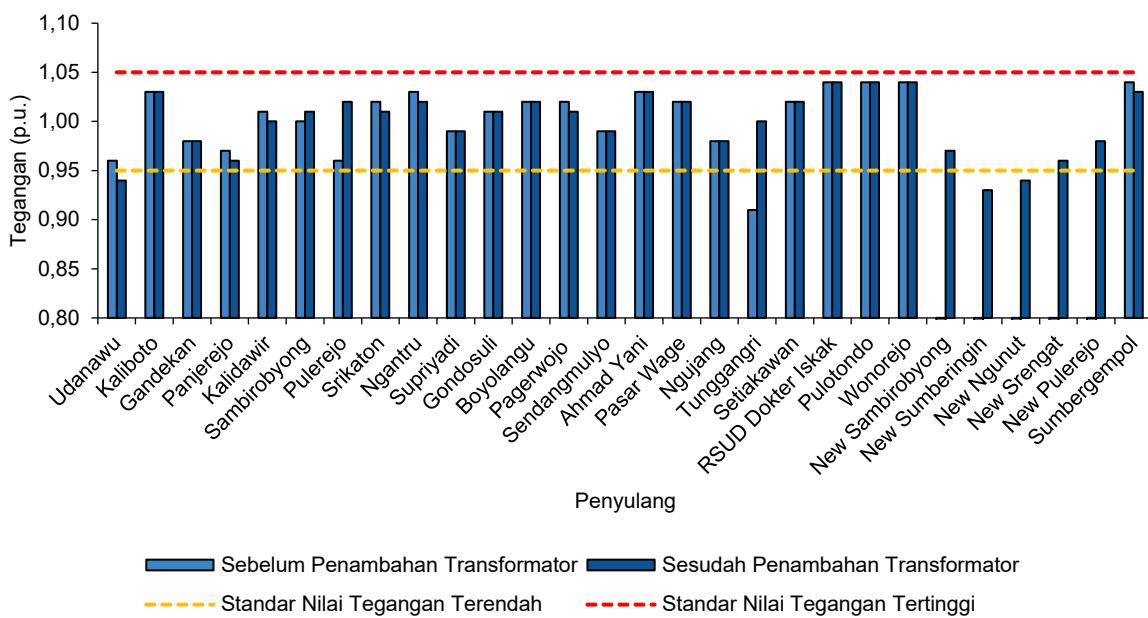


Gambar 6. Pembebanan Transformator sebelum dan setelah Penambahan Transformator 2 di GI New Tulungagung

Aspek analisis kedua adalah analisis profil tegangan pada jaringan eksisting dan setelah penambahan transformator. Kondisi eksisting menunjukkan jatuh tegangan yang cukup signifikan pada ujung penyulang, dengan nilai tegangan terendah sebesar 0,91 p.u. pada Penyulang Tunggangri (Gambar 7), yang berada di bawah batas minimum SPLN sebesar 0,95 p.u.

Setelah penambahan transformator, tegangan pada hampir seluruh ujung penyulang mengalami perbaikan. Hal ini terutama disebabkan oleh pemendekan panjang saluran efektif akibat redistribusi beban. Nilai tegangan terendah pasca-penambahan transformator tercatat sebesar 0,93 p.u. pada Penyulang New Sumberingin, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

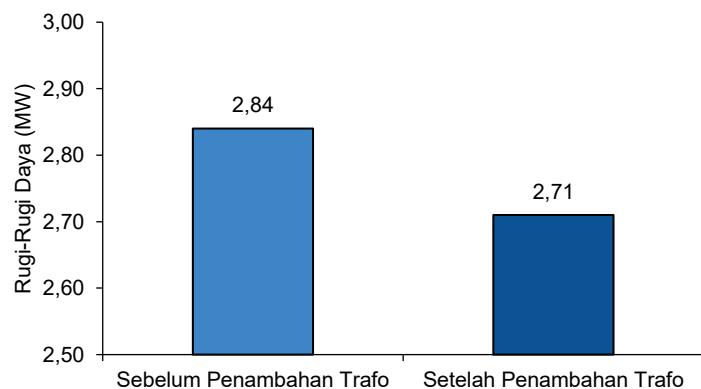
Impact Analysis of Transformer Extension and Network Maneuvering on Power Losses and Voltage Drop at New Tulungagung Substation



