



Analisa Sinkronisasi Trafo Tegangan Menengah 20 KV/400 V Hubungan Sejajar

Nathaniel L.Bijang¹, Otopianus Mellolo², Toban T. Pairunan³
Yonatan Parassa⁴, Elieser M. Rongre⁵, Luther Mappadang⁶

Sarjana Terapan Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado^{1,6}
D3 Teknik Komputer, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado^{2,4,5}
Sarjana Terapan Teknik Informatika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado³
E-mail: natanpolimdo@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas penyaluran daya listrik adalah dengan melakukan operasi pensejajaran atau paralel transformator, operasi paralel transformator adalah penambahan kapasitas daya listrik dengan menggandengkan transformator distribusi eksisting dengan transformator distribusi yang baru secara paralel agar mendapatkan kapasitas trafo yang lebih besar dengan tegangan yang tetap sama dengan tegangan sebelum proses pensejajaran trafo. Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka dan metode campuran antara pendekatan kualitatif deskriptif dan metode pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis sinkronisasi trafo tegangan menengah 20 KV/400 V hubungan sejajar yang diterapkan dalam sistem jaringan distribusi tegangan menengah. Beberapa parameter yang menjadi acuan sebelum pemasangan trafo secara sejajar antara lain; Tegangan, Frekuensi dan Rasio Tegangan harus sama, Urutan Fasa dan Polaritas trafo yang akan disejajarkan harus sama, Posisi Tap Changer setiap trafo harus sama, Impedansi trafo yang disejajarkan harus sama, Vektor group trafo harus sama, Kapasitas trafo tidak harus sama. Dalam memparalelkan trafo rasio kapasitas maksimum (rating daya kVA) yang disarankan secara internasional adalah maksimum 2:1, artinya trafo terbesar tidak boleh memiliki kapasitas lebih dari 2 kali lipat trafo terkecil agar pembagian beban seimbang dan trafo kapasitas kecil tidak mengalami kelebihan beban.

Kata kunci: Trafo, paralel, sejajar, kapasitas, listrik

1. PENDAHULUAN

Pemakaian daya listrik yang meningkat ini pastinya menjadi masalah yang harus mendapatkan solusi atas permasalahan overload trafo agar tidak ada gangguan berupa pemadaman saat terjadi gangguan beban lebih atau beban tak seimbang, maka penanggungan dilapangan harus cepat bilamana terjadi penambahan daya listrik. Karena permintaan konsumen akan energi listrik terus meningkat maka suatu waktu kapasitas trafo daya akan mencapai pembebanan lebih 80% dari kapasitas maksimumnya, ini yang akan dihindari agar trafo eksisting tetap awet maka perlu di tambah kapasitas dengan memparalelkan dua atau lebih trafo pada jaringan yang sama. Salah satu proses peningkatan kapasitas penyaluran daya listrik adalah dengan melakukan operasi pensejajaran atau paralel transformator itulah yang menjadi alasan utama atau latar belakang penelitian ini kami lakukan.

Operasi paralel transformator adalah penambahan kapasitas daya listrik dengan menggandengkan transformator distribusi eksisting dengan transformator distribusi yang baru secara paralel agar mendapatkan kapasitas trafo yang lebih besar dengan tegangan yang tetap sama dengan tegangan sebelum proses pensejajaran trafo. Pada saat beban trafo meningkat

setiap tahunnya sementara kapasitas trafo sudah maksimal maka salah satu cara menanggulangi masalah peningkatan beban trafo yang selalu naik setiap tahun adalah dengan menambah trafo baru yang disejajarkan (diparalelkan) dengan trafo yang sudah ada untuk meningkatkan kapasitas trafo sehingga trafo-trafo tersebut secara kontinu mampu melayani permintaan beban yang meningkat setiap tahunnya.

