

STUDI RUGI DAYA PADA TRANSFORMATOR 20 KV/690 VOLT PADA INDUSTRI KERTAS SAAT TERJADI GANGGUAN 1 PHASA KE TANAH

Van den Bosch Sitanggang*, Edy Ervianto **

*Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Riau **Dosen Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: vandenbosch1975@gmail.com; vanvivo1975@gmail.com;

ABSTRACT

Energy Losses is the Loss of Electrical energy , when it is generated and supplied through end user, thereby reducing the amount of energy that can be consumed by lumped Load is the main object of this study. Normally electrical system which is supplied from Turbine Generator, transmitted, distributed to load well, but at the time a fault arise, protective system ideally working as well as designed. In this research, assumption is taken into account when short circuit occurred ,protective system is not well- working and by doing this researcher analyze, simulate by program software ETAP 12.6.0 and calculating the losses of power that's emerging in Transformator. By analyzing the simulation and calculation by using Kirchoff's Current Law and the Software it is hoped all parameter contribute to the conclusion and suggestion such as the ideal set point of protective system, the chosen value of reactance and resistance of the conductor and cooling system in transformator. By getting data parameter from field that Voltage supplied 20 KV/690Volt, 3150 KVA, 2635,72 Amp of Distribution Transformer , got faulted current for 0.3 km distance fault. $I_{ph-G} = 1853,5$ Amp the magnitude of power losses caused by the fault is about 13.567 Watt power.

Keywords : A phase- ground fault, Power losses, Transformator capacity,

1. PENDAHULUAN

PT Esensindo Cipta Cemerlang adalah merupakan salah satu unit bisnis dari group perusahaan PT.RAPP yang memproduksi bahan kimia *Calcium Carbonate* yang selanjutnya produk tersebut dipakai untuk unit bisnis lainnya di kawasan industri RAPP yaitu industri penghasil kertas. Perusahaan ini memiliki Transformator dengan kapasitas daya 3150 KVA, 20KV/690 Volt, dan merupakan peralatan listrik yang membantu menyuplai daya dengan menurunkan tegangan distribusi 20 KV ke 690 Volt sebagai

tegangan kerja (*rating voltage*) di PCC Plant .

Penyaluran daya dari Transformator *Step Down* 20 KV/690 Volt selanjutnya dihubungkan melalui Rel Daya yang telah terhubung pada MCC (*Main Control Centre*) dan jaraknya 1 km dan diteruskan ke beban 3 phasa , supply 690 V seperti motor motor yang ada di PCC Plant yang disebut dengan *Lumped Load*.

Sistem tenaga listrik yang pada umumnya terdiri dari pembangkit, jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Berdasarkan konfigurasi jaringan , pada

sistem ini setiap gangguan yang ada pada penghantar, akan mengganggu penyaluran listrik pada sistem kelistrikan dan pada beban beban penyaluran.

Apabila gangguan tersebut bersifat permanen memerlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum boleh dioperasikan kembali. Suatu gangguan dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan dalam suatu rangkaian listrik yang menyebabkan aliran arus listrik yang sangat besar dan keluar dari saluran yang seharusnya. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh putusnya kawat saluran transmisi sehingga terjadi hubung singkat ke tanah. Impedansi gangguan umumnya bernilai rendah sehingga arus gangguan yang terjadi sangat besar. Selama terjadi gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi suplai ke sirkuit tiga fasa yang berdekatan.

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, peralatan proteksi seperti Pengaman Lebur atau *Circuit Breaker* merupakan perangkat yang idealnya diharapkan bekerja efektif, langsung memutus jalur listrik, namun pada tulisan ini penulis mengkaji kegagalan fungsi proteksi sehingga menimbulkan kerugian daya yang timbul pada transformator tersebut saat terjadi gangguan dengan membatasi masalah gangguan yang terjadi merupakan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Selama terjadi gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi suplai ke tiga fasa yang berdekatan. Arus gangguan yang besar dapat merusak tidak hanya pada peralatan yang terganggu, tetapi juga instalasi yang dilalui arus gangguan.

Perhitungan hubung singkat adalah analisis suatu system tenaga listrik pada keadaan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat hubungan singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya

penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan, Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik saat waktu perencanaan maupun waktu beroperasi.

