

ANALISIS SISTEM *ON LOAD TAP CHANGER* (OLTC) PADA TRANSFORMATOR 150/20 KV UNTUK MENJAGA KESTABILAN TEGANGAN PADA GI KALIWUNGU JAWA TENGAH

Andy Rafianto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
Email: rafianto_andy@yahoo.co.id

ABSTRAKS

Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai pengolah kebutuhan listrik berusaha memberikan pelayanan ketenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan menyediakan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi, hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan. Kenyataannya sulit mendapat tegangan yang konstan dan stabil yang disebabkan antara lain adanya fluktuasi beban, kerugian pada hantaran yang mempunyai impedansi yang menyebabkan jatuh tegangan. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator agar tetap konstan pada harga 20 kv maka digunakan pengubah sadapan yang dipasang pada transformator daya 150/20kV dan bekerja otomatis pada setiap perubahan tegangan yang disebabkan adanya jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui langkah perhitungan menentukan perubahan *on load tap changer* dalam memperbaiki tegangan sisi sekunder transformator daya 150/20 kV dengan analisa perhitungan tegangan keluaran transformator diantaranya menghitung nilai impedansi trafo, menghitung drop tegangan pada trafo dan menghitung V_{out} transformator setelah mengalami drop tegangan, apabila tegangan keluaran transformator diluar setting yang telah ditentukan, selanjutnya dilakukan tahap pemindahan posisi tap pada trafo sesuai setting. Dengan analisa perhitungan diatas maka kita akan mengetahui apakah penyulang masih dibawah standar SPLN (Lampiran Surat Keputusan Direksi PLN) 72 1987 yaitu maksimal jatuh tegangan 5% pada sisi sekunder.

Kata Kunci : *transformator, tap changer*

ABSTRACT

The State electricity company (PLN) as a processor of electricity needs to provide electrical power services in accordance with the needs of consumers by providing power systems that have quality, continuity and high reliability, this can be achieved if the power system has a stable and constant voltage at a predetermined value. In fact difficult to get a constant and stable voltage, which is caused by unstable loads, and losses in the conductivity that have an impedance that causes a voltage drop. To maintain the output voltage on the secondary side of the transformer to remain constant at a value of 20 kV then use a tapping converter mounted on a 150/20kV power transformer and Work automatically on any voltage changes caused due to the voltage drop caused by the change of load and the length of the cable. The purpose of this research is to know the calculation step determines the change from (on load tap changer) to improve the secondary side voltage of power transformer 150/20 kV with the calculation of the output voltage of the transformer such as calculating the impedance value of the transformer, calculate the voltage drop across the transformer and calculate the output voltage of the transformer after the voltage on the secondary side of the transformer there is a decrease in the output voltage of the transformer beyond the specified setting, the next process is tap transfer according to tap settings. On the above calculation analysis then we will know whether the repeater is still below the standard SPLN (Attachment of the decision of the board of directors PLN) 72 1987 is the maximum voltage drop 5% on the secondary side.

Keywords : *transformator, tap changer*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perusahaan listrik negara sebagai pengolah kebutuhan listrik berusaha memberikan pelayanan ketenaga listrikan sesuai dengan kebutuhan konsumen dengan menyediakan sistem tenaga listrik yang mempunyai mutu, kontinuitas dan keandalan yang tinggi, hal ini dapat dicapai apabila sistem tenaga listrik mempunyai tegangan yang stabil dan konstan pada nilai yang sudah ditentukan. Kenyataannya sulit mendapat tegangan yang konstan dan stabil yang disebabkan antara lain adanya fluktuasi beban, kerugian pada hantaran yang mempunyai impedansi yang menyebabkan jatuh tegangan. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator agar tetap konstan pada harga 20 kV maka digunakan pengubah sadapan (*tap changer*) yang dipasang pada transformator daya 150/20kV dan bekerja otomatis pada setiap perubahan tegangan yang disebabkan adanya jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran.

Kenyataannya sulit mendapat tegangan yang disebabkan antara lain, adanya fluktuasi beban, kerugian pada hantaran berupa saluran udara ada pula yang berupa saluran kabel yang mempunyai impedansi sehingga menyebabkan jatuh tegangan, dimana tegangan yang dinyatakan dalam volt, merupakan perkalian arus dengan impedansi peralatan penyaluran tenaga listrik semakin besar harga seiring dengan meningkatnya kebutuhan akses komunikasi baik itu voice maupun data, maka saat ini kebutuhan akan ketersediaan media transmisi meningkat diseluruh wilayah, salah satunya transmisi satelit.

2. Tinjauan Pustaka

4.1 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 \times R$).

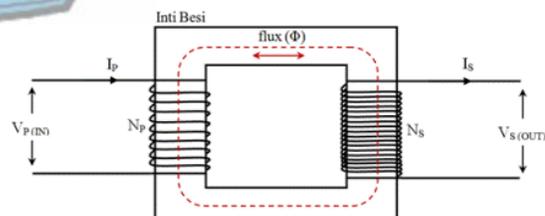
Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi yang mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban.

4.2 Gardu Induk

Gardu induk merupakan suatu nsistem instalasi listrik yang terdiri dari beberapa perlengkapan peralatan listrik dan mernjadi penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi primer, jaringan transmisi adalah bagian sistem dari sistem tenaga listrik yang tugasnya adalah menyalurkan tenaga listrik, dari pembangkit listrik ke gardu induk penaik melalui jaringan transmisi ke gardu induk penurunan hingga di distribusikan ke semua konsumen pengguna tenaga listrik (Alsimeri, 2008 : 1840). Sistem Distribusi kebanyakan merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (GI).