Pensejajaran trafo tentu memiliki persyaratan yang wajib dipenuhi agar trafo yang di sejajarkan tersebut dapat berfungsi dengan optimal dan memenuhi semua persyaratan teknis dan secara ekonomis membutuhkan biaya yang seminimal mungkin. Manfaat dari pensejajaran (paralelkan) beberapa trafo yaitu mendapatkan peningkatan kapasitas total trafo yang diparalelkan, peningkatan keandalan pelayanan, memudahkan perawatan trafo jika salah satu trafo rusak atau perlu pemeliharaan /perawatan maka trafo lainnya tetap dapat menyuplai beban sehingga pemadaman listrik dapat dicegah. Pensejajaran trafo untuk mengurangi rugi-rugi daya, peningkatan efisiensi dan fleksibilitas,

Pensejajaran trafo dapat juga mengurangi rugi-rugi daya yaitu saat beban rendah salah satu trafo bisa di non aktifkan (dimatikan) sehingga trafo yang aktif bisa bekerja pada kapasitas optimalnya. Kapasitas trafo menentukan seberapa besar daya yang dapat meneruskan atau menerima listrik, satuan kapasitas trafo adalah kVA. Semakin besar kapasitas trafo maka semakin besar pula yang dapat disalurkan. Kapasitas trafo dihitung dalam satuan kVA untuk sistem tiga fasa : $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$, dimana S= kapasitas trafo (kVA), V= Tegangan antar fasa (V) dan I = Arus beban (Ampere). Dalam menentukan kapasitas trafo tidak hanya menjumlahkan total beban (kW) tetapi juga harus memperhitungkan factor daya ($\cos \varphi$) yang umumnya berkisar 0,8 hingga 0,9. Daya nyata (kW) harus dibagi dengan faktor daya untuk mendapatkan daya kompleks atau daya semu (kVA). Standar pembebanan trafo daya idealnya beban puncak trafo tidak melebihi 80% dari kapasitas terpasang trafo.

Nilai impedansi biasanya tertera secara permanen di nameplate trafo dalam bentuk persentase (%Z). Nilai ini didapatkan dari tes hubung singkat di laboratorium atau pabrikan trafo, Dimana persen impedansi (%Z) = $\left(\frac{V_{uji}}{V_{nominal}} \times 100\% \right)$ Dimana Vuji adalah tegangan yang disuntikan pada kumparan primer agar mengalir arus nominal di kumparan sekunder yang dihubung singkat. Arus gangguan maksimum yang bisa dilewati trafo jika terjadi short circuit dihitung dengan formula $I_{SC} = \frac{I_{nominal}}{\%Z}$, dimana I_{SC} = I Short Circuit, %Z = persen impedansi trafo.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka dan metode campuran antara pendekatan kualitatif deskriptif dan metode pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis sinkronisasi trafo tegangan menengah 20 KV / 400 V hubungan sejajar yang diterapkan dalam sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20kV/400V tiga fasa. Pendekatan metode kualitatif ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menggali secara mendalam proses pemahaman makna dibalik fenomena atau peristiwa alam, sains dan teknologi yang menghasilkan data deskriptif berupa kata, gambar, dan sebagainya serta mengutamakan kedalaman interpretasi dari fenomena atau peristiwa yang diteliti. Sedangkan pendekatan metode kuantitatif ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menggali secara mendalam proses pengolahan data-data numerik dengan menganalisa data-data numerik tersebut menggunakan formula atau model-model matematik, teori-teori elektrik mekanikal yang berkaitan dengan fenomena atau peristiwa alam, sains dan teknologi yang bertautan dengan proses analisis sinkronisasi trafo tegangan menengah 20 KV / 400 V hubungan sejajar atau paralel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat akan dilaksanakan pemasangan transformator distribusi 20kV/400V secara sejajar atau paralel, maka terdapat beberapa faktor atau parameter yang menjadi acuan sebelum pemasangan sejajar/paralel tersebut, antara lain :

- Tegangan , Frekuensi dan Rasio Tegangan harus sama
- Urutan Fasa dan Polaritas trafo yang akan disejajarkan harus sama
- Posisi Tap Changer setiap trafo harus sama
- Impedansi trafo yang disejajarkan harus sama
- Vektor group trafo harus sama
- Kapasitas trafo tidak harus sama

3.1. Tegangan harus sama

Kedua atau lebih trafo yang disejajarkan atau diparalelkan harus sama nilai tegangan nominalnya saat diparalelkan. Perbedaan tegangan sekunder walaupun kecil akan menimbulkan beda potensial antara trafo yang akan mengakibatkan timbulnya arus sirkulasi antar kedua trafo tersebut. $I_{\text{sirkulasi}} = \frac{\Delta V}{Z_{T1} + Z_{T2}}$ dimana $I_{\text{sirkulasi}}$ = arus sirkulasi (A); ΔV = beda tegangan kedua trafo tanpa beban (open circuit) ; Z_{T1} = impedansi internal trafo 1 (Ohm); Z_{T2} impedansi internal trafo2 (ohm) . Arus sirkulasi yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih.

