
ANALISIS *VECTOR GROUP* PADA HUBUNGAN PARALEL TRANSFORMATOR UNIT GARDU BERGERAK

Budi Yanto Husodo¹, Firmansyah²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Email: hanz_firmansyah@yahoo.com

ABSTRAK

Operasi paralel transformator distribusi dilakukan untuk meningkatkan kapasitas daya penyaluran tenaga listrik atau meminimalisir pemadaman pada sistem penyaluran tenaga listrik. Namun pada prakteknya, tidak semua transformator dapat dihubungkan paralel. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan sebelum melakukan operasi paralel transformator. Selain tegangan dan frekuensi harus sama, *vector group* transformator juga harus sesuai. *Vector group* merupakan polaritas pada transformator tiga fasa yang dipengaruhi oleh konfigurasi hubungan belitan dalam transformator. Perbedaan *vector group* seringkali menjadi kendala ketika transformator unit gardu bergerak (UGB) akan diparalel dengan transformator pada gardu distribusi. Operator lapangan biasanya segera memutuskan bahwa transformator tidak mungkin diparalel dan kemudian melakukan penjadwalan ulang. Hal ini tentunya membuang waktu dan biaya.

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi kemungkinan operasi paralel dua transformator yang memiliki *vector group* berbeda. Cara sederhana untuk menganalisis *vector group* yaitu dengan menggambar diagram fasor yang mengacu pada hasil pengukuran tegangan sekunder kedua transformator. Mula-mula dilakukan pengujian dengan menghubungkan salah satu terminal primer dengan salah satu terminal sekunder untuk mengetahui jenis *vector group* pada transformator. Kemudian memberikan tegangan tiga fasa pada sisi primer dan mengukur tegangan antara terminal primer dan sekunder. Selanjutnya menggambarkan diagram fasor dengan panjang garis yang merepresentasikan hasil pengukuran tegangan.

Penelitian membuktikan bahwa operasi paralel transformator dengan *vector group* berbeda dapat dilakukan dengan menyesuaikan urutan fasa sehingga tegangan sekunder kedua transformator menjadi sefasa. Hasil penelitian disajikan dalam tabel yang menunjukkan pasangan *vector group* yang berbeda yang memungkinkan untuk diparalel. Hasil penelitian ini akan memudahkan operator lapangan dalam melakukan paralel transformator UGB dengan transformator gardu distribusi sehingga dapat dihindarkan suatu penjadwalan ulang yang tidak perlu.

Kata kunci: Paralel transformator, *Vector group*, Diagram Fasor.

PENDAHULUAN

Tenaga Listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi masyarakat saat ini, oleh karena itu tenaga listrik harus dapat tersedia secara terus menerus dengan mutu dan keandalan yang tinggi. Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan keandalan kontinuitas dalam penyaluran energi listrik. Untuk dapat tercapainya hal tersebut salah satu usahanya adalah dengan meminimalisir

pemadaman, baik yang disebabkan oleh gangguan maupun yang terencana akibat adanya pemeliharaan atau penggantian komponen penyaluran tenaga listrik.