4.3 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi electromagnet.



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Transformator

4.4 Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.

2.4.1. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan sekunder yang

diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain.

2.4.2. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebahagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

2.4.3. Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dan ke jaringan luar melalui sebuah bussing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator

2.4.4. Tangki Konservator

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban.

4.5 Penggunaan On Load Tap Changer (OLTC) Pada Transformator

Dari namanya sendiri yaitu On Load Tap Changer dapat diartikan mengubah tap dalam keadaan berbeban artinya peralatan ini dapat melakukan perubahan tap untuk menambah atau mengurangi jumlah kumparan (dalam hal ini disebut kumparan bantu) tanpa harus melakukan pemadaman terlebih dahulu, *sehingga secara umum On Load Tap changer atau yang disingkat OLTC merupakan peralatan yang dipasang pada transformator untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sisi sekunder dengan memilih rasio tegangan tanpa melakukan pemadaman, dimana rasio tegangan ini ditentukan oleh kumparan tegangan yang dihubungkan dengan tap selector pada OLTC.*

2.5.1. Fungsi

Seperti yang telah diketahui bahwasannya tegangan yang diterima oleh konsumen hendaknya stabil untuk menyalakan peralatan-peralatan yang bekerja oleh energy listrik, hal ini agaknya berbanding terbalik dengan tegangan di sistem yang tidak stabil atau bersifat fluktuatif hal ini selain disebabkan oleh perubahan beban juga dipengaruhi oleh banyaknya daya yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit.

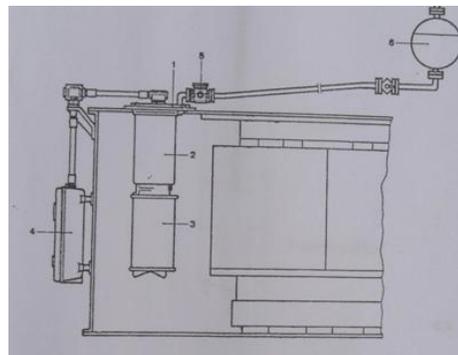
2.5.2. Prinsip Dasar OLTC

Secara umum Prinsip dasar dari OLTC ini yaitu melakukan pengaturan tegangan baik sisi sekunder maupun primer yang dilakukan dengan cara memilih rasio tegangan, dimana untuk memilih rasio yang

dikehendakidilakukan dengan cara menambahkan atau mengurangi jumlah kumparan yang dimana proses tersebut dilakukan oleh tap selector dan diverter switch.

2.5.3. Bagian – bagian Tap Changer

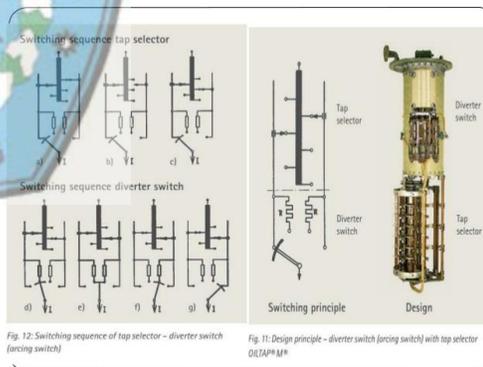
Secara umum bagian-bagian dari tap changer dapat dibedakan menjadi sebagai berikut :



Gambar 2.2. Bagian – bagian Tap Changer

Keterangan :

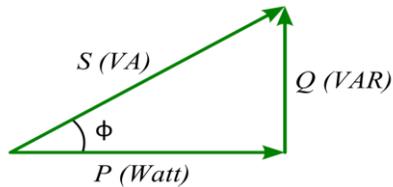
1. Tap changer Head and Cover
2. Tap changer Oil compartment
3. Tap selector, diverter switch dan tahanan transmisi
4. Motor drive unit
5. Tap changer protective rele
6. Tap changer oil conservator



Gambar 2.3. OLTC

2.6. Daya

Segitiga daya dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada bentuk segitiga berikut ini :



Gambar 2.4. Segitiga Daya

Keterangan :

$$P = S \times \cos\theta \text{ (Watt)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)}$$

$$Q = S \times \sin\theta \text{ (VAR)}$$

2.7. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran volt.

$$Vd = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

Dimana :

V_d = Rugi tegangan (V)

V_s = Tegangan pada pangkal pengiriman (V)

V_r = Tegangan pada ujung penerimaan (V)

Rumus Perhitungan Drop Tegangan :

Mencari nilai impedansi pada saluran :

$$Z = R + jXL$$

Impedansi Total :

$$Z_{tot} = Z \times l$$

Perhitungan jatuh tegangan disisi penyulang dapat dihitung dengan cara:

$$V_s \text{ (LN)} = V_r \text{ (LN)} + I \cdot Z$$

Menghitung nilai rugi tegangan :

$$V_d \text{ (L-N)} = V_s \text{ (L-N)} - V_r \text{ (L-N)}$$

$$V_d \text{ dalam } \% = (V_s - V_r) / V_r \times 100 \%$$

Keterangan :

V_s : Tegangan sisi kirim (Volt)

I : Arus (Ampere)

Z : Impedansi

V_d : Drop tegangan (volt)

V_s : Tegangan sisi kirim (Volt)

V_r : Tegangan sisi terima (Volt)

V_d dalam 3 phase :

$$V_d \text{ (LL)} = V_d \text{ (LN)} \times \sqrt{3}$$

3. Metode Penelitian

4.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 29 Januari 2018 pukul 10.00 yang bertempat di Gardu Induk Kaliwungu.

