

# Analisis Kelayakan Modifikasi Terminal *Bushing* Primer untuk Pemeliharaan Aksesoris Transformator Tegangan Menengah Tanpa Padam

<sup>1</sup>Widagdo Dwi Nugrahadi Prasetya, <sup>2</sup>Andhip Mahdi Manggala, <sup>3</sup>Abdul Syakur

<sup>1,2</sup> PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Semarang

<sup>3</sup>Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP Semarang

E-mail : <sup>1</sup>widagdo.prasetya@gmail.com, <sup>2</sup>andhip.mahdi@gmail.com, <sup>3</sup>syakur@elektro.undip.ac.id

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan menilai kelayakan dari modifikasi terminal bushing transformator tegangan menengah yang berfungsi sebagai sarana pemeliharaan aksesoris transformator yang dapat dilakukan tanpa memadamkan transformator tersebut. Aksesoris transformator tersebut antara lain: *fuse cut out*, *lightning arrester*, dan *conductor jumper*. Pemeliharaan ketiga aksesoris tersebut seringkali terkendala akibat harus dilakukan dengan memadamkan transformator. Dengan dilakukannya pemadaman maka akan timbul kerugian-kerugian akibat penjualan listrik ke konsumen terganggu dikarenakan transformator dalam kondisi padam. Hal ini dikarenakan regu PDKB-TM tidak mampu memasang *by-pass jumper* yang berfungsi mengalihkan jalur tegangan ke sisi yang lain ketika aksesoris transformator dilakukan pemeliharaan. Solusi dari masalah ini adalah dilakukan modifikasi terminal bushing primer transformator dengan cara menambah panjang desain terminal bushing primer transformator untuk dapat dipasangkan peralatan *by-pass jumper* antara sisi transformator dengan sisi SUTM. Dalam hal ini tetap dengan memperhatikan dari segi aspek elektrik, mekanikal dan komposisi material dari modifikasi tersebut terhadap kondisi awal terminal bushing primer tersebut. Terkait dengan aspek-aspek tersebut, modifikasi ini juga telah diuji terkait kelayakannya berupa pengujian tarikan dan pengujian komposisi material modifikasi di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro serta pengujian tahanan kontak di PT PLN (Persero) Pusharlis. Dan setelah dilakukan uji coba, didapatkan hasil yang cukup efektif dimana aksesoris-aksesoris tersebut dapat dilakukan pemeliharaan tanpa padam sehingga dapat menghindari kerugian akibat pemadaman transformator.

**Kata kunci :** Transformator, Pemeliharaan, Modifikasi

## Abstract

*This study aims to assess the feasibility of modifying medium voltage transformer bushing terminals which functions as a means of maintaining transformer accessories that can be done without turning off the transformer. The transformer accessories include fuse cut out, lightning arrester, and conductor jumpers. Maintenance of these three accessories is often constrained due to having to do it by turning off the transformer. By carrying out the blackout, there will be losses due to disrupted sales of electricity to consumers because the transformer is in an outage condition. This is because the PDKB-TM team is unable to install a by-pass jumper which functions to divert the voltage line to the other side when the transformer accessories are being maintained. The solution to this problem is to modify the transformer primary bushing terminal by increasing the length of the transformer primary bushing terminal design so that the jumper by-pass equipment can be attached between the transformer side and the SUTM side. In this case, it remains to take into account the electrical, mechanical and material composition aspects of the modification to the initial conditions of the primary bushing terminal. Regarding these aspects, this modification has also been tested regarding its feasibility in the form of tensile testing and material composition testing at the Diponegoro University, Mechanical Engineering Laboratory as well as contact resistance testing at PT PLN (Persero) Pusharlis. And after testing, the results are quite effective where the accessories can be maintained without turning off so as to avoid losses due to transformer blackouts.*

**Keywords :** Transformer, Maintenance, Modify

## I. PENDAHULUAN

Di era yang sangat berkembang ini kebutuhan listrik menjadi salah satu sarana utama dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat, maka penyediaan tenaga listrik harus tetap berjalan setiap waktu. Kebutuhan tenaga listrik yang terus menerus ini menuntut pihak penyediaan tenaga listrik untuk dapat meminimalisir adanya pemadaman tenaga listrik guna mendukung kebutuhan masyarakat akan kebutuhan listrik.