Dengan analisa Komponen Simetris, Hukum Arus Kirchoff dan dengan menggunakan Hukum Ohm sebagai bagian dari penentuan besarnya arus gangguan I_f akan di ulas dalam tulisan ini dan besarnya rugi daya yang timbul akibat gangguan satu fasa ke tanah

2. LANDASAN TEORI

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak balik dari satu nilai ke nilai yang lain tanpa ada perubahan frekwensi. (Abdul Kadir, UI-Press, 2010).

Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan bergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Kedua kumparan saling tergabung secara magnetik melalui inti. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar $I^2 \cdot R$ Watt detik. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan.

Kapasitas daya transformator merupakan perkalian antara E dan J rapat arus (A/m^2) dan A luas penampang dari lilitan coil (m^2)

$$S = V \cdot I = 4.44 \cdot B_{\max} \cdot A_{\text{core}} \cdot N \cdot f \cdot J \cdot A_{\text{cond}}$$

S : kapasitas daya travo (Volt Ampere)

V : tegangan suplai (volt)

B_{\max} : rapat fuksi maksimum inti (Tesla)

A_{core} : luas penampang inti (m^2)

N : jumlah lilitan

f : frekwensi suplai (Hertz)

J : rapat arus (amp/m^2)

Pada saat Transformator diberikan tegangan, pemanasan timbul pada transformator itu sendiri yang di akibatkan oleh apa yang disebut dengan rugi rugi transformator. Transformator yang mempunyai rugi rugi daya memberikan daya keluaran yang akan lebih kecil dari daya masukannya, dan perbandingan antara daya keluaran dan daya masukannya disebut efisiensi (η). Pada kondisi normal transformator memiliki rugi inti dan rugi lilitan

Rugi daya inti trafo sering disebut rugi tetap terdiri dari rugi hysteresis P_h dan rugi eddy P_e , dimana rugi hysteresis disebabkan oleh fluks bolak balik pada inti besi sedangkan rugi arus pusar timbul karena adanya arus yang arahnya berputar didalam inti. Kedua jenis rugi rugi tersebut tidak linear dan complex dan besarnya kebanyakan dinyatakan dalam persamaan empiris, tetapi semuanya terkait dengan konstanta konstanta dari inti (K), frekwensi operasi (f) dan rapat fluksi atau induksi magnet maksimum didalam inti (B_m).

Rugi lilitan pada trafo terdiri dari rugi lilitan primer dan lilitan sekunder juga disebut rugi rugi tembaga (Cu), Rugi rugi tembaga terjadi disebabkan oleh pemanasan akibat arus yang mengalir, dan besarnya sebanding dengan kwadrat arus yang mengalir didalam lilitan.

2.2 Arus gangguan

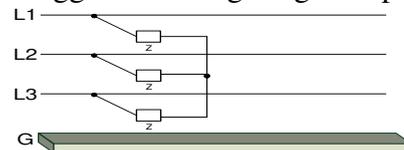
Gangguan Hubung Singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik terutama pada saluran tiga fasa. Arus lebih yang dihasilkan hubung singkat tergantung pada besar kapasitas daya penyulang, besar tegangan, dan besar impedansi rangkaian

yang mengalami gangguan. Hubung singkat menghasilkan panas yang cukup tinggi pada trafo sebagai akibat dari naiknya rugi rugi tembaga sebagai perbandingan dari kuadrat arus gangguan. Arus gangguan yang besar ini mengakibatkan tekanan mekanik (*stresses*) yang tinggi pada trafo.

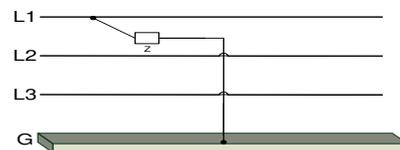
2.3 Gangguan Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan yang biasanya terjadi pada jaringan listrik/sistem kelistrikan ada 4 jenis dan yang menjadi objek dari tulisan ini yaitu :

a. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa



b Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah



Dari kedua gangguan hubung singkat diatas yang merupakan bagian bahasan peneliti, arus gangguannya dapat dihitung dengan menggunakan rumus umum yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

I = arus yang mengalir melalui impedansi

V = tegangan sumber

Z = impedansi jaringan, nilai ekuivalen dari seluruh impedansi didalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap

komponen jaringan serta bentuk konfigurasi jaringan didalam sistem maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus diatas. Lebih lanjut, besarnya arus yang mengalir pada tiap komponen jaringan dapat dihitung dengan bantuan rumus diatas.