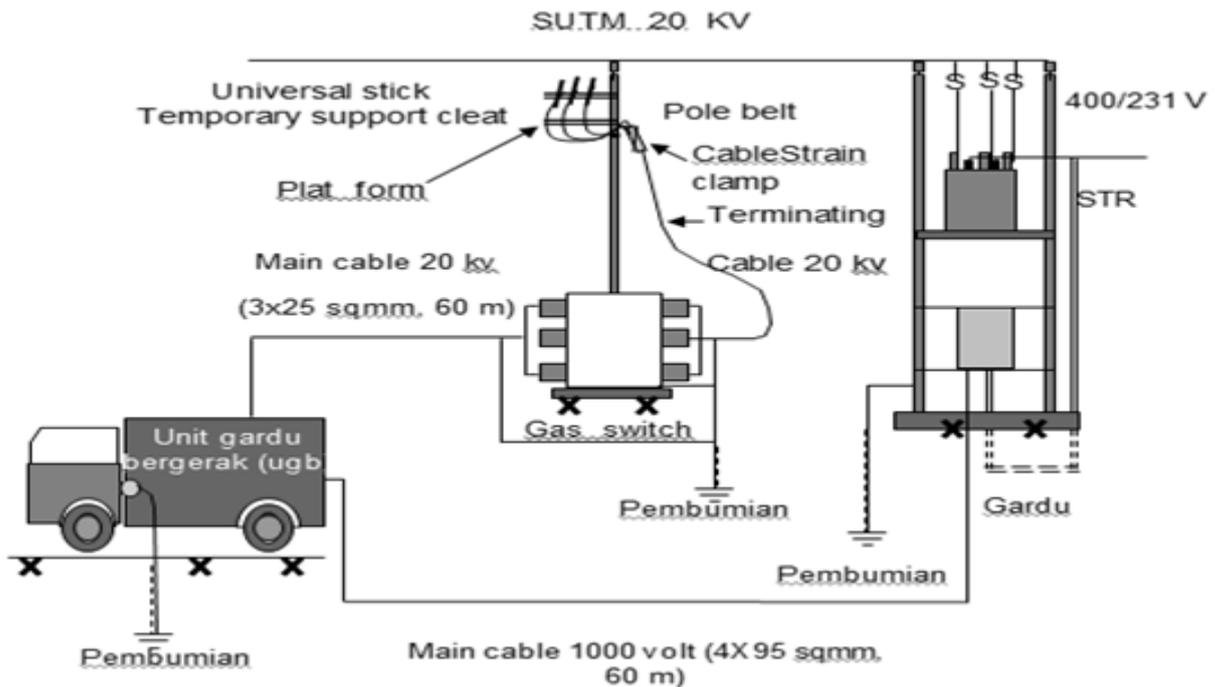
Salah satu komponen dalam penyaluran tenaga listrik adalah Transformator atau *transformer* atau trafo yaitu suatu peralatan listrik elektromagnetik statis

yang berfungsi untuk memindah dan mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan

frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis. Transformator menjadi komponen yang sangat vital dalam pendistribusian tenaga listrik, sehingga perlu adanya alat yang mampu menggantikan fungsinya dalam setiap pekerjaan pemeliharaan atau penggantian transformator. Untuk mengatasi masalah ini maka digunakanlah suatu gardu pengganti sementara yang dinamakan UGB (Unit Gardu Bergerak). UGB merupakan suatu rangkaian instalasi Gardu Distribusi yang dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain. Sama halnya seperti Gardu

Distribusi, UGB dilengkapi dengan peralatan instalasi gardu distribusi seperti Transformator, PHB-TM, PHB-TR, dll.

Penggunaan UGB untuk menjaga kontinyuitas penyaluran tenaga listrik dilakukan dengan kerja paralel transformator UGB dan transformator yang terpasang pada gardu distribusi, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1. Syarat kerja paralel transformator sebagaimana penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, spesifikasi kedua transformator yang meliputi tegangan kerja, frekuensi, *vector group*, dan impedansi harus serba sama.



Gambar 1 Paralel transformator UGB dengan transformator distribusi

Selain itu peralatan yang terpasang pada UGB harus mampu menampung keseluruhan beban gardu yang sedang dipelihara, artinya spesifikasi teknis peralatan yang terpasang pada UGB harus lebih tinggi. Misalnya kapasitas transformator pada UGB harus lebih besar dari kapasitas transformator gardu yang dikerjakan. Namun karena pertimbangan tertentu, standar vektor grup yang digunakan pada transformator berkapasitas

kecil (<250 kVA) berbeda dengan transformator berkapasitas besar (>250 kVA), sehingga apabila ditemukan perbedaan jenis *vector group* antara kedua transformator perlu dilakukan analisis terlebih dahulu. Tujuannya untuk mengetahui atau memastikan jenis *vector group* pada transformator jika *name plate* hilang/rusak dan mengetahui kemungkinan kedua transformator itu dapat diparalel.

Jadi masalah dalam pelaksanaan paralelisasi transformator, yaitu :

1. Bagaimana cara mengetahui jenis vektor grup pada trafo yang akan diparalel?
2. Bagaimana cara membuat hubungan paralel dua buah transformator dengan vektor grup yang berbeda?

Dengan terjawabnya masalah-masalah diatas diharapkan tidak lagi terjadi pemadaman atau pembatalan paralelisasi transformator yang diakibatkan perbedaan jenis *vector group* sehingga kualitas pelayanan tetap terjaga.