Pemadaman tenaga listrik terhadap konsumen dilatar belakangi oleh dua faktor. Faktor yang pertama yaitu adanya pemadaman akibat gangguan jaringan listrik, kemudian faktor yang kedua yaitu akibat adanya pemeliharaan peralatan tenaga listrik yang mengharuskan dilakukannya pemadaman tenaga listrik. Pemeliharaan yang baik akan dapat meminimalisir adanya gangguan-gangguan yang terjadi pada jaringan listrik untuk meminimalisir pemadaman akibat dari dilakukannya pemeliharaan, maka PT. PLN (Persero) selaku penyedia tenaga listrik membentuk sebuah regu pemeliharaan jaringan tegangan menengah yang mampu mengerjakan pemeliharaan jaringan listrik tanpa dilakukannya pemadaman tenaga listrik atau dapat kita sebut sebagai regu PDKB (Pemeliharaan Dalam Keadaan Bertegangan). Regu PDKB sendiri memiliki dua metode pekerjaan, yaitu metode berjarak dan metode sentuh langsung. Dimana masing-masing regu memiliki kompetensi keunggulan masing-masing dalam melakukan pemeliharaan [3].

Namun ada beberapa jenis pemeliharaan yang belum mampu dikerjakan oleh regu PDKB. Salah satunya yaitu pemeliharaan aksesoris transformator tegangan menengah. Pekerjaan ini tidak dapat dilaksanakan dikarenakan pada bagian terminal bushing primer transformator tidak terdapat media untuk pemasangan by-pass jumper. Sehingga setiap pekerjaan pemeliharaan aksesoris transformator harus dilakukan pemadaman terlebih dahulu. Di mana aksesoris transformator itu sendiri terdiri dari *conductor jumper*, *fuse cut out*, dan *lightning arrester*. Ketiga komponen inilah yang menjadi salah satu kesulitan regu PDKB dalam melakukan pemeliharaan tanpa padam.

Dengan permasalahan inilah yang menjadi bahasan dalam penelitian ini, yang membuat sebuah peralatan bantu dimana pekerjaan pemeliharaan aksesoris transformator dapat dilaksanakan tanpa perlu memadamkan jaringan

tegangan menengah sehingga konsumen tenaga listrik dapat menikmati pelayanan tenaga listrik dengan baik.

## II. METODE PENELITIAN

Bahan material modifikasi terminal primer transformator ini menggunakan bahan kuningan dengan bentuk dasar heksagonal. Bentuk dasar ini dipilih sebagai bentuk dasar pembuatan, dikarenakan untuk memudahkan proses pembuatan modifikasi yang terdapat desain heksagonal sehingga biaya pembuatan lebih efisien.



Gambar 1 Material Kuningan Bentuk Heksagonal

Bentuk dasar yang digunakan memiliki panjang total sebesar 160 mm. Hal ini dipilih untuk mengantisipasi nilai presisi ketika proses pembuatan. Untuk bahan kuningan dipilih karena memiliki komposisi material yang kurang lebih sama dengan komposisi material dari terminal bushing primer transformator [5][6]. Dimana dari hasil pengujian menunjukkan komposisi dari bahan material tersebut adalah Cu dengan total 59.60 % dan Zn 38.10 % dan sisanya material-material lain. Pemilihan bahan material yang sama akan dapat meminimalisir nilai dari tahanan kontak yang akan mengganggu kontak antar sambungan. Hal ini dibuktikan dengan Gambar 2 dan 3.



LABORATORIUM METALURGI FISIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN - FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
Jl. Prof. Soedarto SH, Kampus Tembalang Semarang  
Telp. 024-7460059; Fax 024-7460059 ext 102

Kepada PT. PLN (persero) Udiklat Semarang  
Jl. Raya Kedung Mungu, Salak Utama no. 1 50273  
Kecamatan Tembalang Kelurahan Sambiroto  
UP. DM. LAB Bapak Parada

Hasil Pengujian Komposisi Material Kuningan (bundar)

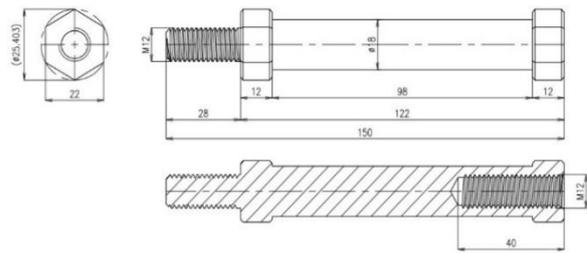
UNSUR	SAMPEL UJI (%)	STANDART DEVIASI
Cu	59.60	0.650
Zn	38.10	0.952
Pb	0.729	0.0559
Sn	0.532	0.0092
Mn	0.0219	0.0028
Fe	0.434	0.0653
Ni	0.185	0.0175
Si	0.0267	0.0033
Mg	-0.0050	0.0000
Cr	0.0111	0.0034
Al	0.0090	0.0128
As	0.0509	0.0051
Be	<-0.0020	0.0000
Ag	0.0199	0.0003
Co	0.0165	0.0018
Bi	0.0396	0.0029
Cd	0.0911	0.0030
Zr	-0.0020	0.0000