Perbedaan diantara gangguan yang terjadi seperti diatas yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut dibawah ini :

$$Z_{3ph} = Z_1$$

$$Z_{2ph} = Z_1 + Z_2$$

$$Z_{1ph-G} = Z_1 + Z_2 + Z_0$$

dimana

Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negative

Z_0 = impedansi urutan nol

2.4 Rugi Daya pada Trafo saat terjadinya gangguan 1 Fasa ke tanah

Setelah nilai arus gangguan yang diperoleh akibat terjadinya gangguan hubung singkat maka dilanjutkan perolehan besarnya rugi daya transformator 3 fasa . Rumusan yang di gunakan untuk perhitungan rugi daya yaitu :

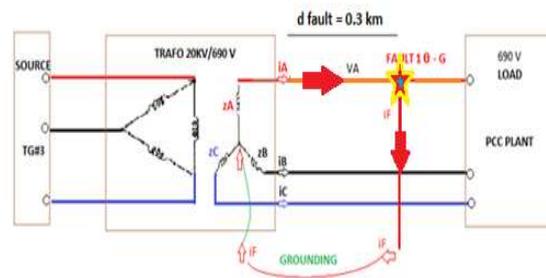
$$P = 3 \cdot (I_{af})^2 \cdot R_{cu} \dots\dots\dots(2)$$

P = Rugi daya pada transformator (Watt)

I_{af} = arus gangguan hubung singkat (Am)

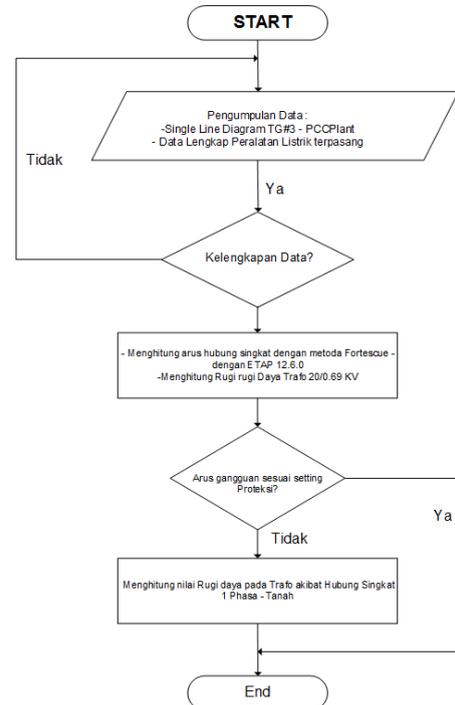
R_{cu} = tahanan tembaga Trafo (Ohm)

Model yang ditunjukkan sebagai dasar perhitungan untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



3 METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan berdasarkan flowchart penelitian dengan melakukan perhitungan-perhitungan sesuai dengan landasan teori.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada industri kalsium karbonat yang merupakan bagian dari unit usaha industri kertas tepatnya di PCC Plant PT Esensindo Cipta Cemerlang di kompleks Industri PT. Riau Andalan Pulp and Paper.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan arus gangguan simetris 3 fasa (I_{3ph})

Arus gangguan simetris (I_r) sama dengan arus gangguan 3 fasa adalah sama nilai arus di masing-masing fasa dan merupakan arus ketika transformator pada saat keadaan beban penuh dihitung dengan ukuran per unit dari transformator.

$$S_{base} = 3150 \text{ KVA} = 1 \text{ pu}$$

$$V_{base} = 690 \text{ V}_{L-L} = 1 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{S_{ph}}{V_{ph}} = \frac{3150 \text{ KVA}/3}{690/V3} = 2635.729 \text{ Amp} = 1 \text{ pu}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{ph}}{I_{ph}} = \frac{398.3717}{2635.729} = 0.15114 \text{ Ohm} = 1 \text{ p.u}$$