Gambar 7. Tegangan Terendah pada tiap-tiap Penyalang sebelum dan sesudah Penambahan Transformator 2 di GI New Tulungagung

Aspek analisis ketiga adalah pengujian rugi-rugi daya aktif pada sistem distribusi. Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting, total rugi-rugi daya aktif pada sistem distribusi GI New Tulungagung mencapai 2,84 MW, yang menunjukkan tingkat inefisiensi cukup tinggi akibat pembebangan transformator yang berlebih serta panjangnya jalur distribusi. Setelah dilakukan penambahan satu unit transformator berkapasitas 60 MVA di GI New Tulungagung, hasil simulasi menunjukkan penurunan rugi-rugi daya menjadi 2,71 MW, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

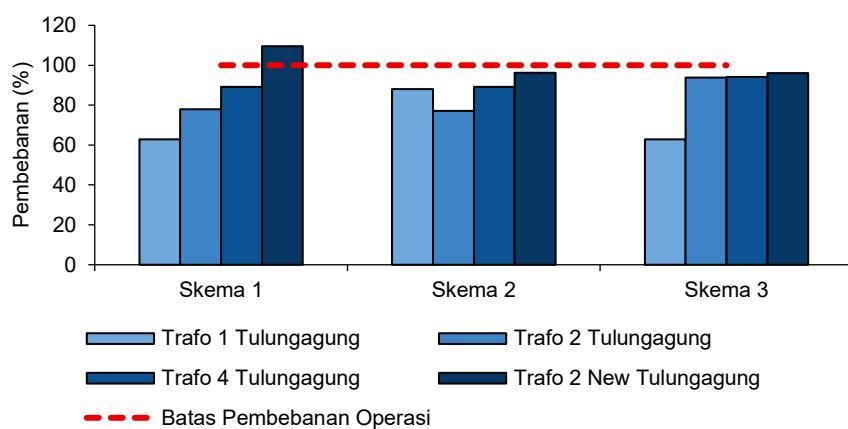
Penurunan sebesar 0,13 MW atau sekitar 4,6% ini menunjukkan bahwa penambahan transformator baru mampu mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi dengan pembebangan transformator yang lebih merata, sehingga tidak beroperasi di level pembebangan tinggi yang dapat menurunkan efisiensi. Selain itu, perubahan konfigurasi jaringan pasca penambahan transformator baru juga mengurangi panjang beberapa penyalang, sehingga rugi-rugi daya bisa berkurang.



Gambar 8. Rugi-Rugi Daya Sistem sebelum dan setelah Penambahan Transformator 2 di GI New Tulungagung

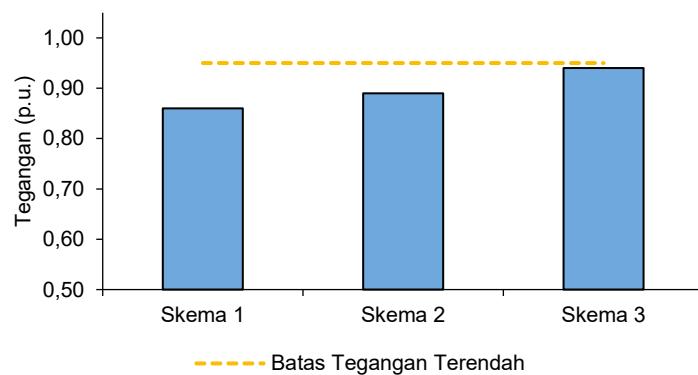
3.2 Analisis Manuver Saat Pemeliharaan Transformator

Analisis manuver jaringan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan jaringan dalam menyalurkan energi listrik selama pemeliharaan pada salah satu transformator gardu induk. Tiga skema manuver dirancang untuk mengatasi potensi pemadaman akibat pemeliharaan transformator. Saat transformator 1 GI New Tulungagung menjalani pemeliharaan, pelaksanaan skema manuver 1 menyebabkan transformator 2 GI New Tulungagung mengalami *overload* hingga 109,5%, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9. Namun, pada skema 2 dan 3, semua transformator beroperasi di bawah batas 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa skema 2 dan 3 dapat dijadikan opsi manuver jaringan saat transformator 1 GI New Tulungagung sedang dalam perbaikan atau mengalami gangguan.