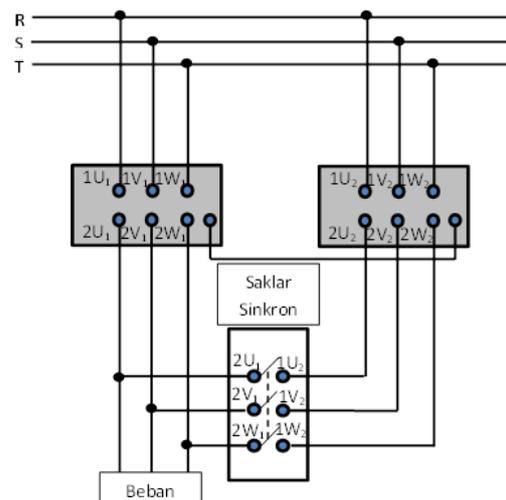
METODOLOGI PENELITIAN

Dengan memperhatikan syarat kerja paralel transformator bahwa kedua transformator harus serba sama, tujuannya adalah agar tidak ada beda potensial (selisih tegangan) antara kedua transformator sehingga tidak terjadi arus pusar pada belitan transformator yang dapat merusak transformator itu sendiri. Berdasarkan hipotesa selama tegangan sama dan arah vektor tegangannya sama (sefasa), maka tidak akan ada selisih tegangan antara kedua transformator. Dari hipotesa tersebut muncul gagasan untuk menganalisis hubungan paralel transformator dengan jenis *vector group* berbeda. Penelitian ini merupakan penelitian praktis sehingga metode yang digunakan adalah dengan melaksanakan praktek langsung untuk memperoleh data yang diperlukan untuk dianalisis. Data diambil dari hasil pengukuran yang selanjutnya akan dilakukan analisis berdasarkan teori terkait. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini sebagai berikut:

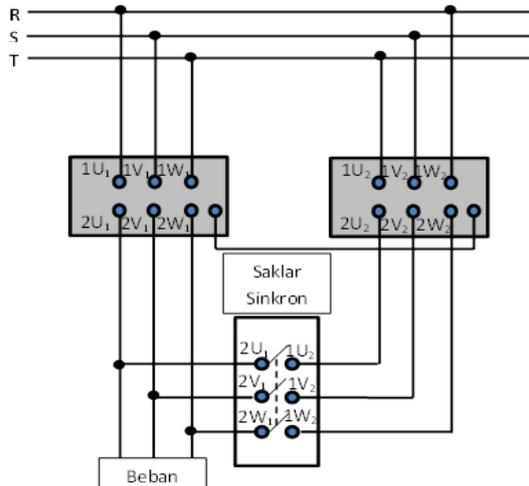
1. Melakukan pemeriksaan trafo UGB dan trafo eksisting yang meliputi : tegangan, putaran fasa, *vector group*, impedansi dan kelengkapan peralatan. Untuk mengetahui jenis *vector group*, kita dapat melihat pada *name plate* yang terpasang pada transformator. Namun apabila *name plate* rusak atau hilang, untuk mengetahui atau sekedar memastikan jenis *vector group* yang diterapkan kita dapat melakukan

pengujian dengan menghubungkan terminal 1U dan 2U, kemudian memberikan tegangan 3 fasa pada sisi primer (400 V) lalu mengukur tegangan pada setiap terminal. Selanjutnya menganalisa hasil pengukuran dengan menggambarkan diagram fasor.

2. Melakukan pengukuran tegangan sisi LV trafo 1 dan 2 secara individu dan antara trafo 1 dan 2 untuk mengetahui terpenuhinya syarat paralel.
3. Jika antara terminal sekunder trafo UGB dan trafo eksisting masih ada beda potensial, tukarlah urutan fasa sedemikian rupa sehingga tidak ada beda Melakukan penyambungan pada sisi HV dan LV dengan sambungan normal, maksudnya polaritas transformator disesuaikan dengan polaritas sumber.
4. Memberi tegangan trafo UGB pada sisi HV (20kV) dengan memasukan sakelar LBS pada UGB.
5. potensial antara terminal sekunder trafo UGB dan trafo eksisting.
6. Jika hasil pemeriksaan telah memenuhi syarat paralel transformator, selanjutnya memasukkan MCCB panel TR trafo UGB (pararel dengan trafo eksisting).



Gambar 2 Diagram pengawatan sambungan normal



Gambar 3 Diagram pengawatan sambungan tidak normal

HASIL PENELITIAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1 Hasil pengukuran pengujian vector group

No	Terminal ukur	Tegangan
1	1U - 1V	396
2	1V - 1W	395
3	1W - 1U	395
4	2u - 2v	7,9
5	2v - 2w	7,9
6	2w - 2u	8,0
7	1V - 2v	418
8	1V - 2w	418
9	1W - 2v	409
10	1W - 2w	416

Tabel 2 Hasil pengukuran sambungan normal

No	Terminal Ukur	Trafo eks	Trafo UGB	Trafo eks.dan U
1	2U - N	228,2	229,5	
2	2V - N	227,9	229,8	
3	2W - N	228,0	229,0	
4	2U - 2V	396,2	398,8	
5	2V - 2W	395,7	399,0	
6	2W - 2U	395,8	399,0	
7	2U ₁ - 2U ₂			457,7
8	2V ₁ - 2V ₂			457,7
9	2W ₁ - 2W ₂			457,0
10	2U ₁ - 2W ₂			228,6
11	2W ₁ - 2U ₂			228,5
12	Putaran Fasa	↻	↻	

Tabel 3 Hasil pengukuran sambungan tidak normal

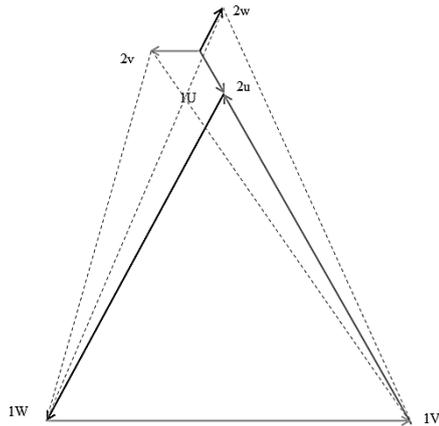
No	Terminal Ukur	Trafo eks	Trafo UGB	Trafo eks.dan UGB
1	2U - N	228,2	229,5	
2	2V - N	227,9	229,8	
3	2W - N	228,0	229,0	
4	2U - 2V	396,2	398,8	
5	2U - 2W	395,7	399,0	
6	2V - 2W	395,8	399,0	
7	2U ₁ - 2U ₂			398,0
8	2V ₁ - 2V ₂			0,8
9	2W ₁ - 2W ₂			398,4
10	2U ₁ - 2W ₂			1,2
11	2W ₁ - 2U ₂			1,4
12	Putaran Fasa	↻	↻	

PEMBAHASAN

Dengan melihat data hasil pengukuran terminal primer-sekunder pada pengujian *vector group*, ada tiga hasil ukur yang saling mendekati. Jika ketiga hasil ukur tersebut kita anggap sama, maka dapat ditulis:

$$1V - 2v = 1V - 2w = 1W - 2w > 1W - 2v$$

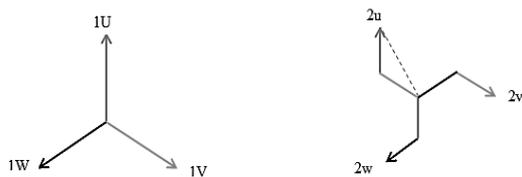
Diagram Fasor yang sesuai dengan pernyataan di atas adalah diagram Fasor kelompok bilangan jam 5. Dengan memperhatikan hasil ukur resistansi/tahanan belitan primer yang nilainya kecil, kita dapat menyimpulkan bahwa belitan primer terhubung Delta (Δ). Maka jenis *vector group* yang sesuai dengan keadaan di atas adalah Dyn-5. Untuk lebih meyakinkannya, dapat dilihat pada gambar 4.1 yang merupakan gambar sketsa dari hasil pengukuran terminal primer-sekunder dari transformator yang dapat merepresentasikan diagram Fasor jenis *vector group* Dyn-5. Panjang garis putus-putus merepresentasikan tegangan antar terminal.



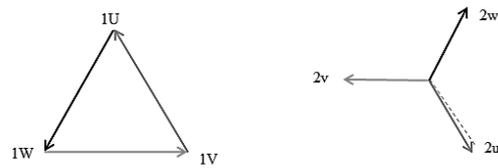
Gambar 4 Diagram Fasor pengujian vector group Dyn-5

Diagram Fasor Paralel Transformator Sambungan UGB Normal

Dalam pelaksanaan praktek penyambungan paralel transformator, sambungan transformator eksisting tidak dapat dirubah sebelum beban dipindahkan pada transformator UGB karena tujuannya adalah untuk menghindari pemadaman, sehingga apabila syarat paralel belum terpenuhi sambungan yang dapat dirubah hanya sambungan transformator UGB. Pada percobaan pertama, kedua transformator tersambung normal, artinya pada terminal sisi primer masing-masing transformator 1U, 1V dan 1W terhubung secara berurutan pada sumber fasa R, S dan T. Berdasarkan ketentuan dalam menggambarkan diagram Fasor, setiap fasa memiliki selisih sudut sebesar 120° dengan fasa lainnya, sehingga apabila ditetapkan fasa R berada pada posisi 0 (jam 12), maka fasa S berada pada posisi jam 4 dan fasa T berada pada posisi jam 8. Dengan mengacu pada jenis *vector group* masing-masing transformator, maka diagram Fasor digambarkan sebagai berikut:

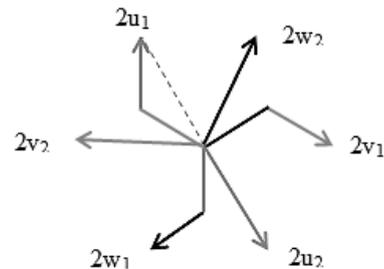


Gambar 5 Diagram Fasor transformator eksisting

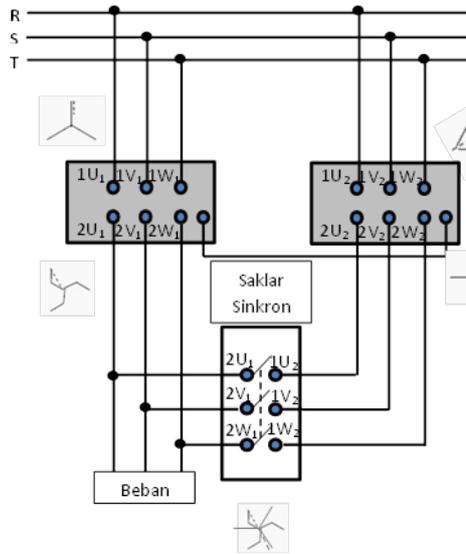


Gambar 6 Diagram Fasor transformator UGB

Pada percobaan pertama, kedua transformator dihubungkan normal dimana pemberian sumber tegangan disesuaikan dengan polaritas transformator. Pada data hasil pengukuran bab sebelumnya, terdapat beda potensialnya sebesar dua kali tegangan fasa-nol antara terminal yang senama, artinya antara terminal yang senama saling berbeda sudut 180° . Walaupun fasa UGB ditukar bagaimana pun tidak dapat membuat tegangannya sefasa, oleh karena itu transformator *vector group* Yzn-11 tidak dapat dihubung paralel dengan transformator *vector group* Dyn-5 dalam sambungan normal. Untuk lebih jelasnya, diagram Fasor sisi sekunder yang dihasilkan dan hubungan paralel transformator sambungan UGB normal dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7 Gabungan diagram Fasor sekunder sambungan normal

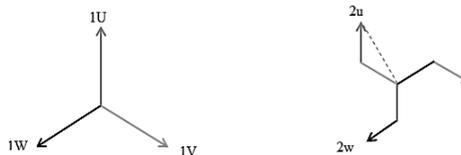


Gambar 8 Pengawatan dan Diagram Fasar paralel

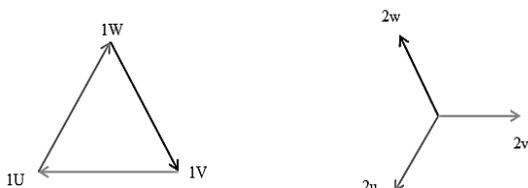
Diagram Fasar Paralel Transformator Sambungan UGB Tidak Normal

Pada percobaan selanjutnya, dengan membiarkan transformator eksisting tetap beroperasi, sambungan sisi primer UGB dirubah dengan menukar sambungan terminal 1U yang tadinya dihubungkan dengan fasa R (posisi jam 12) menjadi terhubung dengan fasa T (posisi jam 8), begitu pun dengan terminal 1W, yang awalnya terhubung dengan fasa T (posisi jam 8), sekarang terhubung dengan fasa R (posisi jam 12).

Sementara terminal 1V tetap terhubung dengan fasa S (posisi jam 4). Selanjutnya dilakukan analisis kembali dengan menggambar diagram Fasar seperti pada percobaan pertama.

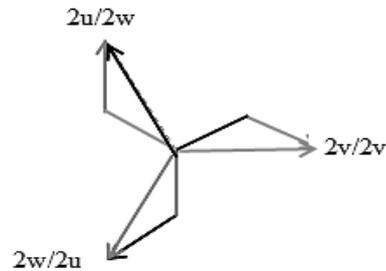


Gambar 9 Diagram Fasar transformator eksisting

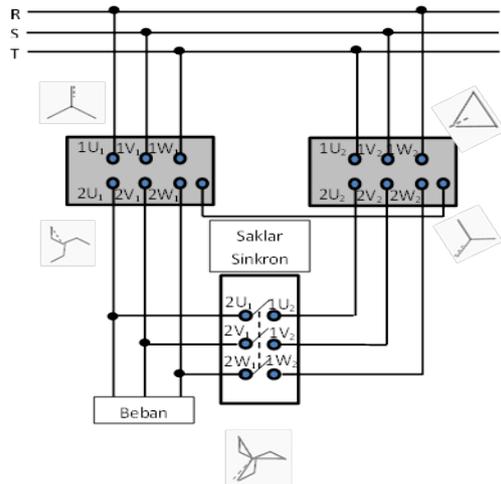


Gambar 10 . Diagram Fasar transformator UGB

Pada data hasil pengukuran bab sebelumnya, ada tiga pengukuran yang nilainya kecil (mendekati nol). Hal itu menandakan bahwa secara diagram Fasar tegangan sekunder pada kedua transformator sudah sefasa. Adapun beda potensial bukan diakibatkan oleh perbedaan sudut fasa, tetapi disebabkan faktor lain yang masih bisa ditolerir. Namun berdasarkan hasil pengukuran masih ada beda potensial sebesar tegangan fasa-fasa di antara polaritas yang senama, yaitu terminal $2u_1 - 2u_2$ dan $2w_1 - 2w_2$, namun tidak ada beda potensial pada terminal $2v - 2v$. Artinya hanya ada satu pasang terminal yang sudah sefasa dan senama, yaitu $2v_1 - 2v_2$, sementara dua pasang terminal yang lain saling berselisih sudut sebesar 120° . Hal ini disebabkan sisi sekunder kedua transformator sudah sefasa namun berbeda arah putaran/urutan fasa, seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 11 Gabungan diagram Fasar sekunder sambungan UGB tidak normal

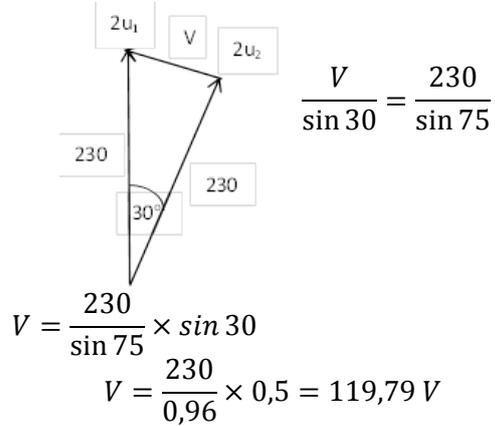


Gambar 12 Pengawatan dan Diagram Fasa paralel transformator sambungan UGB tidak normal.

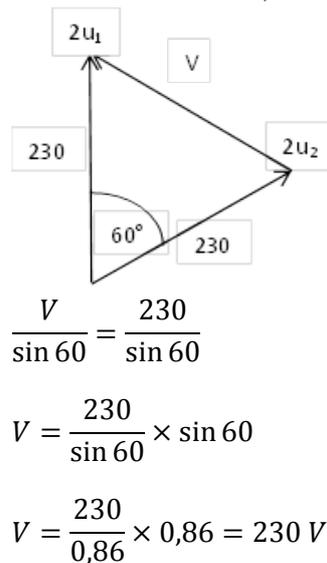
Dalam analisis ini, kita anggap transformator yang digunakan adalah transformator ideal, maksudnya besarnya tegangan sekunder sesuai dengan yang tertera pada *name plate*, sehingga panjang garis setiap fasa pada diagram fasor sama. Untuk mengetahui kemungkinan hubungan paralel transformator, diagram Fasor sisi sekunder (tegangan rendah) digabungkan. Jika setiap ujung garis (tanda panah) saling bertemu artinya syarat paralel transformator sudah terpenuhi. Namun sebaliknya, jika setiap ujung garis tidak saling bertemu, berarti tegangan sekunder dari kedua transformator belum sefasa dan belum memenuhi syarat paralel transformator. Akan ada beda potensial antara terminal sekunder transformator eksisting dengan transformator UGB. Apabila tetap dihubungkan paralel akan terjadi arus pusar pada kumparan kedua transformator yang besarnya dipengaruhi oleh besarnya tegangan antar terminal sekunder. Besarnya tegangan antar terminal tergantung pada besarnya selisih sudut dalam diagram Fasor yang dapat diketahui dengan perhitungan trigonometri berikut:

$$\frac{A}{\sin A} = \frac{B}{\sin B} = \frac{C}{\sin C} \dots \dots \dots (1)$$

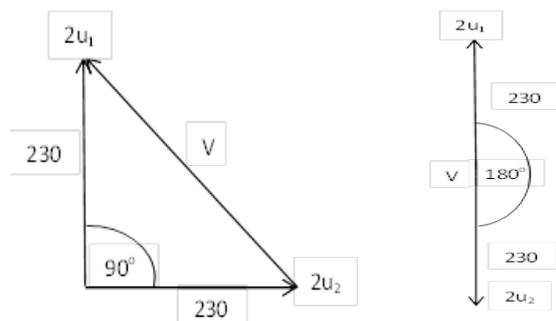
- Jika tegangan fasa-nol sekunder masing-masing transformator sebesar 230 V dan selisih sudut pada diagram Fasor 30°, maka beda potensial/tegangan antar terminal adalah:



- Dengan cara yang sama kita dapat mengetahui besaran tegangan pada selisih sudut yang lain. Misalnya pada selisih sudut 60°, maka:



- Untuk selisih sudut 90°



$$\frac{V}{\sin 90} = \frac{230}{\sin 45}$$

$$V = \frac{230}{\sin 45} \times \sin 90$$

$$V = \frac{230}{0,707} \times 1 = 325,27 V$$

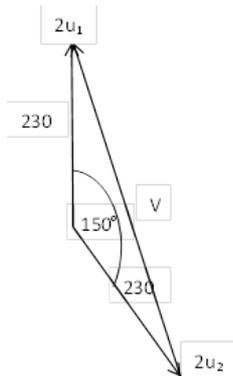
Atau; $V = \sqrt{230^2 + 230^2} = 325,27 V$

- Untuk selisih sudut 120°

$$V = \frac{230}{\sin 30} \times \sin 120$$

$$V = \frac{230}{0,5} \times 0,866 = 398,36 V$$

Atau sama dengan tegangan fasa-fasa.



Untuk selisih sudut 150°

$$\frac{V}{\sin 150} = \frac{230}{\sin 15}$$

$$V = \frac{230}{\sin 15} \times \sin 150$$

$$V = \frac{230}{0,26} \times 0,5 = 443,9 V$$

- Untuk selisih sudut 180°

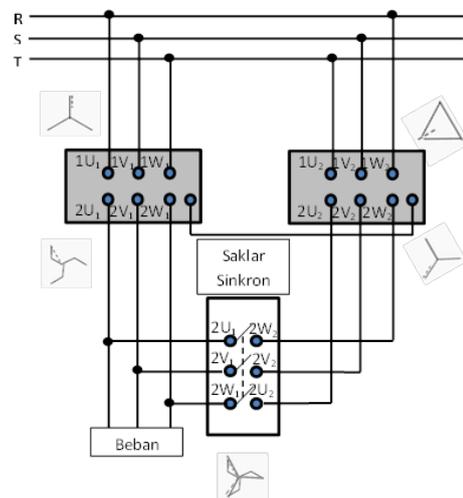
Besarnya beda potensial/tegangan antara terminal sekunder transformator akibat selisih sudut 180° sama dengan penjumlahan tegangan fasa-nol kedua transformator. Pada kasus ini besarnya tegangan adalah $230 V + 230 V = 460 V$ atau sebesar $2 \times \text{tegangan fasa - nol}$ jika tegangan sekunder sama.

Dari perhitungan di atas kita dapat masukkan nilai-nilai tegangan untuk masing-masing selisih sudut pada table berikut:

Tabel 4 Selisih sudut dan beda potensial

Sudut (α°)	0	30	60	90	120	150	180
tegangan (V)	0	119,79	230	325,27	398,36	443,9	460

Agar kedua transformator dapat dihubungkan paralel, maka arah putaran *phase sequence* harus sama, dengan kata lain urutan fasa kedua transformator harus sama. Masalahnya pada percobaan pertama jika arah putaran sama, semua terminal pada sisi sekunder kedua transformator tidak sefasa. Untuk menyamakan arah putaran dan menjaga sekunder kedua transformator tetap sefasa, maka urutan fasa sisi sekunder transformator UGB harus dirubah, yaitu dengan menukar posisi terminal $2u_2$ dan $2w_2$ pada sakelar sinkron. Dengan cara seperti itu kedua transformator dapat dioperasikan paralel seperti pada gambar berikut:



Gambar 13 Pengawatan paralel transformator primer-sekunder UGB dibalik

Dengan cara analisis yang sama pada pasangan jenis *vector group* transformator lainnya, dapat dibuat table yang dapat mempercepat menentukan kemungkinan paralelisasi transformator tanpa harus melakukan analisis seperti pada tabel 5.

