

STUDI PERENCANAAN PENINGKATAN KINERJA TRAF0 DISTRIBUSI DENGAN RELOKASI ANTARA 2 BUAH TRAF0

Rachmat Sutjipto¹, Anang Dasa N², Rohmanita Duanaputri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

¹rachmat.sutjipto@polinema.ac.id

Abstrak

Agustus 2015 pada PT. PLN (Persero) Rayon Pare diketahui bahwa pada gardu EF283 di Penyulang Bendo beban puncaknya telah mencapai 103,59 % sedangkan pada gardu EF070 di Penyulang Sambirejo pada beban puncaknya hanya mencapai 32,62 %. Kondisi pembebanan yang terlalu tinggi pada trafo akan berakibat trafo tersebut overload dan berimbas mengurangi umur ekonomis dari trafo dan dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo akibat panas yang berlebihan. Sebaliknya, jika trafo dibebani jauh dibawah kapasitasnya maka efisiensi trafo akan rendah. Untuk meningkatkan kinerja dari kedua trafo tersebut di atas maka digunakan cara relokasi diantara kedua trafo tersebut dan diharapkan trafo pada gardu EF283 tidak terjadi overload sedangkan prosentase pembebanan gardu EF070 diharapkan meningkat sehingga efisiensi trafo meningkat.

Kata-kata kunci: % pembebanan, efisiensi trafo, relokasi

Abstract

Results of measurements in August 2015 at PT. PLN (Persero) Rayon Pare is known that at EF283 substation at Bendo Feeder the peak load has reached 103.59% while at EF070 substation at Sambirejo Feeder at peak load it only reaches 32.62%. Overloading of the transformer will result in the transformer overloading and impacting to reduce the economic life of the transformer and can cause damage to the transformer due to excessive heat. Conversely, if the transformer is burdened far below its capacity, the transformer efficiency will be low. To improve the performance of the two transformers, relocation between the two transformers is used and it is expected that the transformer on the EF283 substation will not overload while the percentage of EF070 substation loading is expected to increase so that the transformer efficiency increases.

Keywords: % loading, transformer efficiency, relocation

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil pengukuran terakhir pada bulan Agustus 2015 pada PT. PLN (Persero) Rayon Pare dapat diketahui bahwa di Penyulang Bendo pada gardu EF283 beban puncaknya mencapai 103,59 % sewaktu-waktu menimbulkan kondisi overload sedangkan di Penyulang Sambirejo pada gardu EF070 beban

puncaknya hanya mencapai 32,62 %, kondisi tersebut berakibat pada rendahnya efisiensi trafo, maka perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan efisiensi kerja trafo dengan menggunakan metode relokasi di antara kedua trafo, sehingga trafo pada gardu EF283 tidak terjadi overload sedangkan efisiensi trafo pada gardu EF070 diharapkan meningkat.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.2 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransfer energi listrik.

2.2.1. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja suatu transformator adalah jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan timbul fluksi bolak-balik.

2.2.2. Efisiensi dan Rugi – rugi trafo

Effisiensi (η) yang dapat dihitung dengan rumus:

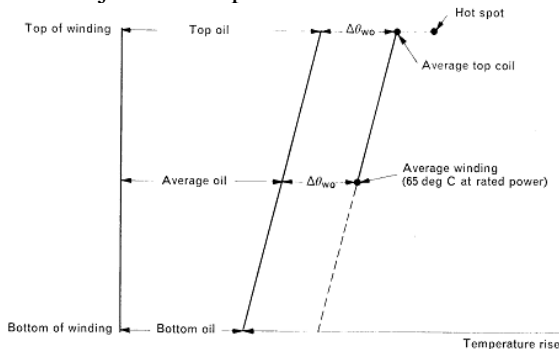
$$\eta = P_{out}/P_{in} = P_{out}/(P_{out}+losses) \quad (1)$$

2.3 Paramater Kinerja Trafo Distribusi

Parameter kinerja trafo distribusi antara lain :

2.3.1 Pembebanan

Sesuai IEC 354, untuk wilayah Indonesia ambient yearly temperaturenya adalah 30⁰, dan temperature rise dari trafo (oil / winding / hot spot) adalah sebesar 50 / 55 / 68 K. Sebagai referensi, gambar 1 menunjukkan temperature sesuai IEC 60354.