4.2 Data Populasi Dan Sample

Data sampel yang akan diambil adalah sebagian atau perwakilan dari populasi yang diteliti, dalam penelitian ini menggunakan *purposive sample* yaitu sampel dari populasi transformator daya 150/20 kV yang ada di Gardu Induk Kaliwungu yang mewakili beban tertinggi yang digunakan untuk pembebanan di Gardu Induk Kaliwungu yang berjumlah 1 transformator dengan 6 penyulang.

NO	Transformator	Penyulang
	Transformer ABB (Asea Brown Boveri)	KLU 08 (KALIWUNGU 08)
		KLU 10 (KALIWUNGU 10)
		KLU 07 KALIWUNGU 07)
		KLU 03 (KALIWUNGU 03)
		KLU 11 (KALIWUNGU 11) off
		KLU 12 (KALIWUNGU 12) off

Gambar 3.1. Daftar Penyulang Di Transformator I Merk ABB

4.3 Perubahan Tap

Perubahan tap pada transformator dibedakan menjadi dua cara, yaitu perubahan dalam kondisi berbeban (*on load tap changer*) dan kondisi tidak berbeban (*off load tap changer*). Perubahan posisi *tap changer* bertujuan untuk mendapatkan tegangan nominal sesuai dengan yang diinginkan agar tidak terjadi kelebihan tegangan atau kekurangan tegangan mengikut standard jatuh tegangan SPLN 72 Tahun 1987 pada jaringan tegangan menengah sebesar 5 %.

Perubahan posisi tap pada transformator dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Tegangan sisi terima pada transformator melebihi batas nominal dari transformator
2. Perubahan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima yang dipengaruhi oleh panjang penyulang yang berpengaruh terhadap nilai impedansi saluran dan pembebanan (arus).

Penelitian akan diambil pada penyulang Kaliwungu 03 dikarenakan pada penyulang tersebut yang memiliki pembebanan terbesar. Pengambilan

beban yang akan dilakukan penelitian pada 3 jarak panjang saluran yang berbeda yaitu pada transformator distribusi terdekat, ditengah dan terjauh pada tanggal 29 Januari 2018, pada pukul 10.00 WIB dikarenakan PLN hanya melakukan pengukuran beban di Transformator Distribusi pada waktu tersebut.

13	136,8	249,7 / 166,4	60 / 40
14	136,5	253,8 / 169,2	60 / 40
15	134,3	258,0 / 172,0	60 / 40
16	132,0	262,4 / 175,0	60 / 40
17	129,8	267,0 / 178,0	60 / 40
18	127,5	271,7 / 181,1	60 / 40

Untuk menghitung perubahan tap dapat diketahui dengan rumus :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Keterangan :

V_1 = tegangan primer (volt)

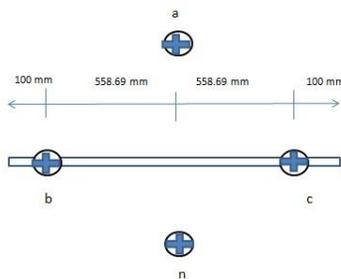
V_2 = tegangan sekunder (volt)

E_1 = tegangan pada kumparan primer (volt)

E_2 = tegangan pada kumparan sekunder (volt)

4.4 Konstruksi Tiang

Kawat penghantar berfungsi untuk mengalirkan energi listrik dari suatu tempat ketempat lainnya. Saluran distribusi JTM pada gardu induk kaliwungu ke JTM menggunakan kawat penghantar AAAC dengan ukuran 1 x 240 mm² dengan jenis konstruksi tiang menggunakan tipe CC-1.

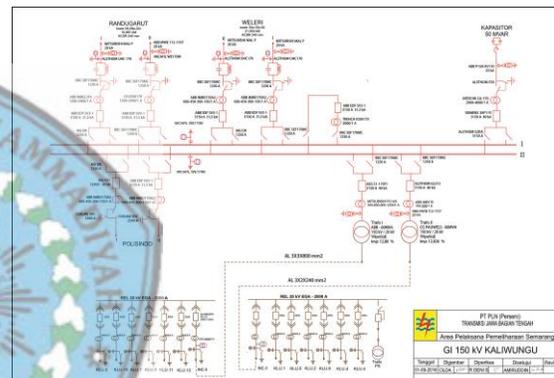


Gambar 3.2. Konstruksi Di JTM 20 kV GI Kaliwungu

Gambar 3.3. Data Name Plate Posisi Tap Transformator I Merk ABB

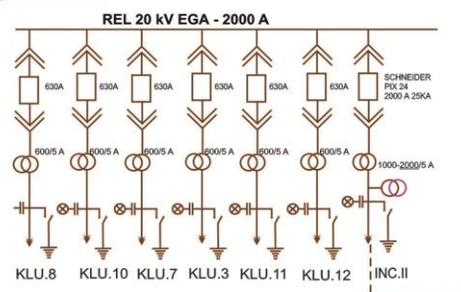
4.5 Konstruksi Penyulang

Sistem jaringan distribusi yang diterapkan pada penyulang Gardu Induk Kaliwungu berupa sistem jaringan 20 kV 3 fase 4 kawat dengan struktur radial interkoneksi dengan penyulang-penyulang yang lain. Sistem distribusi 3 fase 4 kawat terdiri dari tiga hantaran fasa dan satu hantaran netral. Netral sistem dibentuk oleh trafo 3 fase yang terdapat pada gardu induk.