Semarang, 28 Juni 2016  
Kepala Laboratorium  
Prof. Dr. Ir. H. Bayuono, M.Sc.  
NIP. 19620520198021001

Gambar 2 Hasil Uji Komposisi Material Terminal Bushing Primer

Pembuatan desain modifikasi terminal primer transformator dilakukan dengan menyesuaikan keadaan awal bentuk terminal bushing primer. Desain modifikasinya menggunakan tipe ulir dalam, yang bertujuan menambahkan kekuatan cengkaman dari desain modifikasi pada terminal primer transformator. Selain itu digunakan desain ulir dalam tersebut berfungsi untuk meminimalisir nilai tahanan kontak dari sambungan modifikasi tersebut. Panjang dari desain ulir dalam ini mencapai 40 mm.

memiliki panjang total 150 mm sesuai dengan Gambar 4.



Gambar 4 Gambar Teknik Desain Modifikasi Terminal Bushing Primer Transformator



Kepada PT. PLN (persero) Udiklat Semarang  
 Jl. Raya Kedung Mundu, Salak Utama no. 1 50273  
 Kecamatan Tembalang Kelurahan Sambiroto  
 UP. DM. LAB Bapak Parada

Hasil Pengujian Komposisi Material Kuningan (segi enam)

UNSUR	SAMPEL UJI (%)	STANDART DEVIASI
Cu	58.00	0.556
Zn	38.20	0.642
Pb	1.330	0.0458
Sn	0.919	0.0372
Mn	0.0290	0.0007
Fe	0.640	0.034
Ni	0.385	0.0115
Si	0.0386	0.0054
Mg	<-0.0050	0.0000
Cr	0.0115	0.001
Al	0.0589	0.0181
As	0.0542	0.0089
Be	<-0.0020	0.0000
Ag	0.0214	0.0018
Co	0.0175	0.0011
Bi	0.0455	0.0044
Cd	0.1520	0.0028
Zr	<-0.0020	0.0000



Gambar 3 Hasil Uji Komposisi Material Modifikasi

Desain modifikasi terminal primer tersebut memiliki dua sisi, sisi atas dan sisi bawah. Desain ulir dalam yang dijelaskan dibagian atas termasuk dalam sisi bagian bawah. Untuk sisi bagian atas menggunakan desain ulir luar dengan panjang 28 mm, dimana desain ini disamakan dengan desain awal terminal primer tanpa merubah desainnya. Desain ulir luar ini bertujuan agar memudahkan pemasangan sekun *conductor jumper*. Terdapat pula desain yang berbentuk heksagon yang memiliki panjang 12 mm dengan disesuaikan ukuran kunci pass 24. Desain heksagon ini memiliki fungsi yang penting yaitu sebagai sarana untuk mempermudah pada saat pemasangan material modifikasi terminal primer. Selain itu terdapat desain yang sangat penting yang berfungsi sebagai sarana pemasangan aksesoris pass jumper. Dimana didesain dengan berbentuk silinder dengan panjang 98 mm. Sehingga untuk desain modifikasi tersebut

### 3.1 Pengujian Modifikasi Terminal Bushing Primer Transformator

Untuk mendapatkan data-data terkait kelayakan mengenai modifikasi terminal bushing primer transformator ini, selain pengujian komposisi material juga dilakukan pengujian secara elektrik maupun mekanikal. Adapun pengujian-pengujian tersebut antara lain.

#### 1. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan dari sambungan kontak antara terminal bushing transformator dengan material modifikasi yang nantinya dipasangkan diatas terminal bushing transformator. Adapun hasil pengujian yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.

5/10/2016 tahanan.kontak.htm

test000.xml:

Test Device: CPC  
 Serial Number: MF033T (V1)  
 Date/Time: 22 April 2017 11:10:56  
 Overall assessment: OK

Test Cards Overview:

Test Card	Type	Date/Time	Results	Assessment	Overload
Tahanan 1	Quick	22 April 2017 11:10:18	yes	OK	no

Test Cards:

Tahanan 1:

Card Type: Quick  
 Date/Time: 22 April 2017 11:10:18  
 Overload: no  
 Assessment: OK  
 Range: DC 400A  
 Trigger on: No Trigger  
 Switch off on trigger: yes

Results:

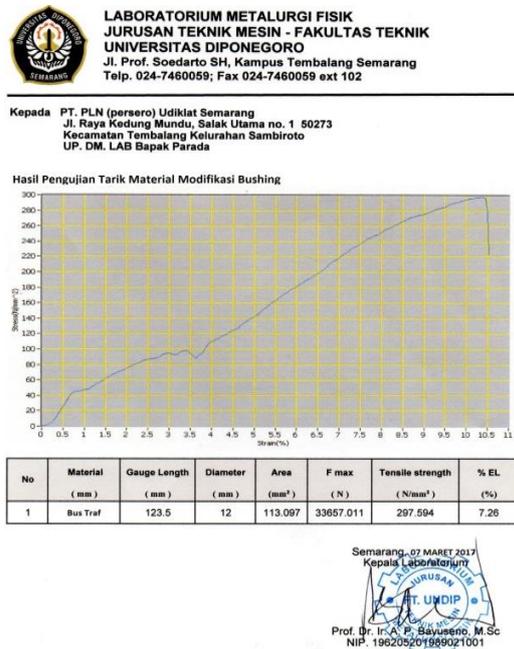
Output	I Out	V DC	R	Bin.	Delay	Overl.
100.0 A/n/a	99.99 A/n/a	5.0237 mV/n/a	50.242 µD/n/a	open	n/a	no
100.0 A/n/a	100.01 A/n/a	5.0253 mV/n/a	50.248 µD/n/a	open	n/a	no
100.0 A/n/a	100.00 A/n/a	5.0246 mV/n/a	50.246 µD/n/a	open	n/a	no
200.0 A/n/a	199.98 A/n/a	10.074 mV/n/a	50.374 µD/n/a	open	n/a	no
200.0 A/n/a	200.00 A/n/a	10.078 mV/n/a	50.380 µD/n/a	open	n/a	no
200.0 A/n/a	200.03 A/n/a	10.083 mV/n/a	50.407 µD/n/a	open	n/a	no
300.0 A/n/a	300.00 A/n/a	15.154 mV/n/a	50.514 µD/n/a	open	n/a	no
300.0 A/n/a	300.00 A/n/a	15.168 mV/n/a	50.559 µD/n/a	open	n/a	no
300.0 A/n/a	300.00 A/n/a	15.181 mV/n/a	50.602 µD/n/a	open	n/a	no

Gambar 5 Hasil Pengujian Tahanan Kontak

#### 2. Pengujian Tarikan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data seberapa kuat material modifikasi tahan terhadap tarikan hingga menimbulkan retakan atau bahkan patahan. Dengan mengetahui kemampuan maksimal tarikannya, maka kita dapat menjadikan dasar untuk

kemampuan diimplementasikannya pada konstruksi transformator tegangan menengah yang eksisting. Hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil Pengujian Tarikan

Dari gambar 12 di atas didapatkan untuk gaya tarikan hingga menimbulkan retakan atau patahan sebesar 33.657 N. Dengan menggunakan rumusan  $F = m \cdot a$ , dengan nilai  $a$  kita masukkan sebesar  $10 \text{ m/s}^2$  yang merupakan nilai percepatan karena gaya gravitasi di bumi, maka didapatkan bahwa modifikasi tersebut dapat dibebani hingga kemampuan 3.365,7 kg atau kurang lebih 3,3 ton.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian tersebut akan dapat disimpulkan terkait tingkat kelayakan dari modifikasi tersebut. Untuk pengujian tahanan kontak didapatkan hasil sesuai pada gambar 10, dimana nilai tersebut masih sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PLN dengan nilai pengujian tahanan kontak kurang dari  $100 \mu\Omega$  [3].

Sedangkan untuk pengujian tarikan mendapatkan hasil sesuai dengan gambar 11 dimana tarikan hingga menimbulkan retakan atau patahan apabila dibebani dengan beban sebesar kurang lebih 3,3 ton. Nilai ini sangat besar apabila dibandingkan nilai beban tarikan yang terdapat pada *conductor jumper* dengan nilai penampang  $50 \text{ mm}^2$ , *lightning arrester* dan *fuse cut out*.

#### 3.2. Perhitungan Penyelamatan KWh

Tujuan dari digunakannya material modifikasi terminal bushing transformator tentunya untuk meningkatkan jumlah penjualan kWh yang tersalurkan ke pelanggan. Diharapkan dengan adanya material modifikasi tersebut maka kWh yang tadinya tidak mampu terjual ke pelanggan akibat adanya pemadaman transformator, kedepan akan mampu terjual maksimal kepada pelanggan karena pemadaman transformator mampu dihindari. Nilai perhitungan penyelamatan ini dilakukan hanya dalam bentuk simulasi perhitungan dengan jumlah pemeliharaan dan rata-rata beban pelanggan pertahun, serta simulasi berdasarkan jumlah kerugian kWh akibat gangguan transformator yang menyebabkan transformator padam.

Modifikasi ini sudah sudah diuji coba untuk diaplikasikan di PLN UP3 Surabaya Selatan. Sehingga analisa yang dilakukan yaitu menggunakan data pemeliharaan yang dilakukan pada PLN UP3 Suraabaya Selatan. Dari data yang didapatkan pada satu tahun yaitu pada tahun 2016, didapatkan jumlah total pemeliharaan aksesoris transformator sebanyak 90 kali pemeliharaan.

Dari data tersebut telah diketahui masing-masing besar beban, nilai  $\cos \Phi$ , dan waktu lamanya pemadaman pada tiap-tiap transformator. Dengan data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan nilai kWh yang gagal terjualkan akibat adanya pemeliharaan aksesoris transformator yang mengakibatkan pemadaman selama beberapa jam.

Dari data Tabel 1 diketahui bahwa untuk transformator dengan daya lebih dari 160 kVA menggunakan tipe Gardu Beton. Namun untuk solusi pemeliharaan aksesoris transformator sementara ini hanya dapat dilakukan dengan tipe gardu portal. Dimana pada data PT PLN UP3 Surabaya Selatan tipe gardu portal hanya terdapat pada daya 160 kVA sampai dibawahnya (100 kVA dan 50 kVA). Sehingga untuk mengetahui lebih spesifik mengenai nilai kWh yang dapat diselamatkan dari adanya pemadaman yaitu dengan memisahkan data daya transformator 160 kVA kebawah menjadi data tersendiri. Berikut jumlah transformator yang didapat yang dapat berpotensi untuk dilakukan pemeliharaan aksesoris tanpa memadamkan transformator.

TABEL 1. JUMLAH TRAF0 GANGGUAN

NO	PENTULANO	NO.0ARDU	MREK	DAYA TRAF0	TAHUN	Relehan Trafo (A)	cos $\theta$	WAKTU PADAM (JAM)
1	Abian Base	KA-2457	Trafindo	160	2019	900	0,63	9,00
2	Tangeb	MI-0324	Starlife	100	2013	250	0,87	1,75
3	Tegal Lantang	KA-1758	Voltra	100	2011	150	0,82	1,33
4	Nusa Indah	DI-1044	Trafindo	100	2012	100	0,01	1,60
5	Nakula	KA-2029	Trafindo	160	2013	180	0,61	9,00
6	Nuanlara	KA-2199	B & D	100	2012	280	0,8	1,33
7	Buntang	KA-1826	Unindo	160	2010	280	0,89	2,17
8	Tasubanang	KA-0918	Unindo	200	2009	100	0,70	1,33
9	Banteng	KA-2561	Trafindo	160	2012	100	0,78	1,83
10	Kampus	KA-2372	Trafindo	100	2012	150	0,82	2,08
11	Lokanot	UK-1307	Unindo	200	1998	280	0,81	1,75
12	Cendrawasih	KA-2449	Trafindo	160	2019	900	0,79	1,33
13	Uluwatu	KA-1276	Trafindo	250	2014	150	0,83	1,50
14	Martanadi	KA-1799	Trafindo	160	2012	100	0,84	2,08
15	Ajuna	KA-0842	Trafindo	160	2012	180	0,01	1,83
16	Deva Ruci	KS-05-1004	Sintra	160	2011	280	0,76	2,17
17	Jaya Batu	DS-0000	Unindo	200	1973	250	0,83	1,33
18	Delagar Carik	US-1046	ESD	160	2008	160	0,87	1,83
19	Tegal Lantang	KA-2108	Trafindo	100	2019	100	0,69	1,60
20	Banteng	KA-2451	Trafindo	160	2012	150	0,8	1,50
21	Tegal Wangi	DS-0366	Voltra	250	2013	280	0,81	2,08
22	Viloi	KA-2206	Trafindo	160	2011	200	0,01	1,83
23	Tasubanang	KA-2400	B & D	200	2019	150	0,63	9,17
24	Sidakarya	DS-0609	B & D	250	2011	100	0,78	1,33
25	Nusa Indah	DI-1038	Voltra	250	2012	180	0,78	1,83
26	Kotih Selatan	KA-0142	B & D	400	2010	900	0,69	9,00
27	Dewa Ruci	KA-3033	Trafindo	160	2013	250	0,8	1,75
28	Timpag	KS-0048	B & D	160	1992	140	0,79	1,33
29	Bunisar	KA-1999	Unindo	100	2011	100	0,88	1,60
30	Bunisar	KA-2014	Unindo	100	2019	100	0,64	9,00
31	Kampus	KA-1149	Trafindo	100	1999	250	0,8	1,75
32	Kampus	KA-1189	Starlife	250	2006	250	0,78	1,83
33	Kampus	KA-1333	B & D	160	2010	160	0,68	1,60
34	Batu Belig	KA-2179	B & D	100	2019	100	0,67	9,00
35	Batu Belig	KA-0474	B & D	200	2006	180	0,82	1,33
36	Blakhluk	NS-0058	Trafindo	160	2012	280	0,8	2,17
37	Panahut	TK-0013	Trafindo	160	2019	900	0,61	1,33
38	Sidakarya	DS-0700	Voltra	100	2011	150	0,8	1,83
39	Bulu	KA-0489	B & D	250	2018	100	0,83	1,28
40	Merumpos	UK-1047	Unindo	200	2011	180	0,70	1,60
41	Batum	DS-0301	Unindo	160	1983	900	0,76	9,00
42	Trafo Ex.Kuta	DK-04-045	Starlife	100	2001	250	0,82	1,33
43	Ingil Juliail	KA-0398	Trafindo	160	2011	180	0,8	2,17
44	Buntang	KA-0389	Schneider	100	2019	100	0,79	1,83
45	Laksamana	KA-1545	B & D	250	2015	150	0,83	1,83
46	Mumbul	KA-2364	Trafindo	160	2012	280	0,84	2,08
47	Blayu	MA-0009	Unindo	160	2012	280	0,8	1,75
48	Mambal	AS-0107	Trafindo	160	2011	100	0,76	9,17
49	Martanadi	KA-0658	B & D	250	2000	100	0,83	1,33
50	Tegal Lantang	KA-1812	Starlife	250	2010	150	0,87	1,83
51	Belusung	DS-0848	Trafindo	160	2012	280	0,82	2,08
52	Laksamana	KA-1645	B & D	160	2010	250	0,8	1,75
53	Batu Belig	KA-XXXX	Trafindo	160	2012	150	0,81	1,33
54	Batu Belig	KA-0922	Trafindo	160	2013	100	0,8	1,50
55	Tanjung Benoa	KA-2548	Trafindo	160	2012	180	0,83	2,08
56	Cendrawasih	KA-2457	Trafindo	100	2012	250	0,78	1,75
57	Mumbul	KA-2225	Trafindo	160	2012	250	0,78	1,33
58	Sempidi	MI-0306	Trafindo	160	2012	150	0,82	1,50
59	Jadi Pesona	DS-1141	Kaltia	100	2016	100	0,8	2,08
60	Trafo Ex.Kuta	B & D	100	2015	180	0,79	1,33	
61	Trafo Ex.Kuta	Starlife	100	2013	280	0,83	2,17	
62	Selemadeg	SM-0136	Sintra	100	2004	250	0,84	1,33
63	Kelan	KA-3488	Trafindo	160	2012	150	0,8	1,83
64	Pasang UGB	UGB Kuta	Unindo	400	2000	100	0,78	1,25
65	Nakula	KA-2063	B & D	250	2011	180	0,83	1,50
66	Tegal Lantang	KA-2322	Trafindo	160	2012	280	0,87	2,08
67	Kediri	KA-2214	Trafindo	160	2012	250	0,82	1,33
68	Cendrawasih	KA-1058	Sintra	160	2005	150	0,8	2,17
69	Banteng	KA-2189	Trafindo	160	2012	100	0,81	1,33
70	Mumbul	KA-1274	Unindo	250	2011	180	0,8	1,50
71	Kuta Square	KA-0002	AEQ	500	2011	280	0,83	2,08
72	Padang Sambean	DS-0255	B & D	250	2010	250	0,78	1,75
73	Cargo	DS-0132	Unindo	200	2000	150	0,78	1,33
74	Blayu	MA-0006	B & D	160	2014	100	0,82	1,50
75	Reman	DS-0022	B & D	250	2015	180	0,8	2,08
76	Tanjung Benoa	KA-2569	Starlife	100	2013	280	0,79	1,33
77	Buruan	DS-0481	Sintra	250	2010	250	0,83	1,83
78	Kelan	KA-2361	Trafindo	160	2011	150	0,84	2,08
79	Cendrawasih	KA-2366	Trafindo	100	2012	100	0,8	1,33
80	EXP.BPG	KA-2692	Starlife	100	2013	180	0,78	2,17
81	Rayon Kuta	UGB	Trafindo	400	2006	250	0,79	1,83
82	Boja	SM-0086	B & D	100	1994	100	0,84	1,50
83	Banteng	KA-3614	Kalla Trafo	100	2016	180	0,8	2,08
84	Kediri	KA-2212	Trafindo	160	2012	105	0,82	1,33

TABEL 2. PERHITUNGAN KWH TERSELAMATKAN

NO	NAMA PENYULAN	NOMER GARDU	DAYA	TAHUN	BEBAN	COS $\theta$	WAKTU	ENERGI
1	Abian Base	121309012	160	2012	280	0,83	2,08	13.452,92
2	Tangeb	1323811006-018	100	2013	250	0,87	1,75	8.221,80
3	Tegal Lantang	11050769	100	2011	150	0,82	1,33	5.772,80
4	Nusa Indah	124303885	100	2012	100	0,8	1,50	4.480,00
5	Nakula	134313233	160	2013	180	0,61	2,08	13.331,25
6	Nuanlara	12001934	100	2012	280	0,8	1,33	5.120,00
7	Banteng	65784	160	2010	250	0,83	2,17	13.127,83
8	Banteng	121309000	160	2012	100	0,78	1,83	9.724,00
9	Kampus	124303922	100	2012	180	0,82	2,08	8.885,83
10	Cendrawasih	121309915	160	2012	250	0,79	1,33	8.053,33
11	Martanadi	121308950	160	2012	100	0,84	2,08	13.755,00
12	Ajuna	121309906	160	2012	180	0,8	1,33	8.469,33
13	Nakula	11010082	160	2011	280	0,78	2,17	13.114,40
14	Delagar Carik	20087016	160	2008	150	0,87	1,83	20.447,90
15	Tegal Lantang	124303825	100	2012	100	0,82	1,25	4.551,00
16	Banteng	121308951	160	2012	180	0,8	1,50	8.856,00
17	Villas	111310054	160	2011	250	0,8	1,33	3.050,47
18	Dewa Ruci	134314618	160	2013	250	0,8	1,75	1.344,00
19	Timpag	9201172	160	1992	150	0,79	1,33	4.508,27
20	Bunisar	11140336	100	2011	100	0,83	1,50	3.710,10
21	Bunisar	12052638	100	2012	180	0,84	2,08	6.055,00
22	Kampus	9930029	100	1999	280	0,8	1,75	2.464,00
23	Kampus	20130003	160	2010	150	0,83	1,50	10.408,20
24	Batu belig	1200103	100	2012	100	0,87	2,08	4.495,00
25	Blakhluk	121306737	160	2012	250	0,8	2,17	7.896,00
26	Penabel	121306705	160	2012	250	0,81	1,33	4.821,33
27	Sidakarya	11050766	100	2011	150	0,8	1,83	3.461,33
28	Batutuli	3590	160	1983	280	0,78	2,08	4.907,50
29	Trafo Ex.Kuta	011101	100	2001	250	0,82	1,33	5.840,27
30	Patih Jelantik	111310052	160	2011	150	0,8	2,17	7.245,33
31	Mumbul	121308931	160	2012	280	0,84	2,08	6.210,00
32	Blayu	121308956	160	2012	250	0,8	1,75	1.372,00
33	Mambal	11139945	160	2011	150	0,78	2,17	13.418,60
34	Belusung	121303239	160	2012	280	0,82	2,08	10.318,33
35	Laksamana	20105845	160	2010	250	0,8	1,75	2.436,00
36	Batu Belig	121308930	160	2012	150	0,81	1,33	1.274,40
37	Batu Belig	131305152	160	2013	100	0,8	1,50	8.784,00
38	Tanjung Benoa	121309901	160	2012	180	0,83	2,08	9.648,75
39	Cendrawasih	124306219	100	2012	280	0,78	1,75	8.845,20
40	Mumbul	121306613	160	2012	250	0,78	1,33	1.331,20
41	Sempidi	121306749	160	2012	150	0,82	1,50	4.445,20
42	Jadi Pesona	160277	100	2016	100	0,8	2,08	10.600,00
43	Trafo Ex.Kuta	1504115	100	2015	180	0,79	1,33	6.593,87
44	Trafo Ex.Kuta	1323811006-006	100	2013	280	0,83	2,17	11.293,53
45	Selemadeg	04003412	100	2004	250	0,84	1,33	582,40
46	Bajra	121306717	160	2012	150	0,8	1,33	4.821,33
47	Tegal Lantang	121306462	160	2012	280	0,87	2,08	9.135,00
48	Kediri	121307857	160	2012	250	0,82	1,33	4.570,13
49	Cendrawasih	05010032	160	2005	150	0,8	2,17	18.997,33
50	Banteng	121303244	160	2012	100	0,81	1,33	9.093,40
51	Blayu	1401892	160	2014	100	0,82	1,50	4.231,20
52	Tanjung Benoa	1323811006-008	100	2013	280	0,79	1,33	7.520,80
53	Kelan	11139940	160	2011	150	0,84	2,08	13.020,00
54	Cendrawasih	124306451	100	2012	100	0,8	1,33	2.560,00
55	EXP.BPG	1323811006-012	100	2013	180	0,78	2,17	4.225,00
56	Bajra	9403763	100	1994	100	0,84	1,50	1.562,40
57	Banteng	160297	100	2016	180	0,8	2,08	6.066,67
58	Kediri	121306668	160	2012	105	0,82	1,33	809,07
TOTAL kWh								

TABEL 3. PERHITUNGAN NILAI RUPIAH

NO	Jmlah Trafo/ Tahun	NILAI kWh	Nilai Rupiah/ kWh (Rp)	Total (Rp)
1	58	420.417,98	1.35	567.564.277,50

Nilai kerugian yang cukup besar tersebut seharusnya dapat kita selamatkan dengan cara untuk meminimalisir pemadaman transformator dengan menggunakan modifikasi transformator yang hanya membutuhkan biaya Rp 450.000.

TABEL 4. BIAYA PEMBUATAN MATERIAL MODIFIKASI

No	Nama Barang	Jumlah (bh)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Material Bahan Kuningan	3	85.000	255.000
2	Biaya pembuatan	3	65.000	195.000
<b>BiayaPembuatan</b>				<b>450.000</b>

Dengan menggunakan modifikasi terminal bushing transformator tersebut maka nilai kerugian diatas dapat kita hindari. Nilai kerugian tersebut baru dilakukan perhitungan analisa untuk satu unit distribusi (UP3) saja, sedangkan di PT. PLN (Persero) terdapat lebih dari 70 unit yang berpotensi untuk dapat menyelamatkan nilai kerugian tersebut pada setiap tahunnya.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan modifikasi bushing terminal primer transformator tersebut efektif untuk dapat diaplikasikan sehingga menghindari pemadaman transformator karena adanya pekerjaan penggantian aksesoris transformator baik pada saat pemeliharaan rutin maupun karena adanya gangguan. Dimana jika tanpa dilakukan modifikasi terhadap terminal bushing primer tersebut, maka pekerjaan terkait dengan pemeliharaan fuse cut out, lightning arrester dan conductor jumper harus dilaksanakan dengan kondisi padam dan mengakibatkan kerugian sebesar Rp 567.564.277,50 dengan asumsi kerugian tersebut hanya untuk 1 unit distribusi (UP3). Dengan demikian modifikasi terminal bushing primer tersebut bisa diaplikasikan ke seluruh unit-unit distribusi PLN (UP3).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEPDIR. 2010. *Standar konstruksi gardu tegangan menengah dan gardu hubung tenaga listrik*, hlm 1.
- [2] KEPDIR. 2010. *Standar konstruksi gardu tegangan menengah dan gardu hubung tenaga listrik*, hlm 7
- [3] SPLN-82-3. 1993. *Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan*, hlm.13
- [4] KEPDIR No. 520. 2014. *Buku Pedoman Pemutus Tenaga*, hlm 65.
- [5] Beumer, B.J.M. 1972. *Ilmu Bahan Logam Jilid II*. Translated by Anwir, B.S. 1979. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- [6] Dieter, G.E., 1987, *Engineering design: a materials and processing approach.*, terj.Sriati D., Jakarta: Erlangga.