GAMBAR 1 KURVA TEMPERATURE BERDASARKAN IEC 60354

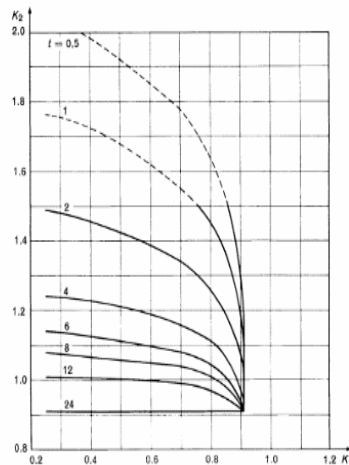
Sesuai dengan SPLN 17 : 1979, trafo dapat dibebani lebih dari 80 % tapi harus dengan syarat harus sesuai dengan nilai K_2 yang telah diizinkan dan nilai K_2 tidak lebih dari 1,5, sehingga untuk menghitung pembebanan dari trafo adalah sebagai berikut :

1. Merata-rata beban dalam 24 jam
2. Mengelompokkan rata-rata pembebanan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) S_1 dan Waktu Beban Puncak (WBP) S_2
3. Setelah mengetahui rata-rata pembebanan LWBP dan WBP maka dapat diketahui lamanya waktu (t) pembebanan tersebut.
4. Menentukan nilai K_1 dan K_2 , dengan rumus :

$$K_1 = S_1/S_r$$

$$K_2 = S_2/S_r \quad (2)$$

Setelah dilakukan perhitungan, kemudian melihat pada gambar 2, apakah sudah sesuai nilai K_2 yang diizinkan.



GAMBAR 2 GRAFIK PEMBEBANAN TRAFU PENDINGIN ONAN / ONAF DENGAN SUHU LINGKUNGAN 30 °C

2.4 Faktor Kebutuhan

Faktor kebutuhan (Demand Factor) adalah perbandingan antara kebutuhan beban maksimum (Maximum Demand) dari sebuah sistem dengan total beban yang terpasang pada sistem tersebut (Total Connected Load).

$$\text{Faktor Kebutuhan} = \frac{\text{Kebutuhan beban maksimum}}{\text{Total beban terpasang}} \quad (3)$$

2.5 Peramalan Beban

Peramalan merupakan suatu teknik untuk memprediksikan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu atau saat ini baik secara matematik atau statistik. Salah satu metodenya adalah Metode Least Square. Metode least square adalah metode peramalan yang menggunakan persamaan linear untuk menemukan garis paling sesuai untuk kumpulan data lampau guna meramalkan data di masa depan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Trafo Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Pare

Berdasarkan standar IEC 60354 menyatakan bahwa pembebanan maksimal yang diizinkan pada trafo dengan ambient temperature $\theta_a = 30^\circ\text{C}$ adalah 91 %, sedangkan berdasarkan SPLN 50 : 1997 suhu titik panas maksimal pada isolasi trafo adalah 98°C seperti terlihat pada tabel 1.

TABEL 1 KRITERIA TRAFO DISTRIBUSI

No	Paramater	Normal	Waspada	Darurat
1	Pembebanan	$\leq 80\%$	$80\% \leq x < 91\%$	$\geq 91\%$
2	Suhu (<i>hotspot</i>)	$\leq 90^\circ\text{C}$	$90^\circ\text{C} \leq x < 98^\circ\text{C}$	$\geq 98^\circ\text{C}$

Untuk kondisi awal dari trafo distribusi dari Gardu no EF 283 dan EF070 di PT. PLN (Persero) Rayon Pare beserta usulan manajemen tentang perbaikan kinerja dari kedua trafo tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL 2 KONDISI AWAL TRAFO DISTRIBUSI

No Gardu	Kapasitas (kVA)	Beban Trafo		Suhu ($^\circ\text{C}$)	Ket	Saran tindakan
		KVA	%			
EF283	100	103.59	103.59	84.8	Darurat	Relokasi dgn EF070
EF070	160	52.19	32.62	47.3	Normal	Relokasi dgn EF283