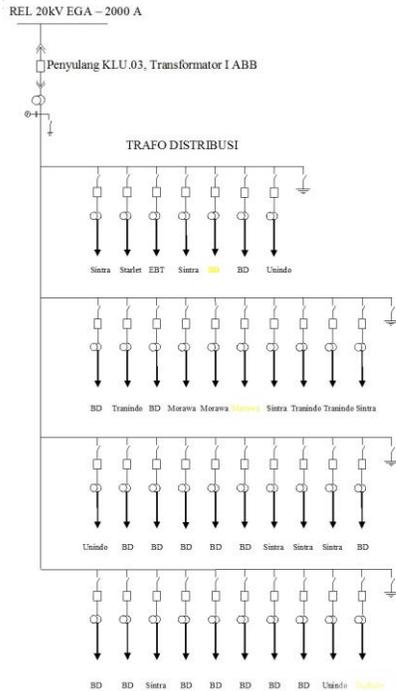


Gambar 3.4. Rangkaian Seluruh GI Kaliwungu

Tap	Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)	Arus Sisi Primer Transformator (A)	MVA
1	165,8	209,0 / 139,3	60 / 40
2	163,5	211,9 / 141,2	60 / 40
3	161,3	214,8 / 143,2	60 / 40
4	159,0	217,9 / 145,2	60 / 40
5	156,8	221,0 / 147,3	60 / 40
6	154,5	224,2 / 149,5	60 / 40
7	152,3	227,5 / 151,7	60 / 40
8	150,0	230,9 / 154,0	60 / 40
9A	147,8	234,5 / 156,3	60 / 40
9	147,8	234,5 / 156,3	60 / 40
10	145,5	238,1 / 158,7	60 / 40
10A	145,5	238,1 / 158,7	60 / 40
11	143,3	241,8 / 161,2	60 / 40
11A	143,3	241,8 / 161,2	60 / 40
12	141,0	245,7 / 163,8	60 / 40



Gambar 3.5. Penyulang Transformator I ABB



Gambar 3.6. Rangkaian Penyulang ke Trafo Distribusi

Penjelasan dari gambar di atas proses pengiriman listrik dari GI Kaliwungu 150/20 kV Transformator I ABB 60 MVA ke Penyulang atau feeder KLU 03 lalu ke jaringan JTM ke Trafo Distribusi, pengukuran pada tiga titik trafo distribusi.

NO	Fasa	Daya	Kms	Kaliwungu 3									
				1(r-n)	1(s-n)	1(t-n)	No Trafo	V(r-n)	V(s-n)	V(t-n)	Tap	Merk	
1	3	200	section 1	0,8	16,32	16,24	16,278	1003000	12078	12078	12078	1	Sintra
2	3	100	section 1	0,85	8,22	8,11	8,17	1003001	12076	12076	12076	1	Starlet
3	3	100	section 1	1,1	8,12	8,06	8,11	1003002	12070	12071	12070	1	EBT
4	3	50	section 2	1,102	4,09	3,99	4,03	1003003	12069	12069	12069	1	Sintra
5	1	50	section 2	1,2		2,93		1003004		12067		2	BD
6	1	25	section 2	1,207		2,77		1003005		12066		2	BD
7	3	100	section 1	1,21	8,22	8,11	8,17	1003006	12056	12056	12056	1	Unindo
8	3	100	section 2	1,25	4,68	4,59	4,71	1003007	12055	12053	12056	1	BD
9	3	200	section 2	1,3	16,46	16,51	16,42	1003008	12067	12064	12067	1	Trainindo
10	3	100	section 2	1,4	8,14	8,07	8,17	1003009	12049	12044	12049	1	BD
11	1	25	section 2	1,48			1,13	1003010		12046		2	Morawa
12	1	25	section 2	1,59		1,98		1003011		12038		2	Morawa
13	1	25	section 2	1,65	1,95			1003012	12041			2	Morawa
14	1	25	section 2	1,74		1,92		1003013		12033		2	Sintra
15	1	50	section 2	1,82	4,08			1003014	12035			2	Trainindo
16	1	50	section 2	1,89			3,09	1003015			12032	2	Trainindo
17	3	100	section 2	2,07	8,15	8,18	8,13	1003016	12023	12018	12025	1	Sintra
18	3	100	section 2	2,15	8,23	8,19	8,13	1003017	12015	12010	12017	1	Unindo
19	3	100	section 3	2,2	8,16	8,22	8,1	1003018	12005	12002	12010	1	BD
20	1	25	section 3	2,28			1,87	1003019			12006	2	BD
21	1	25	section 3	1,94	1,66			1003020	12016			2	BD
22	1	25	section 3	1,98			1,96	1003021			12016	2	BD
23	3	100	section 3	2,06	8,18	8,23	8,14	1003022	12006	12002	12009	1	BD
24	3	100	section 3	2,16	8,21	8,19	8,21	1003023	11997	11992	12000	1	Sintra
25	3	50	section 3	2,28	3,97	3,89	3,93	1003024	11989	11984	11992	1	Sintra
26	3	100	section 4	1,3	8,11	8,18	8,21	1003025	12026	12023	12027	1	Sintra
27	1	50	section 4	1,35	3,89			1003026	12022			2	BD
28	1	50	section 4	1,49	4,07			1003027	12015			2	BD
29	1	50	section 5	1,55			3,87	1003028			12015	2	BD
30	3	100	section 5	2,05	8,09	8,14	8,17	1003029	11983	11983	11988	1	Sintra
31	3	100	section 6	1,75	8,13	8,21	8,19	1003030	11993	11993	11997	2	BD
32	3	100	section 6	1,9	8,11	8,09	8,19	1003031	11980	11981	11985	1	BD
33	3	100	section 7	1,9	8,1	8,02	8,16	1003032	11975	11976	11980	1	BD
34	3	100	section 8	2	7,78	7,69	7,72	1003033	11964	11965	11969	2	BD
35	3	100	section 9	2,1	13,17	13,12	13,16	1003034	11950	11951	11955	2	BD
36	3	100	section 9	2,3	8,15	8,07	8,13	1003035	11931	11932	11937	1	Unindo
37	3	100	section 9	2,4	13,16	13,09	13,14	1003036	11914	11916	11920	2	Trainindo