Besarnya arus gangguan 3 phase

$$I_{3\phi} = V_L/\sqrt{3} / Z_1 (sal + Z_{trafo})$$

$$I_{3\phi} = 1/\sqrt{3} / 0.328 < 51.36^\circ$$

$$= 1/\sqrt{3} \cdot 0.328 < 51.36^\circ$$

$$= 1.7602 < 51.36^\circ$$

$$I_{3\phi} = 1.7602 < 51.36^\circ \text{ 1.pu}$$

$$= 1.7602 \times 2635.7 \text{ Amp}$$

$$= 4639.4 \text{ Amp} = 4.64 \text{ kAmp}$$

Perhitungan arus gangguan simetris 1 fasa ke tanah (I_{1ph-G})

Untuk gangguan 1 fasa ke tanah dianggap fasa a yang sedang mengalami gangguan, sehingga

$$I_b = I_c = 0$$

Besarnya arus gangguan 1 fasa ke tanah = $I_{L-G} =$

$$\frac{VL}{\sqrt{3} Z_{trafo} (Z_1+Z_2+Z_0) + Z_{sal}(Z_1+Z_2+Z_3) + 3Z_g}$$

Dari data yang diperoleh pada referensi sumber ETAP (*library*) untuk kabel terpasang jenis XLPE, diameter 240 mm² = (0.3495 + j0.24) Ohm/ km dan dengan jarak titik gangguan 0.3 km maka

Dari referensi yang diperoleh untuk kabel jenis XLPE, tembaga dan diameter 240 mm² diperoleh data Impedansi nol = R_o sal = 0.3055 Ohm /km dan X_o sal = 0.21254 Ohm / km serta Impedansi Z_o sal = 0.3722 Ohm/km

Sehingga nilai p.u Impedansi nol pada jarak 0.3 km dari sumber tegangan = 0.09165 + j 0.063762 Ohm.

$$I_{af \text{ L-G}} = \frac{VL}{\sqrt{3} Z_{trafo} (Z_1+Z_2+Z_0) + Z_{sal}(Z_1+Z_2+Z_0) + 3Z_g} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 0.821 < 51.618^\circ}$$

$$I_{af \text{ L-G}} = (0.7032 < -51.61^\circ) \cdot 1 \text{ Pu} = (0.7032 < -51.61^\circ) \times 2635.7 \text{ A} = 1853.5 \text{ Amp}$$

4.2 Rugi rugi daya pada Transformator saat terjadi gangguan 1 fasa ke tanah

Dengan besarnya nilai arus gangguan yang mengalir pada gangguan 1 fasa ke tanah dengan jarak titik gangguan 300 mtr, maka besarnya rugi rugi daya untuk kondisi tersebut diperoleh dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus :

$$P_{cu} = 3 \cdot (I_{af})^2 \cdot R_{cu}$$

$$P_{cu} = \text{rugi daya pada trafo (Watt)}$$

$$I_{af} = \text{arus gangguan}$$

$$R_{cu} = \text{resistansi tahanan trafo 3 fasa}$$

Dengan perolehan arus gangguan (I_{af}) pada jarak 300 meter yang bernilai 1853.5 Amp < -51.61^o maka besaran rugi daya pada transformator 3 fasa dengan menggunakan persamaan rumus (2) maka diperoleh besarnya rugi daya pada transformator sebesar :

$$P_{cu} = 3 (1853.5 \text{ Amp})^2 \cdot 0.00871 \text{ p.u} = 3 \cdot (1853.5 \text{ Amp})^2 \cdot 0.00871 \cdot 0.15114 = 3 \cdot (3369060) \cdot 0.00871 \cdot 0.151 = 13563 \text{ Watt}$$

Dari titik gangguan yang terjadi disimulasikan berdasarkan jarak 100 meter hingga jarak 10 km dapat ditabelkan besarnya rugi rugi daya yang terjadi saat hubung singkat berlangsung, seperti terlihat pada table dibawah ini :

No	Jarak gangguan km	I _{af} (Arus gangguan L-G) (Amp)	R _{cu} = 0.00871 x 0.15114 (Ohm)	P (power losses) = 3. (I _{af}) ² .R _{cu} (Watt)
1	0.1	3830	0.001316	57912.8172
2	0.2	2507.8	0.001316	24829.2122
3	0.3	1853.5	0.001316	13563.20496
4	0.4	1469.18	0.001316	8521.718016
5	0.5	1214.61	0.001316	5824.395381
6	0.6	1035.23	0.001316	4231.076152
7	0.7	902.02	0.001316	3212.251037
8	0.8	799.18	0.001316	2521.542879
9	0.9	717	0.001316	2029.623372
10	1	649.8	0.001316	1667.003678
11	2	336.9	0.001316	448.1043563
12	3	227.293	0.001316	203.9620018
13	4	202.52	0.001316	161.9246554
14	5	144.4	0.001316	82.32116928
15	10	72.78	0.001316	20.91227332