3.2. Frekuensi harus sama

Frekuensi yang sama adalah salah satu syarat mutlak dalam mensejajarkan trafo distribusi daya listrik. Jika frekuensi antar trafo berbeda akan terjadi perbedaan tegangan induksi antara sekunder trafo, perbedaan ini memicu munculnya arus sirkulai yang tinggi dalam belitan trafo. Arus sirkulasi yang tinggi akibat perbedaan frekuensi dapat menghasilkan panas berlebihan yang berpotensi merusak belitan trafo dan komponen lainnya.

3.3. Rasio Tegangan harus sama

Rasio tegangan atau perbandingan lilitan primer dan sekunder trafo harus sama saat trafo disejajarkan / diparalelkan agar arus sirkulasi (circulating current) tidak timbul di kumparan sekunder trafo pada kondisi trafo tanpa beban, perbedaan rasio tegangan menyebabkan perbedaan tegangan induksi yang memicu pembebanan tidak merata dan resiko kerusakan trafo.pembebanan tidak merata mengakibatkan trafo tidak akan menanggung beban sesuai kapasitas (kVA) masing-masing.

3.4. Urutan Fasa harus sama

Jika urutan fasa tidak sama akan terjadi hubung singkat yang parah pada saat trafo diparalelkan yang berpotensi merusak trafo dan peralatan system lainnya yang terhubung dengan trafo. Urutan fasa menentukan urutan puncak tegangan fasa contoh R-S-T atau R-T-S, jika urutan berbeda misalnya trafo A urutan R-S-T dan trafo B urutan R-T-S maka fasa S dan T akan terhubung secara silang menyebabkan beda potensial yang besar antara fasa yang seharusnya sefasa, berakibat pada arus sirkulasi masif.

3.5. Polaritas harus sama

Polaritas kedua atau lebih trafo yang disejajarkan harus sama sebagai keharusan mutlak karena berkaitan langsung dengan keamanan operasional dan kinerja sistem tenaga Listrik. Jika

polaritas terbalik misalnya polaritas aditif dihubungkan dengan polaritas subtraktif maka akan terjadi perbedaan potensian yang besar antara terminal yang diparalelkan, hal ini mengakibatkan arus sirkulasi yang sangat tinggi (hubung singkat) yang dapat merusak trafo.

3.6. Posisi Tap Changer harus sama

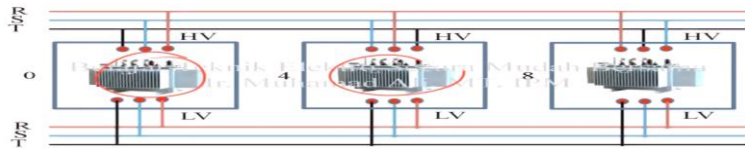
Posisi tap changer pada trafo yang akan diparalelkan harus sama, jika tap changer berbeda setiap trafo, tegangan sekunder antara kedua trafo tidak akan seimbang, jika ketidakseimbangan terjadi maka beban yang dipikul oleh masing-masing trafo menjadi tidak sebanding atau tidak proporsional dengan kapasitas kVA trafo.