3.2 PERSYARATAN RELOKASI TRAFO DISTRIBUSI

Persyaratan yang akan digunakan sebagai bahan pertimbangan dibuatnya keputusan manajemen untuk pelaksanaan suatu relokasi 2 trafo. Persyaratan tersebut antara lain adalah:

1. Kondisi pembebanan trafo

2. Efisiensi trafo
3. Regulasi tegangan
4. Faktor Kebutuhan
5. Pertumbuhan beban trafo

3.2.1 Kondisi Pembebanan Trafo

Pengukuran Waktu Beban Puncak (WBP) terakhir pada bulan Mei 2016, diketahui bahwa pembebanan pada trafo pada Gardu EF283 adalah 108,95 % dengan suhu trafo mencapai 73.5°C sedangkan pada trafo pada Gardu EF070 pembebanannya adalah hanya sebesar 33,39 % dengan suhu trafo 70.4°C.

a. Kondisi Pembebanan Trafo Pada Gardu EF283

Trafo pada Gardu EF283 ini mempunyai kapasitas trafo sebesar 100 kVA, maka besarnya arus nominal / arus full load nya adalah sebagai berikut :

$$I_n = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times Volts} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 144,34 \text{ A}$$

1. Perhitungan % Pembebanan Saat LWBP

TABEL 3 HASIL PENGUKURAN TANGGAL 13 MEI 2016 PUKUL 12.06 WIB

Fasa	I (A)	V (Volt)	S (VA)
R	75	224	16.800
S	86	228	19.608
T	82	223	18.286
Total			54.694

Dari tabel 3 dapat ditentukan besarnya nilai persentase pembebanan trafo sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan Trafo} &= \frac{\text{Total Daya Terpakai (VA)}}{\text{Kapasitas Daya Trafo (VA)}} \times 100\% \\ &= \frac{54.694 \text{ VA}}{100.000 \text{ VA}} \times 100\% = 54,69 \% \end{aligned}$$

2. Perhitungan % Pembebanan Saat WBP

TABEL 4 HASIL PENGUKURAN TANGGAL 13 MEI 2016 PUKUL 18.10 WIB

Fasa	I (A)	V (Volt)	S (VA)
R	157	222	34.854
S	158	224	35.392
T	172	225	38.700

Total	108.946
-------	---------

Dari data di atas dapat ditentukan besarnya nilai persentase pembebanan trafo sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{Pembelian Trafo} &= \frac{\text{Total Daya Terpakai (VA)}}{\text{Kapasitas Daya Trafo (VA)}} \times 100\% \\ &= \frac{108.946 \text{ VA}}{100.000 \text{ VA}} \times 100\% = 108,95 \% \end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Pembebanan yang Diizinkan Terhadap Rata-rata Pembebanan LWBP

$$K_1 = \frac{57.640 \text{ VA}}{100.000 \text{ VA}} = 0,58$$

4. Perhitungan Nilai Pembebanan yang Diizinkan Terhadap Rata-rata Pembebanan WBP

$$K_2 = \frac{106.791 \text{ VA}}{100.000 \text{ VA}} = 1,07$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai $K_1 = 0,58$ dan nilai K_2 sama dengan 1,07. Jika data-data tersebut dimasukkan dalam grafik pembebanan trafo, maka diketahui bahwa dengan nilai $K_1 = 0,58$ maka nilai K_2 maksimal yang diijinkan adalah sebesar 1,19 (119 % dari daya nominal trafo) dengan waktu operasi selama 4 jam. Jadi jika rata-rata pembebanan WBP (K_2) sebesar 1,07 masih memenuhi standar dan trafo dapat bekerja secara normal.

b. Kondisi Pembebanan Trafo Pada Gardu EF070

Trafo pada Gardu EF070 ini mempunyai kapasitas trafo sebesar 160 kVA, maka besarnya arus nominal / arus *full load* nya adalah sebagai berikut :

$$I_n = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{Volts}} = \frac{160 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 230,94 \text{ A}$$