Gambar 3.7. Data Pengukuran Beban Pada Trafo Distribusi KLU 03 (Pada Tiga Titik Berwarna Kuning Yang Akan Di Ukur)

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Pengumpulan Data

Transformator Daya Gardu Induk Kaliwungu memiliki kemampuan daya 60 MVA dan memiliki 6 penyulang yang meliputi penyulang KLU 08, KLU 10, KLU 07, KLU 03, KLU 11 dan KLU 12,

pengoperasiannya hanya 4 penyulang karena penyulang KLU 11 dan KLU 12 belum dioperasikan.

4.2 Perhitungan Perubahan Tap Terhadap Perubahan Tegangan

4.2.1. Transformator GI Kaliwungu 60 MVA ABB 150/20 kV

Transformator Daya pada Transformator GI Kaliwungu telah mengalami perubahan tegangan dari tegangan nominal pada sisi sekunder transformator 20000 volt menjadi 21000 volt dikarenakan untuk mengurangi nilai jatuh tegangan pada pembebanan untuk beberapa tahun kedepan. Perubahan nilai tegangan nominal akan mempengaruhi perubahan tap pada transformator untuk mendapatkan nilai tegangan 21000 volt.

Perhitungan tegangan pada tiap tap pada OLTC (On Load Tap Changer) pada tanggal 29 Januari 2018 pukul 10.00 WIB dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Keterangan :

E_1 = tegangan belitan primer (volt)

E_2 = tegangan belitan sekunder (volt)

V_1 = tegangan primer (volt)

V_2 = tegangan sekunder (volt)

Nilai tegangan V_1 (tegangan primer) adalah 151000 volt dan tegangan V_2 (tegangan sekunder) 20900 volt, berdasarkan data tersebut akan dicari posisi tap yang sesuai agar mendapatkan nilai yang mendekati V_2 sebesar 20900 dengan tegangan V_1 sebesar 151000 volt.

Perhitungan akan dimulai pada posisi Tap 1 :

Menghitung nilai V_2 pada tap 1 dimana pada name plate nilai tegangan N_1 pada posisi tap 1 adalah 165800 volt :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{165800}{151000} = \frac{20000}{V_2}$$

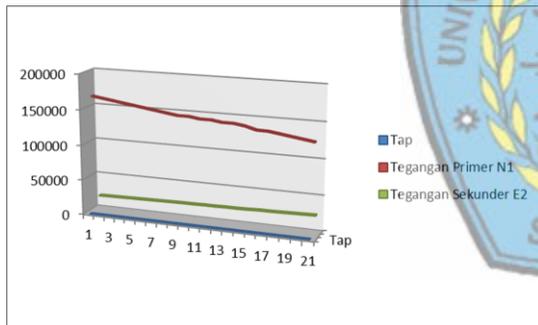
$$V_2 = (151000 \times 20000) / 165800$$

$$= 18214,71 \text{ volt}$$

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa pada saat V_1 (tegangan primer) 151000 volt pada posisi tap 1 dengan E_1 165800 volt maka V_2 (tegangan sekunder) 18214,71 volt. Perhitungan perubahan tegangan pada posisi Tap 1 sampai 18 dapat dilihat di bawah ini.

Tap	Tegangan Primer E ₁	Tegangan Sekunder V ₂
1	165800	18214,71
2	163500	18470,94
3	161300	18722,87
4	159000	18993,71
5	156800	19260,20
6	154500	19546,92
7	152300	19829,28
8	150000	20133,33
9A	147800	20433,01
9	147800	20433,01
10	145500	20756,01
10A	145500	20756,01
11	143300	21074,66
11A	143300	21074,66
12	141000	21418,43
13	136800	22076,02
14	136500	22124,54
15	134300	22486,96
16	132000	22878,78
17	129800	23266,56
18	127500	23686,27

Gambar 4.1. Perubahan Tap Terhadap Perubahan Tegangan (V₁) Transformator I ABB (Asea Brown Boveri)



Analisa perubahan tap:

- Saat tegangan V₁ (tegangan sekunder) 151000 volt pada posisi tap tap 1 dengan nilai E₁ 165800 didapatkan nilai tegangan V₂ 18214,71 volt pada posisi tap 1 tegangan belum mendekati nilai tegangan 20900 volt, maka nilai tegangan yang mendekati 20900 volt adalah pada posisi tap 11 dengan tegangan 21074,66 volt.
- Posisi Tap pada Transformator Daya ABB (Asea Brown Boveri) pada saat posisi nominal dengan tegangan 150/20 kV adalah pada Tap 8 karena adanya perubahan tegangan sekunder menjadi 21000 volt maka posisi tap naik ke posisi 11, maka semakin tap naik akan menghasilkan tegangan sekunder yang lebih tinggi dan apabila tap semakin turun maka tegangan semakin turun. Perubahan tap pada transformator daya ABB (Asea Brown Boveri) menyesuaikan perubahan tegangan sekunder yang diinginkan, apabila tegangan

primer turun maka posisi tap akan naik untuk mendapatkan tegangan sekunder yang diinginkan.