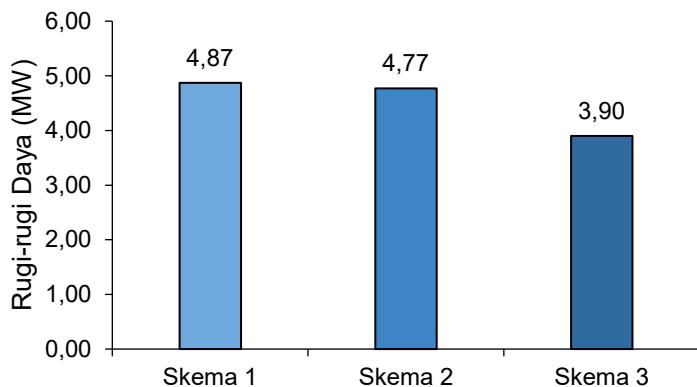


Gambar 9. Pembebatan Transformator saat Pemeliharaan Transformator 1 di GI New Tulungagung

Selain pembebatan transformator, pemilihan skema manuver jaringan juga mempertimbangkan aspek jatuh tegangan, karena permasalahan tegangan langsung berdampak pada pelanggan. Gambar 10 menunjukkan tegangan minimum dari saluran distribusi pada ketiga skema manuver saat pemeliharaan transformator 1 GI New Tulungagung. Skema 1 dan 2 menunjukkan tegangan jauh di bawah standar 0,95 p.u., yaitu berturut-turut pada 0,86 dan 0,89 p.u., yang menandakan manuver kurang efektif. Skema 3 menghasilkan tegangan minimum 0,94 p.u. saat pemeliharaan transformator. Meskipun tegangan minimum pada skema ini sedikit di bawah standar, skema ini tetap menjadi opsi yang terbaik di antara semua skema.



Gambar 10. Tegangan Terendah saat Manuver Jaringan akibat Pemeliharaan Transformator 1 di GI NEW Tulungagung



Gambar 11. Nilai Rugi-Rugi Daya saat Pemeliharaan Transformator 1 di GI NEW Tulungagung

Rugi-rugi jaringan yang terjadi saat pemeliharaan transformator 1 GI New Tulungagung dengan skema-skema manuver jaringan ditunjukkan pada Gambar 11. Dari sisi rugi-rugi daya, skema 1 menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 4,87 MW saat pemeliharaan transformator, diikuti oleh skema 2 pada angka 4,77 MW. Skema 3 menghasilkan rugi-rugi terendah, dengan nilai masing-masing 3,90 MW. Hasil ini menunjukkan bahwa skema 3 merupakan pilihan manuver jaringan terbaik jika ditinjau dari efisiensi sistem.

4. KESIMPULAN

Penambahan transformator 2 di GI New Tulungagung berkapasitas 60 MVA secara signifikan meningkatkan kinerja sistem distribusi di wilayah Tulungagung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa redistribusi beban dari GI Tulungagung ke GI New Tulungagung mampu menurunkan pembebangan transformator sebesar 25–35%, dari kondisi awal 98,3% dan 94% menjadi 62,8% dan 70,5%, sehingga distribusi daya menjadi lebih merata. Dari sisi profil tegangan, nilai tegangan terendah meningkat dari 0,91 p.u. pada kondisi eksisting menjadi 0,93 p.u. setelah penambahan transformator, menandakan adanya perbaikan kualitas tegangan di ujung penyulang. Selain itu, rugi-rugi daya aktif sistem berkurang dari 2,84 MW menjadi 2,71 MW atau turun sebesar 4,6%. Analisis manuver jaringan saat pemeliharaan transformator 1 menunjukkan bahwa dari tiga skema yang diuji, skema 3 menghasilkan performa terbaik dengan tegangan minimum 0,94 p.u. dan rugi-rugi 3,90 MW. Dengan demikian, integrasi transformator baru terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi, sedangkan skema manuver jaringan 3 direkomendasikan sebagai strategi manuver jaringan untuk menjaga suplai listrik selama kondisi pemeliharaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Kediri, khususnya Bapak Puji Suprianto yang telah memberikan dukungan data dan informasi teknis selama proses penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Binilang, R. B., Tumaliang, H., & Lisi, F. (2017). Studi analisa rugi daya pada saluran distribusi primer 20 kV di Kota Tahunan. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(2).