1. Perhitungan % Pembebanan Saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)

TABEL 5 HASIL PENGUKURAN TANGGAL 14 MEI 2016 PUKUL 12.05 WIB

Fasa	I (A)	V (Volt)	S (VA)
R	49	227	11.123
S	41	231	9.471
T	38	230	8.740
Total			29.334

$$\% \text{Pembelian Trafo} = \frac{\text{Total Daya Terpakai (VA)}}{\text{Kapasitas Daya Trafo (VA)}} \times 100\%$$

$$= \frac{29.334 \text{ VA}}{160.000 \text{ VA}} \times 100\% = 18,33 \%$$

2. Perhitungan % Pembebanan Saat Waktu Beban Puncak (WBP)

TABEL 6 HASIL PENGUKURAN TANGGAL 14 MEI 2016 PUKUL 18.07
WIB

Fasa	I (A)	V (Volt)	S (VA)
R	97	221	21.437
S	78	224	17.472
T	66	220	14.520
Total			53.429

Dari data di atas dapat ditentukan besarnya nilai persentase pembebanan trafo sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan Trafo} &= \frac{\text{Total Daya Terpakai (VA)}}{\text{Kapasitas Daya Trafo (VA)}} \times 100\% \\ &= \frac{53.429 \text{ VA}}{160.000 \text{ VA}} \times 100\% = 33,39 \% \end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Pembebanan yang Diizinkan Terhadap Rata-rata Pembebanan LWBP

$$K_1 = \frac{31.440 \text{ VA}}{160.000 \text{ VA}} = 0,20$$

4. Perhitungan Nilai Pembebanan yang Diizinkan Terhadap Rata-rata Pembebanan WBP

$$K_2 = \frac{52.165 \text{ VA}}{160.000 \text{ VA}} = 0,33$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai $K_1 = 0,20$ dan nilai K_2 sama dengan $0,33$. Jika data-data tersebut dimasukkan dalam grafik pembebanan trafo, maka diketahui bahwa dengan nilai $K_1 = 0,20$ maka nilai K_2 maksimal yang diijinkan adalah sebesar $1,25$ (125% dari daya nominal trafo) dengan waktu operasi selama 4 jam. Jadi jika rata-rata pembebanan WBP (K_2) sebesar $0,33$ masih memenuhi standar dan trafo dapat bekerja secara normal.

3.2.2 Efisiensi Trafo

Pada pengukuran yang dilakukan pada 13 Mei 2016 dapat diperoleh data pembebanan WBP sebesar $108,95 \%$ dan $\cos \theta = 0,90$. Trafo EF283 dengan kapasitas 100 kVA memiliki rugi-rugi belitan (beban) = 1600 W dan rugi besi = 300 W sesuai dengan

Tabel 2 SPLN 50 :1997 spesifikasi Transformator Distribusi maka hasil perhitungan effisiensinya sebagai berikut :

- a. Dari perhitungan efisiensi trafo sesuai dengan data nameplate trafo, maka dapat diketahui besarnya efisiensi adalah sebesar 97,24 % (EF283) & 97,42% (EF070)
- b. Dari perhitungan efisiensi trafo menurut standar SPLN 50 : 1997, maka dapat diketahui besarnya efisiensi adalah sebesar 97,80 % (EF283) & 97,28% (EF070)

3.2.3 Peresentase Regulasi Tegangan

Berdasarkan data pengukuran Waktu Beban Puncak (WBP) sebelum direlokasi data tegangannya adalah :

TABEL 7 DATA TEGANGAN SEBELUM RELOKASI

No	No. Gardu	Tegangan Panel			Tegangan Ujung			% V
		R	S	T	R	S	T	Drop
1	EF070	236	234	235	228	226	227	3,4 %
2	EF283	221	226	216	211	215	209	4,2%

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai % regulasi tegangan pada gardu EF283 dan EF070 masih dapat dikatakan baik karena masih sesuai dengan standar SPLN 1 : 1995 (Tegangan-Tegangan Standar).