3.7. Impedansi Trafo yang disejajarkan harus sama

Impedansi sebuah trafo umumnya dicantumkan pada name plate trafo tersebut dalam satuan persen, misalnya 2%, 3% dan seterusnya misalnya trafo dengan rasio 2400V/240V memiliki persen impedansi sesuai name plate 3% maka drop tegangan pada trafo tersebut adalah $V_{drop} = V \cdot Z\%$ atau $V_{drop} = 2400V \cdot 3\% = 72V$ hal ini berarti akan ada penurunan tegangan 72 volt disisi kumparan primer yang timbul akibat rugi-rugi kumparan dan inti trafo ketika trafo dibebani penuh. Ketika sebuah trafo dibebani penuh. Nilai tegangan drop sebesar 72V yang didapat dari perhitungan persen impedansi yang tertera di nameplate trafo merupakan hasil uji yang dibagi terhadap tegangan trafo dikali 100% sebagai berikut : $Z\% = \frac{V_{DROP}}{V} \times 100\%$ $Z\% = \frac{72V}{2400V} \times 100\% = 3\%$. Untuk operasional yang aman trafo jarang dioperasikan dengan beban penuh (100% rating), sehingga drop teganganpun menjadi rendah. Untuk mengetahui berapa nilai sebenarnya dari persen impedansi trafo tersebut dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut : $Z\% = \frac{V_{DROP}}{I} = \frac{72V}{100A} = 0,72 \text{ Ohm}$. Nilai arus 100A didapat dari nilai pengukuran arus beban penuh yang Ketika dilakukan metode pengujian dimana salah satu sisi trafo dihubung singkat atau bisa dilihat dari name plate Untuk lebih mudahnya dapat dilihat contoh sebuah trafo tiga fasa dengan data sebagai berikut : Kapasitas trafo 1000kVA, tegangan sisi primer 20kV, tegangan sisi sekunder 280 V, karena trafo tiga fasa maka : $I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$: $I_{FL} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}} = 1519A$, Misalkan pada pengujian hubungan singkat, tegangan sisi primer Ketika arus pada sisi sekunder mencapai 1519 A (arus FLA) adalah 15V, maka nilai impedansi trafo adalah $Z\% = \frac{15V}{380V} \times 100\% = 3,95\%$. Setelah nilai impedansi trafo telah diperoleh maka untuk menghitung arus hubung singkat atau arus short circuit (I_{SC}) dari trafo adalah : $I_{SC} = \frac{I_{FL}}{Z\%} = I_{SC} = \frac{1519A}{3,95\%} = 38,4 \text{ kA}$

3.8. Vektor grup atau kelompok vektor trafo harus sama

Grup vektor trafo atau kelompok vektor trafo menentukan perbedaan fasa dan konfigurasi kumparan antara sisi primer dan sisi sekunder trafo, hal ini menentukan bagaimana trafo terhubung dalam sistem tenaga Listrik yang mempengaruhi kinerja trafo. Grup vector trafo menggambarkan hubungan antara belitan tegangan tinggi sisi primer dan belitan tegangan rendah atau sekunder trafo dalam hal: pergeseran fasa (perbedaan sudut antara tegangan input dan output), konfigurasi lilitan (delta atau Wye), notasi jam (posisi vector tegangan sekunder). Misalkan trafo Dyn11 memiliki pergeseran fasa 330^0 , sementara trafo Yd1 memiliki pergeseran fasa 30^0 , untuk mengetahui jenis vector grup trafo biasanya tertera pada name plate trafo tersebut.

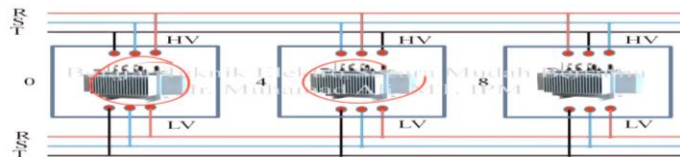


Gambar 1. Tiga buah trafo terhubung sejajar (parallel)

Pada gambar diatas 3buah trafo distribusi 20kV/400V yang diparalelkan dan berbeda vektor grup masing-masing trafo yaitu trafo 3 fasa dengan vector grup : Dyn0 , Dyn4, Dyn8 dapat diparalelkan karena urutan fasa ketiga trafo paralel telah disesuaikan atau direkayasa sedemikian rupa sehingga sama ketiga fasanya pada sisi sekunder trafo tersebut dengan cara mengubah sambungan kabel di primer trafo (r,s,t) dengan urutan kabel R,S,T tiga fasa pada penyulang 20kV di gambar tersebut terlihat ada tiga buah trafo yang berbeda vektor grupnya ; trafo pertama vector grupnya Dyn0, trafo kedua Dyn4 dan trafo ketiga Dyn8, transformator pertama tetap dipertahankan di urutan awal yaitu (R ke r, S ke s dan T ke t.), untuk trafo kedua Dyn4 (R ke s, S ke t dan T ke r), untuk trafo ketiga Dyn8 (R ke t, S ke r dan T ke s).

3.9. Kapasitas trafo tidak harus sama

Kapasitas trafo distribusi adalah batas kemampuan maksimal trafo dalam menyalurkan daya listrik (kVA).