- Dehghani, M., Farzaneh, H., & Ghaedi, M. (2020). Improving fault detection and service restoration in smart grids using PMU and AMI integration. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105664.
- Jazaeri, A., & Milanovic, J. V. (2015). Enhancing power system reliability using fault location, isolation and service restoration technologies. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(3), 1270–1278.
- Khasanah, Z. N. (2024). Perbaikan tegangan melalui up-rating pengantar dan pengubahan tap transformator distribusi pada penyulang SINE PT PLN (Persero) UP3 Madiun menggunakan simulasi ETAP 19.01. [Undergraduate thesis, Universitas Gadjah Mada].
- Ningrum, N. R. D. K., Ginting, N. L. B., Muflih, H. N., Ramadhan, M. D. C., & Nugraha, C. F. (2023). Analisis Perbandingan Uprating dan Sisip Transformator Tiga Fase untuk Mengantisipasi Terjadinya Overload pada Transformator Distribusi Penyulang GJN-12 Nomor Tiang U3-89/1 PT PLN (Persero) ULP Yogyakarta Kota. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.22146/juliet.v4i2.87124>.
- Oktaviani, W. A., Saputri, D. G., & Barlian, T. (2024). Analisis drop tegangan untuk perbaikan kualitas layanan listrik pada penyulang Andalas. *Elkomika*, 12(1), 45–51.
- PLN (Persero). (2022). Statistik PLN 2022. Retrieved December 10, 2023, from <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/05/Statistik-PLN-2022-Final-2.pdf>
- Pratama, A. D., Ramadhan, I., & Irawan, B. (2019). Analisis optimasi kapasitas transformator dan susut daya menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 5(2), 88–94.
- Rahman, M. A., & Akbar, R. (2021). Evaluasi rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV akibat ketidakseimbangan beban menggunakan simulasi ETAP. *Jurnal Rekayasa Sistem Elektrika*, 15(1), 55–62.
- Riyanto, A., Susanto, D., & Hafid, M. (2022). Analisis penambahan trafo 150 kV terhadap keandalan dan efisiensi sistem tenaga listrik. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 18(3), 101–108.
- Setiawan, M. A., & Hardiansyah, A. (2020). Strategi manuver jaringan distribusi saat pemeliharaan trafo untuk meningkatkan keandalan sistem. *Jurnal Keteknikan Energi*, 9(2), 56–64.
- Siregar, F. A., Gunawan, D., & Nugraha, B. (2021). Analisis perencanaan kapasitas dan lokasi transformator distribusi berbasis simulasi jaringan. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 7(1), 17–24.

Impact Analysis of Transformer Extension and Network Maneuvering on Power Losses and Voltage Drop at New Tulungagung Substation

- Sugiharto, R., & Santoso, D. (2020). Studi pengaruh rugi-rugi daya terhadap efisiensi sistem distribusi menggunakan metode load flow. *Jurnal Teknologi dan Sistem Energi*, 6(1), 33–40.
- Wafiq, B., Sahidanto, M. H. S., Zain, H. A., Nurulita, F. A., & Putri, T. E. (2023). Analisis susut daya jaringan sebagai skema opsi penentuan jalur manuver jaringan distribusi 20 kV penyulang PWO2 PT PLN (Persero) ULP Purworejo. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 4(2), 39–45.
- Yunus, M. A., Kurniawan, R. D., & Fajar, M. (2022). Kajian keandalan suplai listrik saat pemeliharaan transformator dengan pendekatan manuver beban. *Jurnal Energi dan Sistem Distribusi*, 5(1), 45–52.