3.2.4 Faktor Kebutuhan

- a. Penentuan Kebutuhan Beban Maksimum Trafo Pada Gardu EF283

TABEL 8 DATA PELANGGAN PADA GARDU TRAF0 EF28

Daya (VA)	Jumlah Pelanggan	Total Daya (VA)
450	107	48.150
900	207	186.300
1.300	20	26.000
2.200	8	17.600
3.500	4	14.000
4.400	1	4.400
6.600	1	6.600
10.600	1	10.600
13.200	1	13.200
16.500	1	16.500

23.000	1	23.000
Total	352	366.350

Kebutuhan Beban Max = Faktor Kebutuhan x Total Beban Terpasang = 0,4 x 366.350 = 146,54 kVA

- b. Penentuan Kebutuhan Beban Maksimum Trafo Pada Gardu EF070

TABEL 9 DATA PELANGGAN PADA GARDU TRAF0 EF070

Daya (VA)	Jumlah	Total (VA)
450	153	68.850
900	112	100.800
1.300	6	7.800
Total	271	177.450

Kebutuhan beban (maks) = Faktor Kebutuhan x Total Beban Terpasang = 0,4 x 177.450 = 70,98 kVA

3.2.5 Pertumbuhan Beban Trafo

Pertumbuhan beban digunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadi kenaikan jumlah beban di masa yang akan datang.

TABEL 10 BEBAN PUNCAK TRAF0 DI GARDU EF283

TAHUN	2013	2014	2015
BEBAN PUNCAK (KVA)	96,61	100,81	103,585

TABEL 11 PENENTUAN PARAMETER METODE LEAST SQUARE

No	Tahun	Beban Puncak (KVA)	X	XY	X ²
1	2013	96,61	-1	-96,61	1
2	2014	100,81	0	0,0	0
3	2015	103,585	1	103,585	1
	n=3	ΣY = 301,005	0	ΣXY = 6,975	ΣX ² = 2

- a. Menghitung nilai a dan b

$$a = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{301,005}{3} = 100,335$$

$$b = \frac{\Sigma XY}{\Sigma X^2} = \frac{6,975}{2} = 3,4875$$

- b. Membuat persamaan least square

$$Y_n = a + bx = 100,335 + 3,4875x$$

- c. Hasil nilai Y_n pada tahun 2016

$$Y_n = a + bx = 100,355 + (3,4875 \times 2) = 107,31 \text{ kVA}$$

TABEL 11 PERHITUNGAN PERKIRAAN BEBAN

Tahun	X	Perkiraan Beban (KVA)	Pertumbuhan Beban (%)	% Pembebanan Sebelum Relokasi	% Pembebanan Setelah Relokasi
2016	2	107,31	3,60%	107%	67,07%
2017	3	110,7975	3,25%	111%	69,25%
2018	4	114,285	3,15%	114%	71,43%
2019	5	117,7725	3,05%	118%	73,61%
2020	6	121,26	2,96%	121%	75,79%
2021	7	124,7475	2,88%	125%	77,97%

1. Perhitungan Pertumbuhan Beban pd Trafo di Gardu EF070

TABEL 12 BEBAN PUNCAK TRAF0 DI GARDU EF070

TAHUN	2013	2014	2015
BEBAN PUNCAK (KVA)	47,682	50,126	52,188

TABEL 13 PERHITUNGAN PERKIRAAN BEBAN

Tahun	X	Perkiraan Beban (KVA)	Pertumbuhan Beban (%)	% Pembebanan Sebelum Relokasi	% Pembebanan Setelah Relokasi
2016	2	54,50467	4,44%	34%	54,50%
2017	3	56,75767	4,13%	35%	56,76%
2018	4	59,01067	3,97%	37%	59,01%
2019	5	61,26367	3,82%	38%	61,26%
2020	6	63,51667	3,68%	40%	63,52%
2021	7	65,76967	3,55%	41%	65,77%

Pada tahun 2021 nilai pembebanan trafo EF283 adalah sebesar 124,75 kVA Sedangkan pada trafo EF070, nilai pembebanannya pada tahun 2021 adalah sebesar 65,77 kVA