Gambar 2. Trafo1 (160kVA), trafo2 (100kVA) dan trafo3 (200kVA) ketiga trafo tersebut dihubungkan secara parallel.

untuk melayani beban konsumen 350 kW, $\cos\phi = 0,9$ Kapasitas total ke tiga trafo paralel diatas $(S_{tot}) = (160+100+200) \text{ kVA} = 460\text{kVA}$ $S_{beban} = \frac{P_{beban}}{\cos\phi} = \frac{350\text{kW}}{0,9} = 389 \text{ kVA}$. Beban yang dipikul trafo 1 $= \frac{ST1}{Stotal} \times S_{beban} = \frac{160\text{kVA}}{460\text{kVA}} \times 389\text{kVA} = 135,30\text{kVA}$. Beban yang dipikul trafo 2 $= \frac{ST2}{Stotal} \times S_{beban} = \frac{100\text{kVA}}{460\text{kVA}} \times 389\text{kVA} = 84,57\text{kVA}$

Beban yang dipikul trafo 3 $= \frac{ST3}{Stotal} \times S_{beban} = \frac{200\text{kVA}}{460\text{kVA}} \times 389\text{kVA} = 169,13\text{kVA}$

4. KESIMPULAN

Salah satu manfaat pensejajaran trafo atau paralel trafo adalah kemampuan untuk meningkatkan kapasitas keseluruhan sistem tenaga Listrik. Dengan menghubungkan beberapa trafo secara jajar atau paralel ,peringkat kVA gabungan dari trafo dijumlahkan secara efektif sehingga memungkinkan sistem untuk menangani beban yang lebih besar hal ini sangat bermanfaat dalam aplikasi dimana kebutuhan daya terus meningkat melebihi kapasitas trafo tunggal atau paralel dua buah trafo ditingkatkan kapasitasnya dengan menambah sebuah trafo lagi menjadi paralel tiga trafo sehingga kapasitas atau kemampuan trafo juga meningkat

Kelebihan trafo yang diparalel adalah fleksibilitas yang ditawarkan dimana sistem trafo paralel dengan mudah ditambah trafonya atau dilepas trafonya sesuai kebutuhan selain itu trafo daya yang diparalel dapat membantu mengurangi distorsi harmonik dalam sistem, dengan

mendistribusikan beban diantara beberapa trafo maka arus harmonik dapat dikurangi sehingga dapat menghasilkan pasokan Listrik yang lebih bersih dan stabil. Harmonik adalah frekuensi listrik yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan interferensi dan kerusakan pada peralatan.

Beberapa faktor atau parameter yang menjadi acuan sebelum pemasangan trafo secara sejajar atau paralel antara lain ; Tegangan , Frekuensi dan Rasio Tegangan harus sama, Urutan Fasa dan Polaritas trafo yang akan disejajarkan harus sama, Posisi Tap Changer setiap trafo harus sama, Impedansi trafo yang disejajarkan harus sama, Vektor group trafo harus sama, Kapasitas trafo tidak harus sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada P3M Politeknik Negeri Manado atas fasilitas dan dukungan yang diberikan dalam penyusunan artikel ilmiah ini. Penulis juga mengapresiasi kontribusi seluruh rekan sejawat di Jurusan Teknik Elektro atas masukan, saran, dan diskusi konstruktif yang telah memperkaya proses penulisan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Jakarta, universitas Indonesia, 2000
- [2]. Bonar Panjaitan . Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta , Andi, 2012
- [3]. Marsudi, Djiteng. Operasi Sistem Tenaga Listrik, Jakarta , Graha Ilmu, 2026
- [4]. Martin J. Heathcote, The J & P Transformer, England, Newnes, 1998
- [5]. M. K. Anam, O. Penangsang, dan S. Soediby, Studi Operasi Paralel Jaringan Distribusi Yang Disuplai oleh Satu Gardu Induk pada Sistem Kelistrikan Distribusi Jawa Tengah. Studi Kasus: GI Sronol Semarang,” J. Tek. ITS, vol. 7, no. 2 , 2018
- [6]. Sulasno , Analisa Sistem Tenaga Listrik, Semarang , Satya Wacana, 1993
- [7]. Suhadi, Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jakarta, Direktorat Pendidikan kejuruan, 2008
- [8]. Sarimun, Wahyudi, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Bekasi, Garamond, 2012
- [9]. Turen Gonen, Electric Power Distribution System Engineering, USA, McGraw-Hill, 1986