4.2.2. Menentukan Perubahan Tap Terhadap Jatuh Tegangan Disisi Trafo Distribusi

Perubahan tap changer pada penelitian ini dipengaruhi jatuh tegangan, nilai jatuh tegangan telah diketahui pada tabel 18. Transformator Daya pada Distributor GI Kaliwungu telah mengalami perubahan tegangan dari tegangan nominal pada sisi sekunder transformator 20000 volt menjadi 21000 volt, perubahan tersebut akan mempengaruhi perubahan tegangan disisi Jaringan Tegangan Menengah yang mempengaruhi perubahan tap pada transformator distribusi. Perubahan nilai tegangan nominal pada Transformator Daya GI Kaliwungu akan mempengaruhi perubahan tap pada transformator Distribusi untuk mendapatkan nilai tegangan yang sesuai dengan nilai tegangan nominal pada transformator distribusi, beberapa faktor yang menyebabkan perubahan tap adalah adanya perubahan tegangan disisi kirim dikarenakan perubahan tegangan nominal sistem dan perubahan tegangan akibat jatuh tegangan dikarenakan panjangnya penyulang dan besarnya beban. Sebelum menghitung perubahan posisi tap penulis akan menghitung besarnya jatuh tegangan menggunakan teori berdasarkan konstruksi yang terdapat pada kondisi di lapangan, konstruksi yang dipakai pada jaringan tegangan menengah yaitu konstruksi jenis CC-1 dengan penggunaan kabel AAAC 240 mm. Penelitian ini akan mengasumsikan bahwa konstruksi yang dipakai adalah CC-1 dikarenakan konstruksi terbanyak yang dipakai sepanjang penyulang KLU 03.

Data yang akan dihitung adalah sebagai berikut :

$$V_R(R-N) : 12066 \text{ volt}$$

$$\cos \phi : 0,95$$

$$I : 39,33 \text{ A}$$

$$l : 1,20 \text{ kms}$$

$$R : 0,2824 \text{ ohm}$$

$$XL : 0,1628 \text{ ohm/km}$$

Mencari nilai impedansi pada saluran :

$$Z = R + jXL$$

$$= 0,2824 + j 0,1628$$

$$= 0,3259 < 29,96 \text{ ohm}$$

Impedansi Total sepanjang 1,20 kms :

$$Z_{tot} = Z \times l$$

$$= 0,3259 < 29,96 \times 1,20$$

$$= 0,4234 < 29,96 \text{ ohm/kms}$$

$$V_s(L-N) = V_R + (Z \times I)$$

$$= 12066 + (0,4424 < 29,96 \times 39,33 < -$$

$$18,19)$$

$$= 12066 + (17,3995 < 11,77)$$

$$= 12083,034 < 0,016$$

Menghitung nilai rugi tegangan :

$$\begin{aligned} V_d (L-N) &= V_s (L-N) - V_R (L-N) \\ &= 12083,034 - 12066 \\ &= 17,034 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d \text{ dalam } \% &= (V_s - V_R) / V_R \times 100 \% \\ &= (12083,034 - 12066) / 12066 \times 100 \% \\ &= 0,141\% \end{aligned}$$

Nilai tegangan V_1 (tegangan primer) adalah 12066 volt, untuk mendapatkan tegangan V_2 (tegangan sekunder) yang mendekati nilai tegangan nominal 231 volt yang sesuai dengan data tabel 19. maka dapat kita hitung menggunakan persamaan diatas.

Perhitungan akan dimulai pada posisi Tap 1 :

Menghitung nilai V_2 pada tap 1 :

$$V_1 = 12066 \text{ volt}$$

$$E_1 = 11547 \text{ volt}$$

$$E_2 = 231 \text{ volt}$$

Maka kita akan mencari nilai V_2 dengan memasukkan persamaan diatas :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{11547}{231} = \frac{12066}{V_2}$$

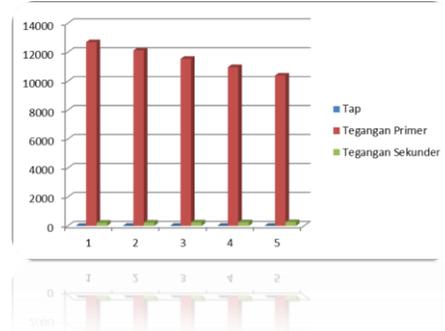
$$\begin{aligned} V_2 &= (12066 \times 231) / 11547 \\ &= 219,433 \text{ volt} \end{aligned}$$

Analisa perpindahan tap trafo dan jatuh tegangan :

1. Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa pada saat tegangan disisi primer (V_1) 12066 volt pada posisi tap 1 dengan nilai (E_1) 11547 volt maka nilai (V_2) (tegangan sekunder) 219,43 volt, pada posisi tap 1 tegangan belum mendekati nilai nominal (E_2) Transformator yaitu sebesar 231 volt. Posisi tap yang mendekati tegangan nominal 231 volt adalah pada posisi tap 2 dengan tegangan (V_2) adalah 229.89 volt.