TABEL 14 TABEL SYARAT RELOKASI TRAF0

No	Trafo	Syarat Relokasi				
		Kondisi Pembebanan Trafo	Efisiensi Trafo	Regulasi Tegangan	Faktor Kebutuhan	Pertumbuhan Beban Trafo
1	EF283	✓	✓	✓	✓	✓
2	EF070	✓	✓	✓	✓	✓

4. ANALISA

4.1 Analisa Pembebanan

Dari perhitungan pada tabel maka dapat diketahui didapatkan nilai K_2 dari kedua buah trafo masih dalam kondisi yang tidak melebihi standar maksimum yang ada. Jadi rata-rata pembebanan WBP (K_2) sebesar 0,67 (EF283) dan 0,52 (EF070) masih memenuhi persyaratan dan dapat dipastikan bahwa trafo masih dapat bekerja secara normal.

TABEL 15 ANALISA PEMBEBANAN TRAF0

Trafo	Persentase Pembebanan saat LWBP (%)		Persentase Pembebanan saat WBP (%)		K2 Berdasarkan SPLN 17A:1979	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah		
EF283	54,69	34,18	108,9	68,09		
EF070	18,33	29,33	33,39	53,43		
Trafo	K1		K2			
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah		
EF283	0,58	0,36	1,07	0,67	1,19	
EF070	0,196	0,31	0,33	0,52	1,25	

4.2 Analisa Efisiensi Trafo

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi sesuai name plate trafo maka sesuai dengan tabel diatas diketahui bahwa terjadi kenaikan efisiensi trafo untuk semua perhitungan yang ada, sehingga menyebabkan kinerja trafo lebih optimal.

TABEL 16 TABEL ANALISA EFISIENSI

Trafo	Kapasitas Trafo		Efisiensi			
			Sesuai Name Plate Trafo		Sesuai SPLN 50 : 1997	
	1	2	1	2	1	2
	(kVA)	(kVA)	(%)	(%)	(%)	(%)
EF283	100	160	97,24	98,44	97,8	98,66
EF070	160	100	97,42	98,5	98,28	98,5

Ket : 1 : Sebelum ; 2 : Sesudah

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi sesuai name plate trafo maka sesuai dengan tabel diatas diketahui bahwa terjadi kenaikan efisiensi trafo untuk semua perhitungan yang ada, sehingga menyebabkan kinerja trafo lebih optimal.

5. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian adalah:

1. Setelah dilaksanakan perhitungan dan analisa, dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan efisiensi trafo setelah dilaksanakan relokasi baik untuk perhitungan berdasarkan name plate trafo maupun berdasarkan SPLN 50 : 1997 yaitu sebelum dilakukan relokasi, nilai efisiensi pada trafo EF283 dan EF070 adalah 97,54 % dan 97,42 % sedangkan setelah dilakukan relokasi maka nilai efisiensi berubah menjadi 98,44 % dan 98,50 %.
2. Setelah dilaksanakan relokasi maka % pembebanan trafo akan berubah dari 108,95 % (EF283) dan 33,39 % (EF070) menjadi 68,09 % (EF283) dan 53,43 % (EF070) sehingga berimbas pada umur trafo akan relatif lebih panjang untuk trafo pada gardu EF283 sedangkan pada trafo di gardu EF070 akan relatif lebih pendek tapi terjadi peningkatan % pembebanan

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhadi, dkk.2008. "*Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*". Jakarta. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [2] *SPLN 17 A:1979. "Loading Guide for Oil-Immersed Transformer"*. Jakarta. PT. PLN (Persero)
- [3] Bakshi. 2009. "*Transformers and Induction Machines*". Pune. Technical Publication Pune.
- [4] Hariman, Singgih, dkk. 2010. "Manajemen Trafo Distribusi PT PLN (Persero)
- [5] Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta , Graha Ilmu
- [6] Yadollahi, Hamid Lesani. 2018. Power transformer optimal design (PTOD) using an innovative heuristic method combined with FEM technique
- [7] Daniswara, Geraldly. 2019. Studi Analisis Mereduksi Arus Inrush Akibat Energizing Pada Transformator Daya Di Gardu Induk Banyudono 150 kV Menggunakan Metode Sequential Phase Energization (SPE)