

ANALISA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR 3 PHASA DALAM KEADAAN BEBAN LEBIH (APLIKASI PADA LABORATORIUM KONVERSI ENERGI LISTRIK FT. USU)

Zul Fahmi Dhuha⁽¹⁾, Syamsul Amien⁽²⁾

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: zulfahmidhuha@gmail.com

Abstrak

Pada transformator 3 phasa terdapat berbagai jenis hubungan belitan misalnya delta- delta, wye- wye, wye- delta, delta- wye, zig- zag, dan lain- lain. Dari berbagai hubungan ini, apabila di beri pembeban melebihi kapasitas dari transformator akan mempengaruhi efisiensi, regulasi tegangan maupun ketahanan dari belitan akibat dari pembebanan pada transformator itu sendiri. Tulisan ini membahas perbandingan masing- masing hubungan belitan terhadap efisiensi, regulasi tegangan, dan kenaikan suhu yang diakibatkan pembebanan yang melebihi kapasitas transformator di Laboratorium Konversi Energi Listrik Departemen Teknik elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Dari hasil penelitian didapat bahwa hubungan belitan Dd_0 memiliki nilai efisiensi yang terbaik, hubungan Yy_0 dengan nilai regulasi tegangan terbaik dan hubungan belitan Yy_0 dengan kenaikan suhu terendah dalam keadaan beban lebih yang di bebaskan pada transformator.

Kata Kunci : Transformator 3 phasa, beban lebih , hubungan belitan transformator

1. Pendahuluan

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [1].

Pada umumnya sistem kelistrikan diseluruh dunia menggunakan sistem 3 phasa, oleh karena itu transformator juga harus dapat bekerja dengan sistem 3 phasa. Transformator 3 phasa dapat dibentuk dengan menggunakan 2 cara yaitu dengan menggunakan 3 buah transformator 1 phasa yang identik dan menghubungkan belitan ketiga transformator tersebut dan bisa juga membuat transformator dari 3 buah belitan primer, 3 buah belitan sekunder yang dihubungkan dengan 1 inti besi. Transformator 3 phasa ini dikembangkan dengan alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan 3 buah transformator satu phasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator daya tiga phasa. Pada prinsipnya transformator 3 phasa sama dengan transformator satu phasa [2].

2. Studi Pustaka

Adapun yang dibahas pada sub ini adalah beban lebih pada transformator 3 phasa dan hubungan belitan pada transformator 3 phasa.

2.1 Hubungan Belitan Transformator Tiga Phasa

Hubungan wye dapat di tanahkan atau tidak. Akan tetapi, tidak semua kombinasi hubungan dapat bekerja sesuai yang diharapkan, bergantung pada konstruksi transformator, karakteristik beban, dan sistem[3].

Vektor group adalah istilah yang dibuat oleh standar IEC dan manufaktur transformator sampai saat ini. Ini menunjukkan cara menghubungkan belitan dan posisi phasa dari pandangan vektor tegangan. Ditunjukkan dengan [4]:

1. Huruf menunjukkan konfigurasi dari phasa kumparan. Di sistem 3 phasa, hubungan belitan dikategorikan oleh Delta (D, d), Star, or Wye (Y, y), *interconnected star* atau zigzag (Z, z) dan belitan *open* atau *independent*. Huruf kapital menunjukkan ke belitan tegangan tinggi (HV), dan tegangan rendah (LV).

2. Huruf (N, n) dimana menunjukkan netral dari belitan hubungan bintang yang digunakan.
3. Nomor menunjukkan pergeseran fasa antara tegangan sisi tegangan tinggi. Nomor ini kelipatan dari 30^0 , menunjukkan sudut dimana vektor dari tegangan rendah (LV) lags atau tertinggal dari kumparan tegangan tinggi (HV). Sudut dari masing-masing kumparan tegangan rendah ditunjukkan dengan “notasi jam”, oleh karena itu jam ditunjukkan oleh pasor belitan ketika belitan tegangan tinggi (HV) ditunjukkan oleh jam 12.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang terbagi atas tiga, yaitu [5]:

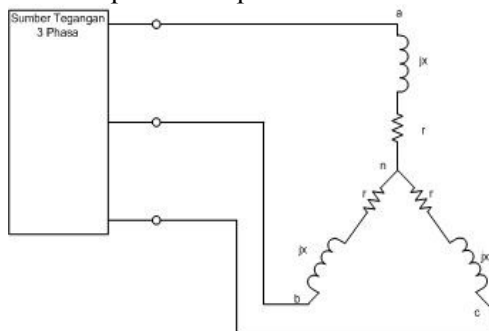
- a. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- b. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- c. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.

Adapun bentuk rangkaian berbagai hubungan belitan transformator ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 [6].

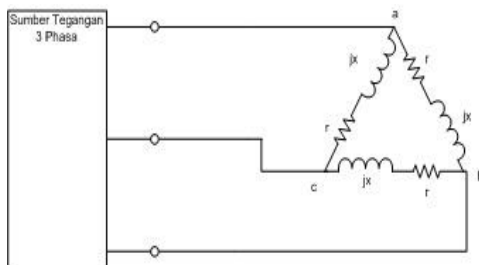
2.2 Beban Lebih pada Transformator

Beban terbagi atas 2 jenis, yaitu beban tiga fasa seimbang dan beban tiga fasa tidak seimbang.

1. Beban tiga fasa seimbang, yaitu suatu keadaan dimana ketiga vektor arus atau tegangan sama besar dan ketiga vektor saling membentuk sudut 120^0 satu sama lain. Rangkaian beban tiga fasa untuk hubungan Y dapat dilihat pada Gambar 1 dan rangkaian beban tiga fasa terhubung delta dapat dilihat pada Gambar 2.

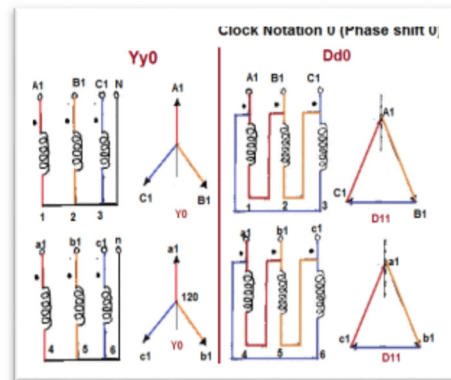


Gambar 1 Rangkaian beban 3 fasa hubungan wye

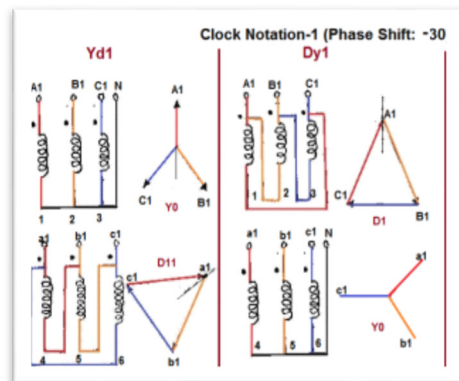


Gambar 2 Rangkaian beban 3 fasa hubungan Delta

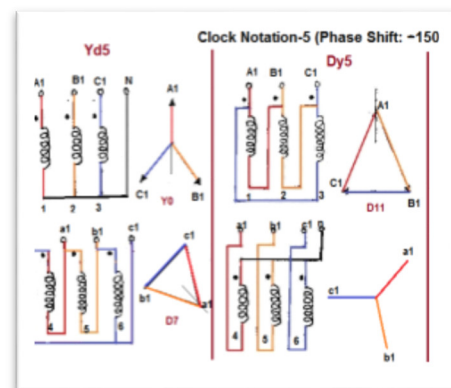
2. Beban tiga fasa tidak seimbang, yaitu keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.



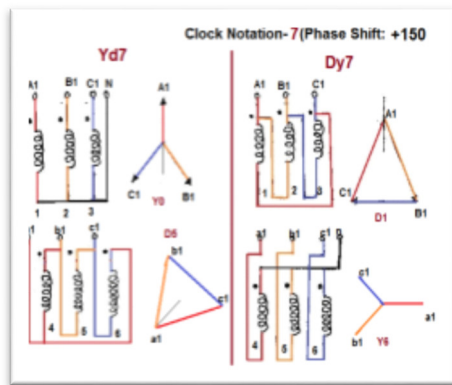
Gambar 3 Hubungan Yy_0 dan Dd_0



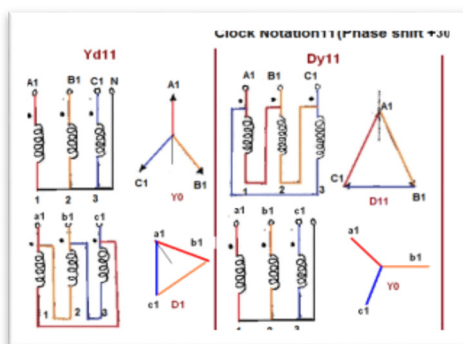
Gambar 4 Hubungan Yd_1 dan Dy_1



Gambar 5 Hubungan Yd_5 dan Dy_5



Gambar 6 Hubungan Yd₇ dan Dy₇



Gambar 7 Hubungan Yd₁₁ dan Dy₁₁

Dalam pengoperasiannya, transformator sering mengalami gangguan, masing- masing gangguan mengakibatkan berbagai hal yang merugikan bagi transformator. Salah satu gangguan yang sering terjadi yaitu gangguan arus lebih yang disebabkan kondisi beban lebih pada transformator. Beban lebih adalah kondisi dimana beban yang dipikul oleh transformator melebihi dari kapasitas transformator itu sendiri.

Pemanasan lebih atau beban lebih dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Suhu puncak minyak, suhu ambient, beban (arus), dan lain-lain dapat dikombinasikan untuk mengetahui suhu dan mengatur kondisi suhu pada transformator [3].

Akibat terjadinya kenaikan arus yang disebabkan oleh adanya peningkatan beban yang melebihi kapasitas transformator maka pada transformator akan mengalami kenaikan suhu yang besarnya [7].

$$\Delta T = K \cdot I^2 \cdot T_{\text{mins}} (\Omega/\neq) \quad (1)$$

Dimana:

ΔT = Kenaikan temperatur dalam celcius

K = Konstanta (0,343)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

T = Waktu dalam menit

Ω/\neq = ohm per jumlah konduktor

Sesuai dengan SPLN 64:1984 Ketentuan Pengaman Trafo Distribusi adalah sebagai berikut :

- a. Berdasarkan karakteristik waktu-arusnya maka pengamanan untuk trafo distribusi dibatasi oleh dua garis kerja. Garis kerja pertama (garis batas ketahanan pelebur) dimana pelebur primer tidak boleh bekerja, ditentukan oleh beban lebih yang masih ditahan oleh trafo tersebut. Beban atau arus lebih yang dimaksud beban lebih (Beban maksimum), arus beban peralihan (cold load pick up), hubung singkat JTR (jaringan Tegangan menengah) dan arus inrush trafo. Garis kedua (garis batas ketahanan trafo) yang merupakan batas ketahanan trafo dimana fuse harus sudah bekerja. Gangguan yang dapat melebihi batas tersebut adalah gangguan hubung singkat disisi primer atau sekunder trafo.
- b. Garis batas ketahanan trafo distribusi umum ditentukan oleh titik- titik 2 x In selama 100 detik - beban lebih, 3 x In selama 10 detik - beban peralihan, 6 x In selama 1 detik - beban peralihan, 15 x In selama 0,1 detik - arus inrush trafo dan 25 x In selama 0,01 detik - arus inrush trafo.
- c. Garis batas ketahanan trafo untuk arus lebih, hubung singkat pada jaringan tegangan rendah ditentukan oleh titik- titik 3 x In selama 300 detik, 4,75 x In selama 60 detik, 6,7 x In selama 30 detik dan 11,3 x In selama 10 detik.

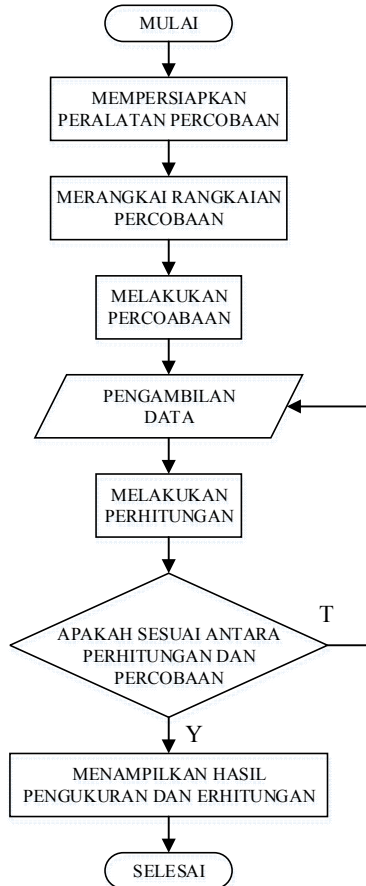
Salah satu bagian terpenting dari transformator adalah belitan/lilitan yang biasanya terbuat dari konduktor tembaga atau aluminium. Saat terjadi gangguan baik beban lebih maupun hubung singkat, akan timbul stress termal akibat gangguan bergantung besarnya gangguan. Untuk masing- masing konduktor, terdapat batas temperatur dimana konduktor tersebut mulai kehilangan kekuatan selama periode waktu tertentu. Konduktor yang dipilih harus tahan terhadap panas yang dihasilkan saat terjadi gangguan. Panas tersebut tidak boleh melebihi batas temperatur konduktor. Batas ketahanan termal untuk tembaga dan aluminium ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Batas ketahanan termal untuk tembaga dan aluminium

Bahan	Batas Temperatur (°C)
Tembaga	250
Aluminium	200

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, dengan menggunakan transformator tiga fasa dengan kapasitas 2 kVA. Langkah- langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram alir penelitian

Pengambilan data dilakukan pada transformator 3 fasa dengan kapasitas 2 kVA, yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Data yang diperoleh lalu di analisa pengaruh beban lebih terhadap kinerja transformator dengan melakukan perhitungan.

Adapun daya keluaran transformator dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$P_{output} = \sqrt{3} V_{L-L} I_{L-L} \cos \phi \quad (2)$$

Dimana:

- P_{output} = Daya keluaran transformator
- V_{L-L} = Tegangan *line to line*
- I_{L-L} = Arus *line to line*

Sedangkan untuk menghitung efisiensi (η) transformator dengan persamaan (3).

$$\eta = \frac{p_{in}-rugi}{p_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

- P_{out} = Daya keluaran
- P_{in} = Daya masukan transformator

Persamaan untuk menghitung % tegangan regulasi:

$$\%VR = \frac{V_{NL}-V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana:

- V_{N-L} = Tegangan pada saat beban nol
- V_{F-L} = Tegangan pada saat beban penuh

Sedangkan untuk menghitung kenaikan suhu dari masing- masing hubungan belitan akibat kenaikan beban digunakan persamaan:

$$\Delta T = K I^2 T_{mins} (\Omega/\#) \quad (5)$$

Dimana:

- ΔT = Kenaikan suhu penghantar per menit
- K = Konstanta kenaikan suhu peralatan (0,343)
- I = Arus pada saat pembebanan
- T = Waktu lamanya pembebanan (menit)

4. Hasil dan Pembahasan

Adapun pembahasan dari tugas akhir ini menunjukkan perhitungan dari data yang diperoleh dari hasil percobaan, diperlihatkan pada perhitungan hubungan Yy_0 sebagai berikut:

a. Keadaan Beban Nol

Hasil penelitian pada beban nol ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Beban Nol

V_{L-L} in	248 volt
V_{L-L}	292 volt

b. Keadaan Berbeban

Hasil penelitian pada keadaan berbeban ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Berbeban Lebih

V_{L-L} in	215 volt
V_{L-N}	125 volt
V_{L-L}	230 volt
I_{Load}	4,69 A
P_{input}	2 kVA

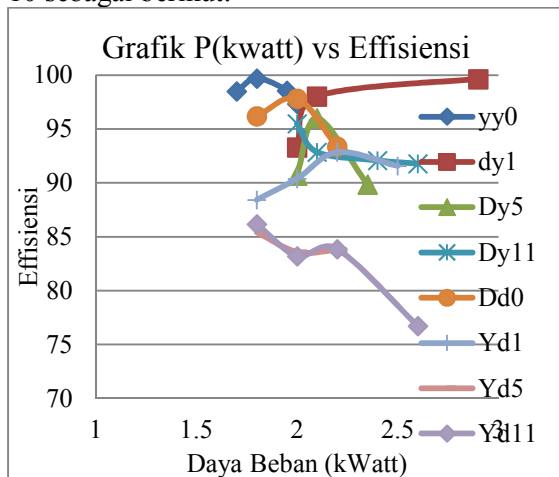
Dengan menggunakan persamaan (2) maka diperoleh daya keluaran transformator adalah $P_{out} = 1868$ Watt.

c. Dengan menggunakan persamaan (3) maka diperoleh nilai efisiensi transformator yaitu $\eta = 93,31\%$.

Dengan menggunakan persamaan (4) diperoleh nilai % regulasi adalah %VR = 21,23%.

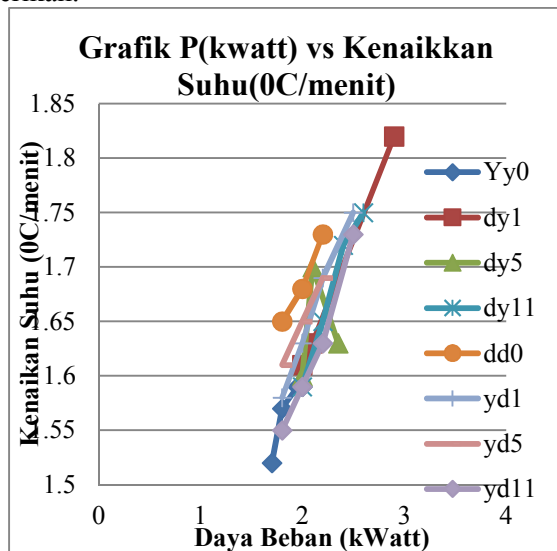
- d. Dan dengan menggunakan persamaan (5) maka diperoleh nilai kenaikan suhu pada masing- masing hubungan belitan pada beban lebih adalah $\Delta T = 1,6 \text{ }^\circ\text{C/ menit}$.

Dari hasil perhitungan terhadap data yang diperoleh dari masing- masing hubungan maka didapatkan grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 9 Grafik Daya beban vs efisiensi

Pada Gambar 9 terlihat bahwa pada masing-masing hubungan belitan memiliki grafik yang berbeda – beda dalam hal efisiensi pada masing-masing pembebanan yang diberikan.



Gambar 10 Grafik Daya beban vs kenaikan suhu

Grafik kenaikan suhu pada masing- masing hubungan belitan ditunjukkan pada

Gambar 10. Pada grafik tersebut terlihat perbedaan kenaikan suhu pada masing- masing kenaikan beban.

5. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis percobaan berbeban lebih pada transformator 3 fasa pada masing- masing hubungan belitan didapatkan bahwa efisiensi terbaik terdapat pada hubungan belitan Dd_0 yaitu hubungan yang biasa digunakan pada transformator dengan dengan tegangan rendah.
2. Dari hasil analisis percobaan berbeban lebih pada transformator 3 fasa pada masing- masing hubungan belitan didapatkan bahwa regulasi tegangan terbaik terdapat pada hubungan belitan Yy_0 yang biasa digunakan pada tegangan tinggi.
3. Akibat beban lebih yang diberikan pada transformator 3 fasa terjadi kenaikan suhu yang bervariasi untuk masing- masing hubungan belitan, kenaikan suhu belitan tertinggi terjadi pada hubungan Dy_1 , dan kenaikan suhu terendah terdapat pada hubungan belitan Yy_0 .

6. DaftarPustaka

- [1] Zuhail, “Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya”, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1988.
- [2] Wijaya, Mochtar, “Dasar- Dasar Mesin Listrik”, Djembatan, Jakarta, 2001.
- [3] Harlow, James.H, “Electric Power Transformer Engineering”, CRC Press LLC, Florida, 2004.
- [4] Jargstorf, Johannes, "Effect of Demand Respon on Transformer Lifetime Expectation", IEEE PES Innovation Smart Grid Europe, Berlin, 2012.
- [5] Lumbanraja, Hotdas, “Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Hubungan Open-Delta”, Repository USU, 2008.
- [6] <https://electricalnotes.wordpress.com/2012/05/23/vector-group-of-transformer>
- [7] Palmer-Bucle, Peter, "Characteristic Of Transformer Parameter During Internal Wnding Faults Based On Experimental Measurements", IEEE Power System, Texas, 1999.