Tabel 5 Kemungkinan hubungan paralel dua transformator untuk setiap pasangan jenis vector group

Transformator 1 Transformator 2	Vector group 0			Vector group 1			Vector group 5			Vector group 6			Vector group 11			Keterangan
	Yy 0	Dd 0	Dz 0	Yd 1	Dy 1	Yz 1	Yd 5	Dy 5	Yz 5	Yy 6	Dd 6	Dz 6	Yd 11	Dy 11	Yz 11	
Vector group 0	Yy 0	√	!	√	x	x	x	x	x	x	x	√	x	x	x	Tanda "√" menunjukkan bahwa kedua transformator masih mungkin dihubungkan paralel dengan cara menyesuaikan urutan fasa di sisi primer maupun di sisi sekunder. Tanda "!" menunjukkan perlu percobaan lebih lanjut.
	Dd 0	!	√	!	x	x	x	x	x	x	x	!	x	x	x	
	Dz 0	√	!	√	x	x	x	x	x	√	!	√	x	x	x	
Vector group 1	Yd 1	x	x	x	√	!	!	√	!	!	x	x	x	x	!	x
	Dy 1	x	x	x	!	√	√	!	√	√	x	x	x	!	√	√
	Yz 1	x	x	x	!	√	√	!	√	√	x	x	x	x	√	x
Vector group 5	Yd 5	x	x	x	√	!	!	√	!	!	x	x	x	x	!	x
	Dy 5	x	x	x	!	√	√	!	√	√	x	x	x	!	√	√
	Yz 5	x	x	x	!	√	√	!	√	√	x	x	x	x	√	x
Vector group 6	Yy 6	x	x	√	x	x	x	x	x	x	√	!	√	x	x	x
	Dd 6	x	x	!	x	x	x	x	x	x	!	√	!	x	x	x
	Dz 6	√	!	√	x	x	x	x	x	x	√	!	√	x	x	x
Vector group 11	Yd 11	x	x	x	x	!	x	x	!	x	x	x	x	√	!	!
	Dy 11	x	x	x	!	√	√	!	√	√	x	x	x	!	√	√
	Yz 11	x	x	x	x	√	x	x	√	x	x	x	x	!	√	√

KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan pada hubungan paralel transformator, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil ukur tegangan primer-sekunder pada pengujian transformator dengan *vector group* Dyn-5 adalah $V_{1V-2v} = V_{1V-2w} = V_{1W-2w} > V_{1W-2v}$.
2. Dua buah transformator dengan kelompok *vector group* berbeda masih mungkin dihubungkan paralel, dengan catatan perbedaan potensial/tegangan antara terminal sekunder kedua transformator sangat kecil (mendekati nol).
3. Untuk mendapatkan selisih tegangan yang sangat kecil antara terminal sekunder kedua transformator, tegangan sekunder kedua transformator yang saling terhubung harus sama dan sefasa.
4. Pada transformator dengan konfigurasi belitan Delta-wye

(Dy#), apabila urutan fasa tegangan pada sisi primer dibalik, akibatnya tidak hanya urutan.

DAFTAR PUSTAKA

Chandra, Rachmat Adi. 2014. *Identifikasi Kondisi Kesehatan Transformator Distribusi*. Jakarta: Universitas Mercubuana.

Hu Yuequan, Guan Junfeng, Bai Xinmin, Chen wei. (2002). "Problem of Paralleling Windings For Planar Transformers and Solution". *Power Electronics Specialist Conference*, 4(2): 597-601. DOI: 10.1109/PSEC.2002.1022518 (diakses tanggal 28 Juli 2016).

Jauch, E.T. (2001). "Advance Transformer Paralleling". *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, vol. 1: 178-182. DOI: 10.1109/TDC. 2001. 971230 (diakses tanggal 28 Juli 2016).

- Nindiyibudodyo, Wahyudi Sarimun. 2011. *Buku Saku Pelayanan Teknik*. Depok: Garamond.
- PT. PLN (Persero). 2010. *Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik Edisi 1*. Jakarta.
- PT. PLN (Persero) PUSDIKLAT. 2014. *Modul Pemeliharaan Gardu Distribusi Dengan Pengoperasian UGB*. Semarang.
- Tambunan, Christafel Caesar. 2015. *Studi Konfigurasi Hubungan dan Pengujian Vektor Group Transformator Distribusi Tiga Fasa*. Jakarta: Universitas Mercubuana.