Tap	Tegangan Primer	Tegangan Sekunder
1	12702	219,434
2	12124	229,895
3	11547	241,383
4	10970	254,079
5	10392	268,211

Gambar 4.2. Nilai Tegangan Sekunder V_2 Pada Tiap Tap Transformator BD

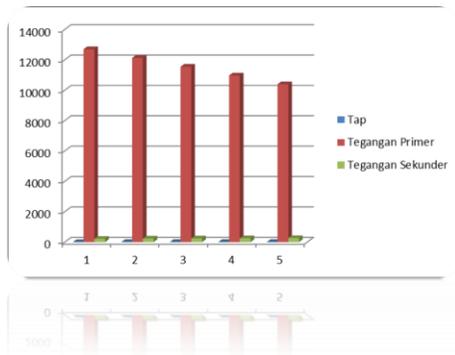


2. Posisi Tap pada Transformator Distribusi BD pada saat posisi nominal dengan tegangan 11547/231 volt adalah pada Tap 3 karena adanya perubahan tegangan sekunder menjadi 12066 volt maka posisi tap naik ke posisi 2, maka semakin tap naik akan menghasilkan tegangan sekunder yang lebih tinggi dan apabila tap semakin turun maka tegangan sekunder semakin turun. Perubahan tap pada transformator distribusi BD menyesuaikan perubahan tegangan sekunder yang diinginkan, apabila tegangan sekunder turun maka posisi tap akan naik dan apabila tegangan sekunder naik maka tap harus diturunkan untuk mendapatkan tegangan sekunder yang diinginkan. Apabila posisi tap diatur pada posisi 3, 4 dan 5 maka akan membuat tegangan sekunder melebihi nilai nominal yang telah ditetapkan yaitu sebesar 231 volt, apabila posisi tap diatur pada posisi 1 maka tegangan sekunder kurang dari nilai nominal trafo
3. Jatuh tegangan perhitungan mendapatkan hasil 0,141% dan pada pengukuran 0,123% terdapat selisih 0,018%. Perbedaan jatuh tegangan dikarenakan penelitian mengasumsikan pemakaian konstruksi yang dipakai adalah CC-1 berdasarkan banyaknya tiang yang dipakai.

Perhitungan diatas adalah contoh salah satu dari tiga titik yang di ukur, di bawah ini adalah hasil dari titik ke dua dan ke tiga :

Tap	Tegangan Primer	Tegangan Sekunder
1	12700	219,013
2	12124	229,419
3	11547	240,883
4	10969	253,576
5	10392	267,655

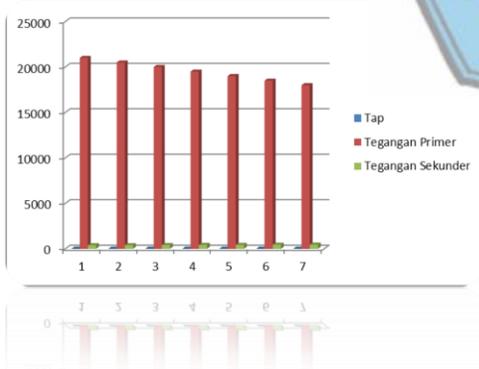
Gambar 4.3. Nilai Tegangan Sekunder V_2 Pada Tiap Tap Transformator MORAWA



Dan

Tap	Tegangan	Tegangan
	Primer	Sekunder
1	21000	392,59
2	20500	402,166
3	20000	412,22
4	19500	422,79
5	19000	433,916
6	18500	445,643
7	18000	458,022

Gambar 4.4. Nilai Tegangan Sekunder V_2 Pada Tiap Tap Transformator Trafindo



4.2.3. Analisa Hasil Perhitungan

1. Pada GI Kaliwungu terdapat perubahan tegangan sekunder dari 20000 volt menjadi 21000 volt dikarenakan untuk mengurangi drop tegangan ditahun yang akan datang dikarenakan adanya penambahan jaringan disepanjang penyulang.
2. Dengan adanya perubahan tegangan sekunder menjadi 21000 volt maka posisi tap pada transformator daya 150/20 kV berubah dari posisi tap 8 menjadi posisi 11. Perubahan posisi tap pada transformator daya GI Kaliwungu terjadi secara otomatis sehingga

perubahannya tiap tap-nya dapat terjadi pada saat transformator sedang berbeban.

3. Pada penelitian yang dibahas diambil dari 3 titik pembebanan yang berbeda berdasarkan jarak yang terdekat, ditengah dan terjauh. Panjang penyulang yang diambil simple penelitian adalah pada jarak 1,2 kms, 1,65 kms, dan 2,40 kms, dengan jenis trafo yang digunakan adalah merk BD (1 phase), MORAWA (1 phase), dan Trafindo (3 phase).
4. Hasil perhitungan pada transformator distribusi merk BD (1 phase) dengan panjang penyulang 1.20 kms dan beban 39.33 ampere, nilai drop tegangan tersebut sebesar 0,141% atau 17,034 volt. Sehingga tegangan tegangan terima (V_r) atau tegangan primer transformator adalah 12066, tegangan sebesar itu melebihi nilai nominal transformator sebesar 11547/231 volt, maka posisi tap harus dirubah dari posisi tap 3 ke posisi tap 2 dengan tegangan sekunder 229.89 volt agar tegangan sekunder mendekati nilai nominal 231 volt.
5. Hasil perhitungan pada transformator distribusi merk MORAWA (1 phase) dengan panjang penyulang 1,65 kms dan beban 76,20 ampere, nilai drop tegangan tersebut sebesar 0,32% atau 39,706 volt. Sehingga tegangan tegangan terima (V_r) atau tegangan primer transformator adalah 12042, tegangan sebesar itu melebihi nilai nominal transformator sebesar 11547/231 volt, maka posisi tap harus dirubah dari posisi tap 3 ke posisi tap 2 dengan tegangan sekunder 229,41 volt agar tegangan sekunder mendekati nilai nominal 231 volt.
6. Hasil perhitungan pada transformator distribusi merk Trafindo (3 phase) dengan panjang penyulang 2,40 kms dan beban 217,7 ampere, nilai drop tegangan tersebut sebesar 1,385% atau 165,05 volt. Sehingga tegangan tegangan terima (V_r) atau tegangan primer transformator adalah 20611 volt, tegangan sebesar itu melebihi nilai nominal transformator sebesar 20000/400 volt, maka posisi tap harus dirubah dari posisi tap 3 ke posisi tap 2 dengan tegangan sekunder 402.16 volt agar tegangan sekunder mendekati nilai nominal 400 volt.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sbb:

