

---

# Open Phase Transformator Protection (OPTP) Sebagai Sistem Proteksi Ketidakseimbangan Sisi Sekunder Transformator

*Bima Awaluddin Amri<sup>1</sup>, Diah Suwarti<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi dan Industri ITNY, Yogyakarta  
email:

## **Abstrak**

*Open Phase Transformer Protection (OPTP) digunakan untuk mencegah kerusakan trafo distribusi tiga fasa karena hilang tegangan salah satu fasa di sisi primer dan kenaikan suhu abnormal. Sepanjang tahun 2017 terjadi 8 trafo 3 fasa rusak dari total 41 trafo menjadikan Key Performance Index Trafo Rusak di Area Cilacap tidak tercapai. Trafo tiga fasa sesuai SPLN No.118-3-1: 1996 hanya berpengaman arus lebih pada sisi sekunder berupa NT fuse dan MCCB, sehingga tidak bisa mengamankan dari hilang tegangan satu fasa pada sisi primer saat trafo berbeban. Akibat hilang tegangan salah satu fasa, beban menjadi tidak seimbang.*

*Tujuan Open Phase Transformer Protection (OPTP) adalah untuk mengamankan sisi sekunder transformator tiga fasa terhadap arus lebih yang diakibatkan oleh hilang tegangan pada salah satu dan atau dua fasa di sisi primer transformator. OPTP (Open Phase Transformator Protection) bekerja dengan melepas beban melalui MCCB (Moulded Case Circuit Braket).*

**Kata kunci:** *Open Phase Transformer Protection (OPTP), transformator tiga fasa, MCCB (Moulded Case Circuit Braket)*

## **Abstract**

*Open Phase Transformer Protection (OPTP) is used to prevent damage to the three-phase distribution transformer due to loss of one phase voltage on the primary side and abnormal temperature increases. Throughout 2017, there were 8 damaged 3-phase transformers from a total of 41 transformers, making the Key Performance Index of Damaged Transformers in the Cilacap Area not reached. The three-phase transformer according to SPLN No.118-3-1: 1996 only has overcurrent protection on the secondary side in the form of NT fuse and MCCB, so it cannot protect from a single phase voltage loss on the primary side when the transformer is loaded. Due to the loss of one phase voltage, the load becomes unbalanced.*

*The purpose of Open Phase Transformer Protection (OPTP) is to secure the secondary side of the three-phase transformer against overcurrent caused by voltage loss in one and or two phases on the primary side of the transformer. OPTP (Open Phase Transformator Protection) works by removing the load through the MCCB (Molded Case Circuit Braket).*

**Keywords:** *Open Phase Transformer Protection (OPTP), three-phase transformer, MCCB (Molded Case Circuit Braket)*

## **1. PENDAHULUAN**

*Open Phase Transformer Protection (OPTP) digunakan untuk mencegah kerusakan trafo distribusi 3 fasa karena hilang tegangan salah satu fasa di sisi primer dan kenaikan suhu abnormal. Sepanjang tahun 2017 terjadi 8 trafo 3 fasa rusak dari total 41 trafo menjadikan Key Performance Index Trafo Rusak di Area Cilacap tidak tercapai.*

*Trafo 3 fasa sesuai SPLN No.118-3-1: 1996 hanya berpengaman arus lebih pada sisi sekunder berupa NT fuse dan MCCB, sehingga tidak bisa mengamankan dari hilang tegangan*

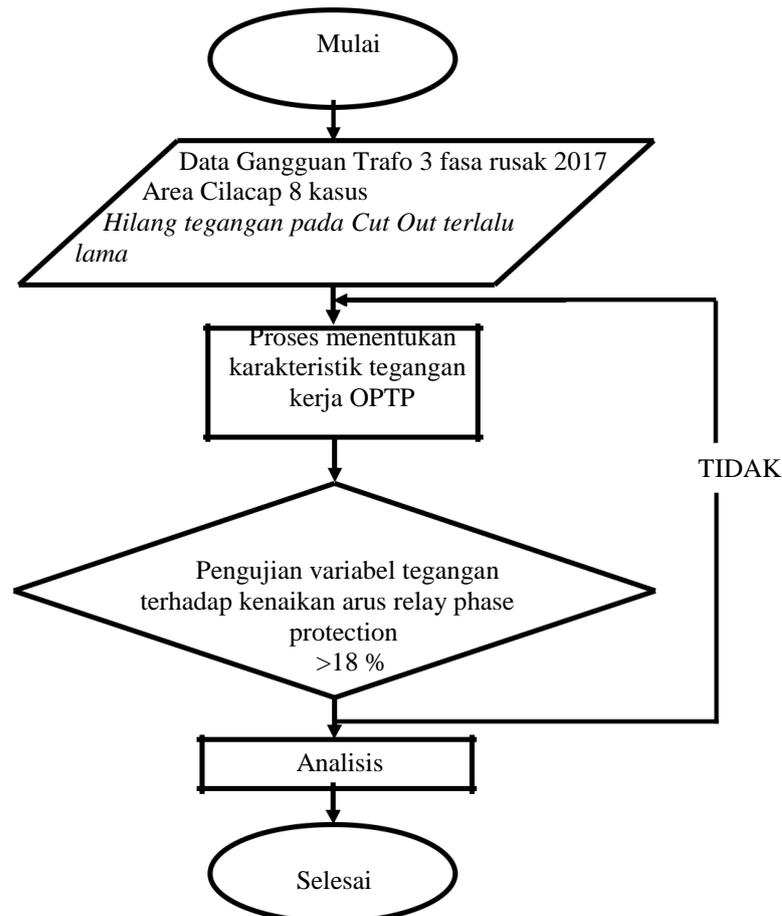
satu phasapada sisi primer saat trafo berbeban. Akibat hilang tegangan salah satu fasa, beban menjadi tidak seimbang, suhu belitan dan suhu minyak naik, tahanan isolasi antar belitan turun dan terjadi hubung singkat antar belitan sehingga trafo menjadi rusak.

Hasil berbagai diskusi dalam *Communities of practice (CoP)* dirumuskan bahwa kerusakan trafo 3 fasa di Area Cilacap terjadi diawali karena salah satu fasa hilang tegangan. Hilang tegangan satu atau dua fasa ini menyebabkan *asymmetrical voltage* (tegangan tidak seimbang) yang menyebabkan beban hilang salah satu fasa, beban menjadi tidak seimbang, suhu belitan dan suhu minyak naik, tekanan dalam body trafo naik, tahanan isolasi antar belitan turun dan akhirnya terjadi hubung singkat antar belitan sehingga trafo rusak. Hal ini terbukti dengan kondisi body trafo menggelembung, adanya minyak yang keluar dan hasil pengukuran tahanan isolasi tidak baik. Kondisi saat *Fuse Cut Out (FCO)* putus salah satu fasa ini berlangsung lama karena tidak ada informasi dari pelanggan.

Dari berbagai masalah diatas perlu dibuat suatu alat proteksi yang dapat mengamankan trafo dari hilang tegangan salah satu fasa, kenaikan suhu trafo dan dapat mengirimkan informasi bila trafo tersebut mengalami gangguan tanpa menunggu informasi dari pelanggan.

## 2. METODE PENELITIAN

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah toolbox berisi Toolset lengkap, rangkaian Power Supply dengan *Automatic Changeover (ACO/ATS)*, relay hilang tegangan / *Phase Protection*, Thermal Relay, *Time Delay Relay (TDR)*, dan MCCB dengan Shunt Trip Release sistem *Interlock*, Sistem Informasi via SMS. Penelitian dilakukan di PLN UP3 Cilacap ULP Majenang.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Langkah-langkah yang peneliti lakukan adalah pertama, pengumpulan data gangguan transformator tiga fasa yang terjadi di wilayah kerja Area Cilacap. Langkah kedua, membuka one line diagram transformator tiga fasa dan mencari dimana titik penambahan alat untuk memaksimalkan kerja MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*) dan ditemukan titik pemasangan OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) berada pada sisi keluar MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*) melalui *shunt trip* sebagai media penghubung antara MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*) dengan OPTP (*Open Phase Transformator Protection*). Langkah ketiga adalah penentuan pengaturan karakter tegangan kerja setelah OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) terpasang. Langkah keempat adalah analisis dan pengujian karakter tegangan kerja OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) pada saat terjadi kenaikan arus akibat *Open Phase* terjadi.

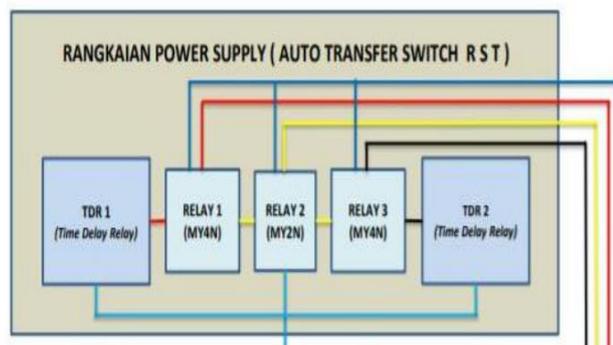
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perancangan Desain

Komponen Utama menyusun *Open Phase Transformator Protection* (OPTP) berupa:

a. Rangkaian Power Supply dengan *Automatic Changeover* (ACO/ATS)

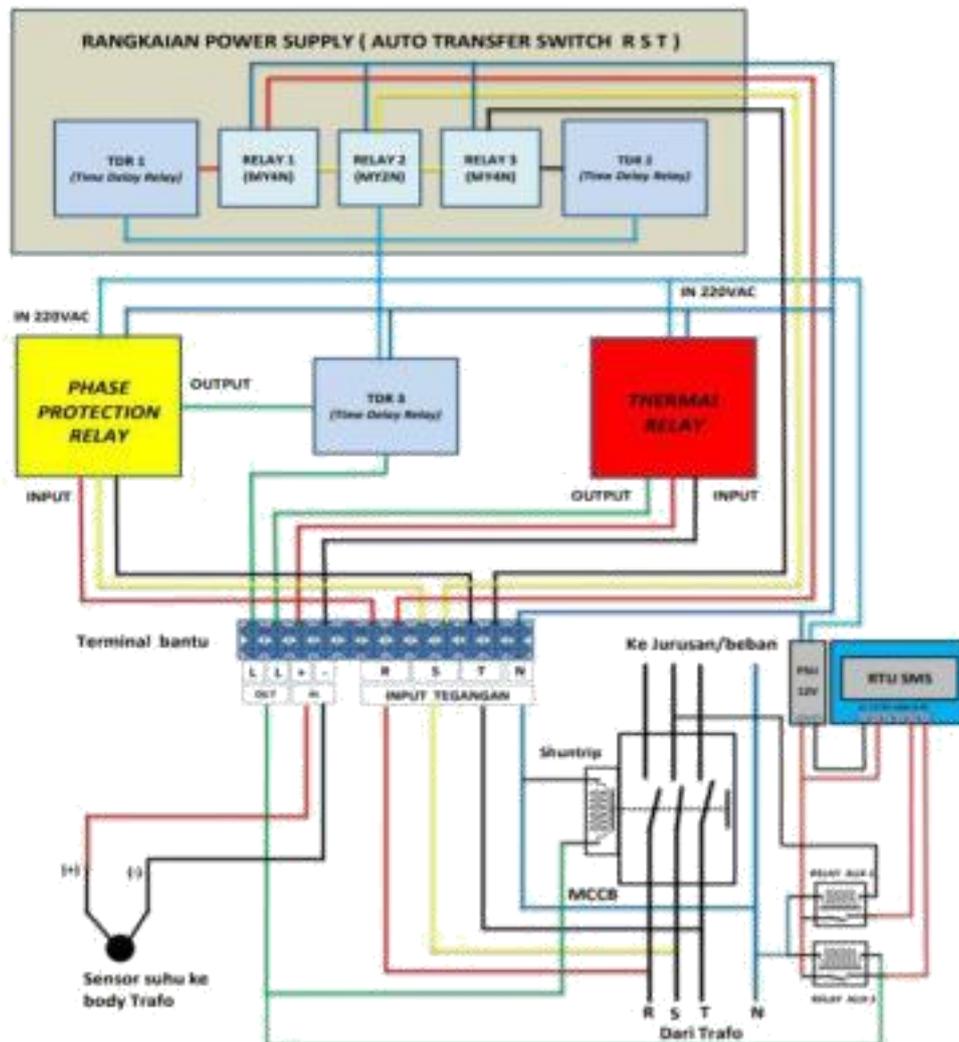
Rangkaian ini berfungsi memberikan catu daya untuk menggerakkan MCCB yang dilengkapi *Shunttrip Release* dan Relay Suhu. Untuk menanggulangi catu daya kehilangan suplay akibat terjadi gangguan/hilang tegangan, dibuatlah rangkaian *Automatic Changeover* (ACO) atau *Automatic transfer Switch* (ATS) sehingga saat salah satu phasa antara R, S dan T terganggu bisa tetap OPTP tetap menyala. Untuk Relay yang kita pakai adalah relay TDR (*Time Delay Relay*), relay MY4N, dan relay MY2N yang dihubungkan dengan rangkaian seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 1.** Rangkaian ACO (Automatic Change Over)

b. Rangkaian relay penyusun OPTP (Open Phase Transformator Protection)

Yaitu rangkaian relay yang terdiri dari relay phase protection dengan merek schneijder dengan tiga knob pengaturan, relay thermal yang dapat diatur hingga 100o, dan time delay relay yang dihubungkan dengan rangkaian ACO (Automatic Change Over) pada sisi masuk dan sisi keluar dihubungkan ke terminal bantu disusun sesuai single line pada gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Single Line diagram OPTP

### 3.2 Spesifikasi dan fungsi komponen

OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) tersusun dari tiga relay utama dan komponen pendukung lainnya dengan spesifikasi dan fungsi sebagai berikut:

a. Relay Hilang Tegangan / Phase Protection

Relay hilang tegangan dipasang pada sisi sekunder trafo dan adalah relay utama penggerak OPTP (*Open Phase Transformator Protection*). Relay phase failure yang dipakai adalah dari pabrikan Schneijder dengan tiga knob setting. Relay ini bekerja apabila terjadi hilang tegangan salah satu atau dua fasa pada sisi primer trafo. Relay ini akan bekerja saat Fuse Cut Out (FCO) trafo tiga fasa putus salah satu atau konduktor jaringan pada sisi sumber sebelum trafo mengalami putus akibat gangguan.

Relay ini tidak bekerja apabila tegangan sisi sumber hilang secara serempak ketiga paha. Saat gangguan PMT trip, Recloser trip atau ABSW sisi sumber dibuka, OPTP tidak bekerja. Sehingga OPTP bersifat selektif, dapat membedakan antara padam 1 fasa akibat gangguan atau

padam karena pemadaman. Relay Phase Protection ini memiliki 3 adjustmen tombol yang berfungsi untuk setting seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 3.** Knob settingan *relay phase failure*

Pada gambar 3 di atas, dapat dilihat untuk knob setting pada relay phase failure ada tiga. Untuk knob pertama yang berwarna putih berfungsi untuk setting tegangan kerja pada relay. Knob kedua berwarna hitam yang berada diposisi tengah berfungsi untuk setting waktu / lama anomaly tegangan bekerja. Sedangkan knob ketiga berwarna hitam yang terletak paling bawah diantara knob lainnya berfungsi untuk setting prosentase drop tegangan.

#### 1. Thermal Relay

*Thermal Relay* atau Sensor suhu bekerja dengan mengukur suhu body trafo 3 fasa. Sensor suhu terpasang di body trafo dengan setting  $83^{\circ}\text{C}$ . Saat suhu body trafo melebihi seting, relay suhu akan mengirim sinyal tegangan ke *Shunttrip* untuk memerintahkan MCCB menjadi posisi open. Sensor suhu merupakan proteksi Cadangan pada OPTP (*Open Phase Transformator Protection*).

#### 2. Time Delay Relay (TDR)

*Time Delay Relay (TDR)* berfungsi menjeda sinyal trip pada MCCB agar tidak terjadi MCCB membuka tanpa ada penyebab gangguan (*malfunction relay*) pada saat terjadi hilang tegangan sesaat akibat switching di depan maupun gangguan lainnya

#### 3. MCCB dengan Shunt Trip Release

*Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)* yang sudah dirangkai dengan *Shunt trip* akan bekerja saat *Shunt trip* menerima sinyal tegangan dari sensor tegangan dan sensor Suhu. MCCB sebagai *Circuit Breaker* yang akan melepas beban trafo untuk mengamankan trafo, MCCB trip/ posisi open sebagai output hasil input dari semua sensor yang bekerja.

#### 4. Sistem Interlock

Sistem *Interlock* ini berfungsi sebagai pengaman trafo saat trafo masih dalam kondisi belum normal / belum siap operasi dibebani. Saat salah satu relay bekerja untuk memerintahkan MCCB trip/ open, baik itu relay *Phase Protection* atau *Thermal*, maka MCCB tidak bisa diposisikan *Close* sampai kedua relay tersebut berhenti mengirimkan sinyal gangguan.

Contoh kasus, apabila salah satu *Fuse Cut Out (FCO)* trafo 3 fasa putus, maka OPTP akan memerintahkan MCCB untuk *trip/ open*. MCCB ini tidak akan bisa diposisikan *close* sampai *Fuse Cut Out (FCO)* trafo tersebut sudah normal masuk ketiga pasanya.

#### 5. Sistem Informasi via SMS

Saat OPTP bekerja dan memerintahkan MCCB *trip/ open*, maka OPTP akan mengirimkan informasi melalui *short message service (SMS)* kepada nomor yang sudah diseting. PLN dapat mengetahui trafo mana yang padam atau terganggu tanpa menunggu informasi dari pelanggan. Saat MCCB dibuka secara manual sehingga posisi MCCB open, OPTP juga akan mengirimkan informasi melalui SMS.

### 3.3 Uji Tegangan Kerja Alat

#### Analisa Kenaikan Tegangan Akibat Open Phase

Relay *phase protection* sebagai relay utama penyusun OPTP (*Open Phase Transformer Protection*) yang dipakai memiliki 3 knob setting. Satu diantaranya adalah knob setting besar tegangan pada saat OPTP (*Open Phase Transformer Protection*) bekerja. Di bawah ini adalah analisa kenaikan arus pada transformator saat terjadi hilang tegangan satu dan atau dua fasa pada sisi primer nya yang dilaksanakan pada transformator tiga fasa di nomor tiang MJG03- 43- B35- U07- T04- U56 :

- a. Arus pada Transformator dalam kondisi normal (ketiga fasa *Fuse Cut Out* terpasang) pada Transformator 100 kVA dengan tegangan 380 volt mendapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3}} \quad I = \frac{100000}{380 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100000}{658,18} = 151,93 \text{ A}$$

- b. Arus pada Transformator dalam kondisi tidak normal (satu dari tiga fasa *Fuse Cut Out* dalam kondisi lepas) pada Transformator 100 kVA dengan tegangan 380 volt mendapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{2}} \quad I = \frac{100000}{380 \cdot \sqrt{2}} = \frac{100000}{537,4} = 186,08 \text{ A}$$

- c. Arus pada Transformator dalam kondisi tidak normal (dua dari tiga fasa *Fuse Cut Out* dalam kondisi lepas) pada Transformator 100 kVA dengan tegangan 380 volt mendapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{1}} \quad I = \frac{100000}{380 \cdot \sqrt{1}} = \frac{100000}{380} = 263,15 \text{ A}$$

Pada kondisi normal, arus yang mengalir pada transformator adalah 151,93 Ampere. Sedangkan pada kondisi tidak normal, yaitu saat FCO (*Fuse Cut Out*) dalam kondisi lepas satu, terjadi kenaikan arus menjadi 186,08 Ampere. Terlebih saat kondisi FCO (*Fuse Cut Out*) lepas dua dari tiga fasanya, arus naik menjadi 263,15 Ampere.

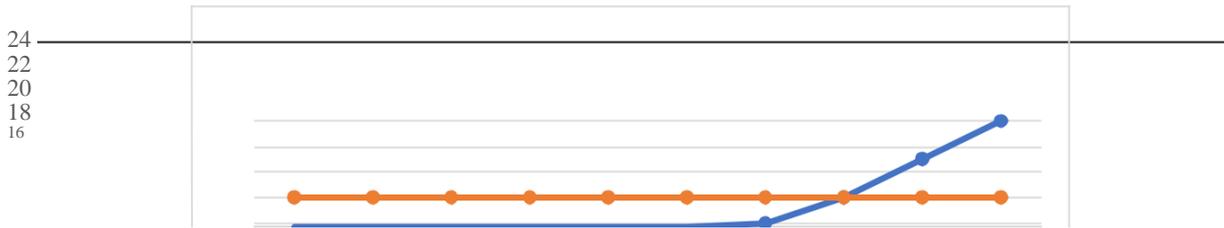
Relay *phase protection* yang digunakan pada OPTP (*Open Phase Transformer Protection*) dapat melepas MCCB (*Moulded Case Circuit Braket*) melalui shunt trip dengan settingan drop tegangan yang terjadi akibat kenaikan arus pada fasanya. Untuk setting drop tegangan dimana OPTP dapat bekerja, dapat kita lihat pada Tabel 1 Uji Karakter Tegangan OPTP di bawah ini :

**Tabel 1.** Uji Karakter Tegangan OPTP

Nomor	V (tegangan)	% Phase Protection bekerja
1	380	0
2	370	3
3	360	5
4	350	8
5	340	11
6	330	13
7	320	16
8	310	18
9	300	21
10	290	24

Grafik Uji Karakter Tegangan OPTP pada saat bekerja ditampilkan pada gambar 4 :

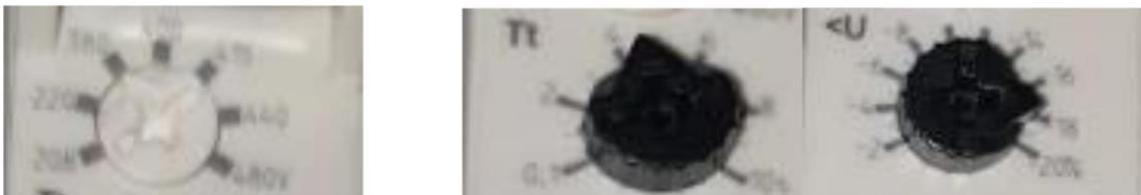
### Grafik Uji Karakter Tegangan OPTP



Gambar 4. Uji Karakter Tegangan OPTP

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) bekerja pada tegangan kerja 310 volt dan di bawahnya. Dimana saat tegangan berada diatas 310 volt alat tidak bekerja.

Dari data analisa dengan formula di atas, terjadi kenaikan Arus pada saat FCO (*Fuse Cut Out*) lepas pada salah satu fasa nya. Dan dari kenaikan Arus itulah terjadi ketidakseimbangan beban. OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) bekerja pada saat terjadi kenaikan Arus tersebut karena sesuai dengan posisi setting pada ketiga knob pada relay *phase protection* seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 5 Posisi knob setting relay Phase Failure

dari gambar di atas, diketahui bahwa knob pertama berada pada setting 380 volt, knob kedua berada pada posisi 4,5 seconds. Dan knob ketiga berada pada setting 18 % penurunan tegangan. Dari setting *relay phase failure* diatas dapat diketahui bahwa :

Tegangan saat arus naik sesuai formula diatas saat FCO (*Fuse Cut Out*) lepas satu :

$$V = \frac{P}{I \cdot \sqrt{3}} \quad V = \frac{100000}{186,08 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100000}{322,3} = 310 \text{ Volt}$$

Selisih tegangan normal dan abnormal = 380 volt – 310 volt = 70 volt

$$V = \frac{70 \text{ v}}{380} \times 100 \% = 0,18 \times 100 \% = 18 \%$$

Dengan penurunan tegangan yang dibaca *relay phase failure* sebesar 18% sesuai setingan knob ketiga, maka dapat dipastikan saat FCO (*Fuse Cut Out*) lepas satu, OPTP (*Open Phase Transformator Protection*) bekerja dengan melepas beban melalui MCCB (*Moulded Case Circuit Bracket*).

#### 3.3.1 Dampak karakter tegangan diatas 310 volt

Pada saat pengujian tegangan dilakukan dengan uji tegangan diatas 310 volt untuk memastikan dengan pengaturan knob di angka 18 % apakah berpengaruh terhadap kerja OPTP

(*Open Phase Transformator Protection*). Dengan nilai penurunan tegangan : Saat uji tegangan 320 volt

$$V = \frac{60 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,16 \times 100 \% = 16 \%$$

Saat uji tegangan 330 volt

$$V = \frac{50 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,13 \times 100 \% = 13 \%$$

Saat uji tegangan 340 volt

$$V = \frac{40 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,11 \times 100 \% = 11 \%$$

Saat uji tegangan 350 volt

$$V = \frac{30 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,08 \times 100 \% = 8 \%$$

Saat uji tegangan 360 volt

$$V = \frac{20 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,05 \times 100 \% = 5 \%$$

Saat uji tegangan 370 volt

$$V = \frac{10 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,03 \times 100 \% = 3 \%$$

Saat uji tegangan 380 volt

$$V = \frac{0 \text{ v}}{380 \text{ v}} \times 100 \% = 0,08 \times 100 \% = 0 \%$$

Hasil pengujian karakter tegangan kerja di atas 310 volt mendapatkan penurunan tegangan di bawah 18 % dimana OPTP tidak dapat bekerja.

### 3.4 Uji Fungsi Alat

**Uji Fungsi alat OPTP dilaksanakan pada alat yang terpasang pada nomor tiang MJG03-43-B35- U07- T04- U56 dengan langkah - langkah pengujian sebagai berikut :**

- Langkah pertama, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa R pada Trafo dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah kedua, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa S pada Trafo dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah ketiga, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa T pada Trafo dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah keempat, *Air Break Switch* (ABSW) sumber di MJG03-43-B35-U07-T04-U05 dilepas, yang artinya semua tegangan hilang bersamaan, dan MCCB tidak trip artinya **OPTP Tidak Bekerja.**
- Langkah kelima dilakukan dengan memberikan dummy kenaikan suhu pada sensor suhu hingga mencapai  $85^{\circ}$ , sensor *Thermal Relay* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah keenam, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa R pada percabangan 3 fasa dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah ketujuh, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa S pada percabangan 3 fasa dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**
- Langkah kedelapan, *Fuse Cut Out* (FCO) fasa T pada percabangan 3 fasa dilepas, sensor *Phase Protection* bekerja, dan MCCB trip artinya **OPTP Bekerja.**

Hasil Pengujian alat *Open Phase Transformator Protection* (OPTP) dapat dilihat pada tabel hasil 2 hasil pengujian berikut:

**Tabel 2.** Hasil Uji Fungsi OPTP**HASIL UJI FUNGSI OPTP**

No.	Tanggal	Input Jenis Pengujian	Sensor yang Bekerja	Hasil Uji	Output
1	14/11/2017	FCO Trafo pasa R dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip
2	14/11/2017	FCO Trafo pasa S dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip
3	14/11/2017	FCO Trafo pasa T dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip
4	14/11/2017	ABSW dilepas	tidak ada	OPTP tidak bekerja	MCCB tidak trip
5	14/11/2017	Memberi dummy kenaikan suhu	Thermal relay	OPTP bekerja	MCCB trip
6	14/11/2017	FCO Tap 3 pasa, pasa R dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip
7	14/11/2017	FCO Tap 3 pasa, pasa S dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip
8	14/11/2017	FCO Tap 3 pasa, pasa T dilepas	Phase protection	OPTP bekerja	MCCB trip

Dari tabel hasil pengujian lapangan diatas dapat disimpulkan bahwa OPTP (Open Phase Transformator Protection) dapat bekerja dengan baik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:  
*Open Phase Transformator Protection* (OPTP) bekerja pada pengaturan knob penurunan tegangan 18 %.

#### 5. SARAN

Open Phase Transformer Protection (OPTP) dapat dijadikan sebagai komponen standar yang terpasang di Box Low Voltage Circuit Braket (LVCB) Transformator untuk menyempurnakan kerja MCCB (Moulded Case Circuit Braket).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Angga Hidson Setiawan, 2016. *Monitoring Ketidakseimbangan Beban Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroller Dan Sms*.
- A.M. Putra, 2017. *Rancang Bangun Penyeimbang Arus Beban Pada Sistem 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroller Atmega 2560*. Bali: Universitas Udayana.
- Badaruddin Ir, MT, 2012. *Alat Deteksi Kehilangan Satu Fasa Pada Sistem Tiga Fasa*. Jakarta: Universitas Marcu Buana.
- PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan, 2011. *Materi Pembidangan SMK Bidang Operasi Distribusi, buku 1*, Jakarta: Pusdiklat PLN.
- Warsito, Adiwardojo dkk.1994.SPLN 95: 1985. *Transformator Dengan Pengamn Sendiri Fasa Tunggal Untuk Jaringan Sistem Fase-Tiga 4-Kawat .Perusahaan Umum Listrik Negara* : Jakarta
- Zainal, Abidin, 2010. *Metode Analisis Reduksi Arus Inrush Pada Transformator*, Lamongan: Jurnal Universitas Islam Lamongan.
- <http://cval-afdal.blogspot.co.id/2016/03/perbedaan-antara-mcb-dan-mccb.html>