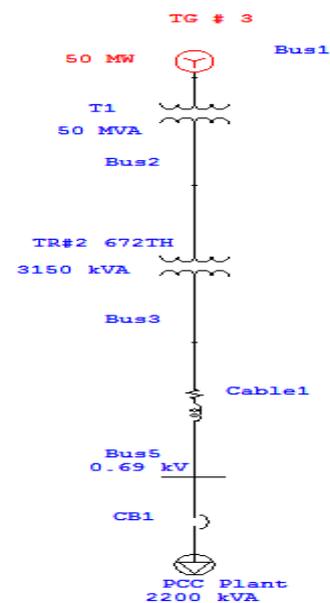
Data Transformator 3150 KVA,20KV/690V

DATA TRANSFORMATOR 3 ph ABB 3150 KVA; 20KV/690 V	
No Data	
1 Type	CTMP 24 NA 3150
2 Rated Power	3150 KVA
3 Voltage Ratio Prim/Sec	20.000 +/- 2X2.5%/690 at No Load
Rated HV current	90.9 Amp
Rated LV current	2635.7 Amp
4 Frequency	50 Hz
5 Connection	DYN11
6 Standards	IEC 60076
7 Insulation Level Winding, kV	LI 125 AC 50/LI _ AC8
Bushing, kV	LI 125 AC 55/LI _ AC8
8 Temperature Rise Oil / Winding °C	60/65
9 Cooling Method	ONAN (Oil Nature Air Nature)
10 No Load Losses, Watt	3100
11 Load Losses, Watt	25500
12 Impedance Voltage, %	7
13 Total Weight with Oil , kg	5900
14 Type of Oil	Mineral Oil Nynas Nitro 10 XN
15 Preliminary dimension LxWxH,mm	2490 x 2240 x 2350
16 Winding Resistance	
Average Oil Temperature	22oC
17 Load Losses n Impedance Voltage	
Reference Power	3150 kVA

4.3 Metode Simulasi

Pelaksanaan simulasi dan pemodelan sistem daya berdasarkan parameter dan data yang ada dilapangan dilakukan dengan perangkat lunak ETAP versi 12.6.0 yang berfungsi untuk memodelkan sistem daya yang ada untuk analisis sistem pada keadaan gangguan 3 phasa ($I_{f\ 3ph}$) dan gangguan 1 phasa ke tanah (I_{af-G}) ada sistem kelistrikan yang ada pada industry kertas tepatnya di PT. Esensindo Cipta Cemerlang.

Simulasi ini menggunakan frekwensi jala jala 50 Hz, daya dasar 3150 KVA, dengan tegangan dasar 690 Volt,



Simulasi sesuai *Single Line Diagram* yang dilakukan di ETAP 12.6.0

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Besarnya arus gangguan akibat hubung singkat sangat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan ke lokasi sumber tegangan, nilai impedansi sistem dan besarnya tegangan
2. Hubung singkat yang timbul dari gangguan lph-tanah menghasilkan nilai arus gangguan I_{ph-G} untuk jarak 0.3 km diperoleh arus yang sangat besar 1835.5 Amp dan besarnya rugi rugi daya yang diakibatkan oleh adanya gangguan tersebut diperoleh nilai sebesar 13.563 Kilowatt.
3. Besarnya rugi rugi daya yang timbul akibat hubung singkat berbanding lurus dengan kwadrat arus besarnya arus gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir,Ir.2010, *Transformator* ,
University Indonesia Press, Jakarta
- Alan L, Sheldrake, 2002, *Handbook of
Electrical Engineering*, John Wiley
and Sons,

- Jorge Santa Maria, 2011. A Thesis of *Analysis of Power Systems under Fault Conditions*, California State University, Sacramento
- Leonard L.Grigsby, 2007. *POWER SYSTEM, Electric Power Engineering Handbook*, CRC Press
- Stevenson, William D,1984, . *Analisis Sistem Tenaga*, Erlangga 4th Edition, Erlangga, Jakarta,