1. Perubahan tegangan keluaran dari transformator daya dari 20 kV menjadi 21 kV berakibat pada perubahan posisi pada *tap changer*. pada trafo 150/20 kV dimana posisi nominal tap changer sesuai name plate transformator berada pada posisi 8 berubah ke posisi 11, naiknya tap keposisi 11 akan membuat rasio perbandingan kumparan pada sisi primer dengan

- sekunder akan berkurang karena tegangan sekunder yang diharapkan semakin tinggi.
- Perubahan tap pada transformator distribusi dipengaruhi oleh tegangan sisi terima transformator, hasil perubahan pada transformator nomer 1003004 merk BD adalah dari tap 3 ke posisi tap 2, pada transformator nomer 1003012 merk Morawa adalah dari tap 3 ke posisi tap 2 dan pada transformator nomer 1003036 merk Trafindo dari tap 3 ke posisi tap 1. Perubahan posisi tap dengan pengukuran terdapat perbedaan pada transformator nomer 1003036 merk trafindo dimana dengan perhitungan seharusnya posisi tap berada pada posisi tap 2.
 - Perubahan tegangan pada transformator distribusi dikarenakan adanya panjang perbedaan panjang penyulang dan besarnya pembebanan disepanjang penyulang. Pada panjang 1,20 kms dengan beban 39.33 ampere pada transformator BD nilai drop tegangan sebesar 0,141%, pada panjang 1,65 kms dengan beban 76,20 ampere pada transformator Morawa nilai drop tegangan sebesar 0,32%, dan pada panjang 2,40 kms dengan beban 217,7 ampere pada transformator Trafindo nilai drop tegangan sebesar 1,35%. Nilai jatuh tegangan pada penyulang KLU 03 masih memenuhi batasan jatuh tegangan sesuai standard SPLN (Lampiran Surat Keputusan Direksi PLN) 72 1987 sebesar 5%.

5.2. Saran

- Tegangan sistem dan fluktuasi beban yang selalu berubah-ubah akan menyebabkan perubahan pada posisi tap changernya pada transformator 150/20 kV, oleh karena itu perlu diperhatikan kualitas minyak pada tap changer agar kinerja tap changer tetap terjaga.
- Diharapkan bagi peneliti selanjutnya dapat dilakukan penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut untuk analisa rugi tegangan dan perubahan posisi tap.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri, dkk., (2008), *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Arismunandar dan Kuwahara, (1982), *Teknik Tenaga Listrik*, 1982, Jakarta, PT Pradnya Paramita.
- Blog Sukadie's, 2010, "Penggunaan On Load Tap Changer (OLTC) Pada Transformator".
- Budiono. Mismail, (1983), *Analisa Sistem Tenaga*, Malang, Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya Malang.
- Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik SKDIR 114.K/DIR/2010 Proteksi ndan Kontrol Busbar No. Dokumen : 17-22/HARLUR-PST/2009.
- Cekdin, Cekmas, dan Barlian, Taufik, (2013), *Rangkaian Listrik*, ANDI, Jakarta.
- Gonen, Turan, "Electric Power Distribution System Engineering".
- Hutauruk, (1996), *Transmisi Daya Listrik*, Jakarta, Erlangga.
- Marsuidi, Ditjeng, (2006). *Operasi Sistem Distribusi*. Graha Ilmu, Jakarta.

- McGraw-Hill Book CaSingapore, 1986Sulasno, William D, JR, "Analisa System Tenaga Listrik", (Diterjemahkan oleh:Idris, Kamal.Ir, Erlangga, Jakarta, 1994).
- O & M 09 /BTL/KJB/1986."Buku Petunjuk Operasi & Pemeliharaan Peralatan".
- PT.PLN (Persero), (2010), *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga*.
- Ramadhan, F, dan T.H. Samudra, (2016), *Transformator*, <http://sk.raharja.ac.id/2016/11/transformator/>, diakses Mei 2017.
- SPLN 64 : 1985, *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*, Jakarta, PT.PLN (Persero).
- SPLN 72 : 1987, *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*, Jakarta, PT.PLN (Persero).
- Stevenson, William D, Jr. (1990), *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta, Erlangga.
- Sumanto., "Teori Transformator", Andi Ofset, Yogyakarta, 1996.
- Tim Investigasi PT PLN RJTD.2008.Be Alert OLTC Weak Point.Ungaran:Perusahaan Listrik Negara.
- Tri Wirahatnoto, Suhadi., (2008), *Teknik Tenaga Listrik Jilid 1*, Direktorat Pembinaan SMK, Jakarta.
- Zuhul, (1995), *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta.