

Analisis Pengujian Kelayakan PMT 150 kV Bay Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi

Adis Galih Firdaus^{1*}, Rahmat Hidayat²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. H.S Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Karawang 41361

*Corresponding Author, email: adis.galih17026@student.unsika.ac.id

Abstrak— Listrik merupakan sebuah energi yang sangat penting dalam segala aspek kehidupan masyarakat. PT. PLN (Persero) sebagai penyedia dan pemasok energi listrik di Indonesia tentunya dituntut untuk mensuplai kebutuhan listrik bagi masyarakat dengan baik. Salah satu upaya untuk melakukan hal tersebut adalah memastikan kelayakan dan keandalan pada peralatan yang digunakan dalam sistem transmisi tenaga listrik dengan melakukan pengujian dan pemeliharaan secara rutin. Peralatan yang berperan vital dalam sistem transmisi tenaga listrik adalah Pemutus Tenaga (PMT) karena fungsinya sebagai saklar mekanis digunakan untuk memutus aliran arus beban yang berperan penting ketika terjadi gangguan untuk melindungi peralatan lainnya dari kerusakan. Oleh karena itu keandalan dari PMT ini harus selalu terjaga. Dalam penelitian ini dilakukan empat kali pengujian pada kontak PMT 150 kV Mandirancan I dengan mengukur keserempakan waktu kerja kontak *open*, *close*, *reclose*, dan *OCO* (*Open - Close - Open*) menggunakan alat ukur *Breaker Analyzer*. Hasil pengujian menunjukkan adanya anomali dalam hal keserempakan kontakannya, di mana salah satu kontakannya bekerja lebih cepat saat menutup yang diakibatkan oleh tarikan motor yang lebih lama daripada kontak lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, direkomendasikan untuk melakukan pengaturan ulang pada *Motor Run Limit Switch* PMT agar lama waktu motor ketika bekerja serupa di semua kontakannya.

Kata Kunci: Transmisi Tenaga Listrik, Pemutus Tenaga, *Breaker Analyzer*, Keserempakan, Motor

Abstract— Electricity is an energy that is very important in all aspects of people's life. PT. PLN (Persero) as a provider and supplier of electrical energy in Indonesia, is absolutely required to supply electricity to the community properly. One of the efforts to do this is to ensure the appropriateness and reliability of the equipment used in the electric power transmission system by carrying out routine testing and maintenance. The equipment that plays a vital role in the electric power transmission system is the Circuit Breaker (CB) because it functions as a mechanical switch used to cut off the flow of the load current which plays an important role when a disturbance occurs to protect other equipment from damage. Therefore, the reliability of this CB must always be maintained. In this study, tests were carried out four times on the CB 150 kV Mandirancan I contacts by measuring the synchronization of working time for *open*, *close*, *reclose*, and *OCO* (*Open - Close - Open*) contacts using a *Breaker Analyzer* measuring instrument. The test results show an anomaly in terms of the synchronization of the contacts, where one of the contacts works faster when it closes due to the longer pull of the motor than the other contacts. To overcome this, it is recommended to reset the *Motor Run Limit Switch* PMT so that the length of time the motor works is similar in all of its contacts.

Keywords: Electric Power Transmission, Circuit Breaker, *Breaker Analyzer*, Simultaneous, Motor

© 2021 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sebuah energi yang belakangan ini telah menjadi kebutuhan utama bagi kehidupan masyarakat baik di perkotaan maupun di pedesaan, segala aspek mulai dari perekonomian, transportasi, industri, pendidikan, hingga perkembangan teknologi semuanya tak lepas dari masalah dalam penggunaan energi listrik tersebut [1]. Hampir semua peralatan pendukung kehidupan sehari – hari kita juga menggunakan energi listrik sebagai sumber suplai utamanya, sehingga tentunya kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik tersebut pasti akan terus meningkat [1]–[3]. Oleh karena itu, PT. PLN (Persero) selaku perusahaan utama penyedia dan pemasok energi listrik di Indonesia harus dapat bekerja mensuplai dengan baik kebutuhan energi listrik bagi masyarakat

pada umumnya [4]. Untuk memenuhi hal tersebut, maka dibangunlah sejumlah Pusat Pembangkit Listrik, Gardu Induk (GI), saluran transmisi dan saluran distribusinya sebagai media untuk menyalurkan aliran daya energi listrik hingga sampai pada masyarakat sebagai konsumennya [5].

Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem Transmisi Tenaga Listrik yang berperan untuk mengatur aliran daya listrik dan mentransformasikan tegangan yang datang dari Pusat Pembangkitan Listrik ke beberapa nilai tegangan yang diinginkan [10]. Untuk melakukan fungsinya tersebut, Gardu Induk ini dibantu oleh berbagai macam peralatan, baik itu peralatan primer maupun peralatan sekunder [6]

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam sebuah Gardu Induk (GI) adalah *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) [1]–[5]. CB atau PMT ini sangat penting peranannya karena PMT ini bekerja sebagai saklar mekanis yang harus dapat memutus aliran arus beban baik dalam kondisi normal maupun ketika terjadi gangguan pada saluran tenaga listrik sesuai dengan ratingnya yang berperan penting untuk melindungi peralatan lainnya dalam sistem transmisi di sebuah Gardu Induk [6]. Jadi ketika adanya sebuah gangguan seperti hubung singkat pada sistem transmisi di Gardu Induk, maka PMT akan bekerja membuka (*open*) kontakannya agar arus berlebih yang dihasilkan dari hubung singkat tersebut tidak sampai masuk merusak ke peralatan lainnya dalam sebuah *bay* (jalur) penghantar ataupun trafo [1]–[4], [6]. Oleh karena itu, apabila PMT sedang bermasalah dan kebetulan terjadi gangguan di sistem transmisinya, peralatan lainnya yang terdapat di dalam sebuah *bay* (jalur) tersebut dapat terkena dampak dari arus berlebih yang dihasilkan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut [1]–[4], [6]. Rusaknya peralatan dalam sebuah Gardu Induk tentunya dapat menyebabkan penyaluran dan distribusi tenaga listrik terganggu, dengan demikian PMT ini sangat penting untuk dirawat dan dipelihara secara rutin dengan cara melakukan serangkaian pengujian untuk menentukan kelayakan operasi kerja dari PMT tersebut, berdasarkan dari beberapa parameter pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditentukan [1], [5]–[7].

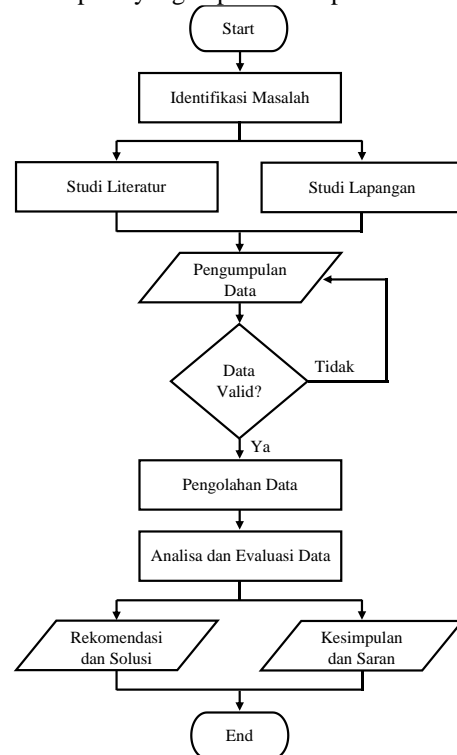
Sehubungan dengan hal tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan evaluasi dari pemeliharaan rutin PMT khususnya mengenai keserempakan waktu tiap kontak PMT ketika bekerja. PMT yang diuji terdapat di Gardu Induk Sunyaragi, tepatnya di *bay* (jalur) penghantar Mandirancan I 150 kV *single pole* yang telah beroperasi dari tahun 1997 dan merupakan salah satu Pemutus Tenaga (PMT) yang sudah terbilang cukup tua. Penelitian sebelumnya terkait dengan keserempakan seperti pada penelitian [5] memberikan gambaran pengujian yang dilakukan dengan alat ukur yang berbeda yaitu Programma TM1600 sementara pada penelitian [3] pengujian dilakukan dengan PMT 20 kV menggunakan alat ukur seri pertama dari CT-6500 sama halnya dengan yang dilakukan pada penelitian [4]. Oleh karena itu, Fokus evaluasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menganalisis kecepatan waktu kerja PMT 150 kV menggunakan sekumpulan data yang diambil berdasarkan nilai dari parameter yang dihasilkan oleh alat uji *breaker analyzer* seri terbaru yaitu CT-6500 Series 2 [8].

II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa metode dan tahapan penelitian yang dilakukan agar dapat menentukan kelayakan operasi dari sebuah PMT melalui sejumlah pengujian yang didasarkan pada keserempakan kontakannya. Adapun tahapan penelitian

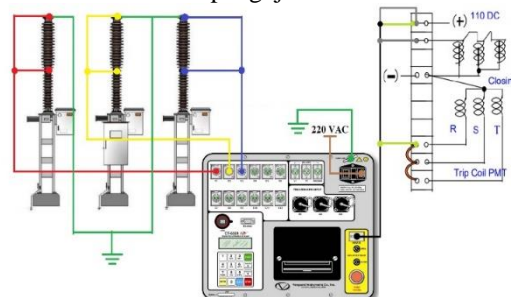
tersebut digambarkan ke dalam bentuk diagram alir penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Rangkaian Pengujian PMT Dengan Breaker Analyzer

Dalam melakukan pengukuran dan pengujian kecepatan waktu kerja dan keserempakan kontak pada PMT ini, alat ukur yang digunakan adalah *Digital Circuit Breaker Analyzer CT-6500 Series 2*. Alat ukur ini dibuat oleh pabrikan asal Ontario, California, Amerika Serikat yang bernama Vanguard Instruments Co., Inc [8]. *Breaker analyzer* ini dapat mengukur kecepatan waktu kerja kontak dan keserempakan dari sebuah PMT dengan cepat dan akurat tanpa memerlukan kalibrasi karena sudah terkalibrasi secara otomatis dari pabrikan [8]. Alat ini dapat mengukur dan menganalisis waktu kerja PMT ketika PMT *Open (trip)*, *Close (C)*, *Open–Close (O–C Reclose)*, *Close–Open (C–O)*, dan *Open–Close–Open (O–C–O)* [8]. Agar pengujian berjalan dengan baik, berikut skematik rangkaian pengujian pada Gambar 2 yang harus diikuti saat akan melakukan pengujian.



Gambar 2. Skematik Rangkaian Pengujian Waktu dan Keserempakan PMT [2]–[4], [8]

Jika dilihat dari skematik rangkaian pengujian, hal yang perlu dilakukan untuk menguji waktu kerja pada sebuah PMT yaitu memasang *grounding* lokal pada PMT dan alat ukur serta menghubungkan 3 buah *contact input* pada *breaker analyzer* (C1, C2, C3). Ketiga buah *contact input* tersebut dihubungkan pada masing – masing *pole* atas dan bawah PMT menggunakan kabel konektor kontak *pole* PMT di masing – masing fasanya. Berikutnya hubungkan kontak *initiate* pada alat ukur dengan *Tripping Coil* (TC), *Closing Coil* (CC), dan sumber tegangan positif 110 VDC pada *box* kontrol PMT dengan kabel konektor *initiate* untuk menghidupkan sehingga *breaker analyzer* dapat melakukan pengaturan buka tutupnya kontak PMT di tiap fasanya.

C. Spesifikasi PMT 150 kV Mandirancan I

PMT yang akan diuji dan dipelihara keserempakan kontakannya adalah PMT 150 kV *single pole* di bay (jalur) Mandirancan I di GI Sunyaragi yang dapat dilihat pada Gambar 3. Media pemadam busur api yang digunakan pada PMT tersebut adalah gas SF₆ (*Sulfur Heksafluorida*) dan menggunakan *spring* (pegas) sebagai mekanisme penggerak kontakannya.



Gambar 3. PMT 150 kV Single Pole Mandirancan I

Spesifikasi dari PMT yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

No	Spesifikasi	
1	Merk PMT	GEC ALSHTOM
2	Type	HGF 113/1B
3	Serial Number	2139184 – 1a/b/c
4	Tahun Pembuatan	1995
5	Tanggal Operasi	1 Januari 1997
6	Buatan	Australia
7	Rated Voltage (U)	170 kV
8	Rated Short Circuit Breaking Current (I _{sc})	40 kA
9	Rated Line Charging Breaking Current (I _c)	63 A
10	Rated Frequency (f)	50 Hz
11	Rated SF ₆ Gas Pressure for Interruption (pn)	420 kPa 20°C
12	Mass (m)	3x880 kg
13	Rated Lightning Imp. Withstand Voltage (U _w)	750 kV
14	Rated Normal Current (I _n)	3150 A
15	Rated Operating Sequence	O-0.3s-CO-3min-CO
16	Rated Duration of Short Circuit (I _{th})	40 kA 3 sec
17	Mass of SF ₆	3.0 kg/Pole
18	Rated Supply Voltage of Auxiliary Circuit	110 VDC

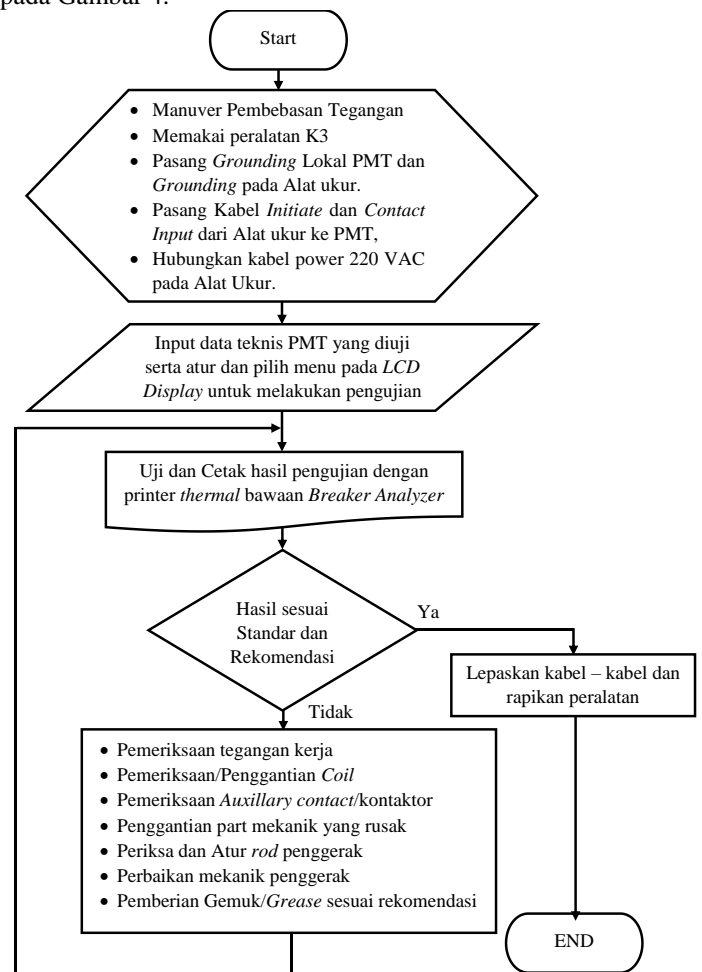
Berdasarkan tipe dan spesifikasi dari PMT 150 kV Mandirancan I ini, berikut beberapa standar waktu

kerja yang digunakan dengan batasan toleransi sebesar ±10 % yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Standar Pabrik GEC Alsthom				Standar PLN
Open (ms)	Close (ms)	Operating Sequence (OC/OCO)	Max. At (ms)	Clearing Time (ms)
28	150	300 ms	10	120
Contact Bounce (ms)				<10
Cycle				<1

D. Diagram Alir Pengujian Keserempakan Dengan Breaker Analyzer

Agar pengujian berjalan dengan baik, terdapat beberapa macam prosedur dan tahapan yang harus dilakukan seperti yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Pengujian Kecepatan dan Keserempakan Kerja PMT

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kecepatan waktu kerja dan keserempakan kontak PMT 150 kV Mandirancan I dilakukan dalam kondisi tidak bertegangan (*off line*) dengan menggunakan alat ukur *Digital Circuit Breaker Analyzer CT-6500 Series 2*. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali, di mana pada masing – masing pengujian dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali

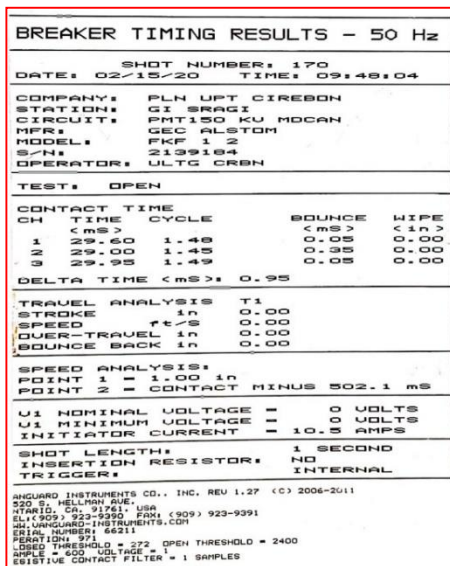
percobaan untuk kemudian di evaluasi menggunakan hasil percobaan dengan nilai pengukuran yang terbaik.

Adapun pengujian yang dilakukan antara lain:

- Pengujian kontak terbuka (*Open/Trip*).
- Pengujian kontak tertutup (*Close*).
- Pengujian kontak *Reclose (Open – Close)*.
- Pengujian kontak *Open – Close – Open (O – C – O)*.

A. Pengujian Waktu Kontak Terbuka (*Open/Trip*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat PMT bekerja dalam membuka kontakannya yang diukur dengan menggunakan *breaker analyzer*. Nilai waktu yang diperoleh di dapat dari perhitungan waktu kerja PMT ketika tombol “*Push to Arm*” pada *breaker analyzer* ditekan sampai dengan *moving contact* di dalam *interrupter chamber* PMT bergerak terlepas dari *fix contact* PMT tersebut sehingga kontak PMT terbuka dan terlepas dari beban. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Printout* Hasil Pengujian Waktu *Open* PMT 150 kV Mandirancan I

Jika dilihat dari hasil *printout* pengujian pada Gambar 5, berikut hasil rangkuman pengujian yang disajikan dalam Tabel 3.

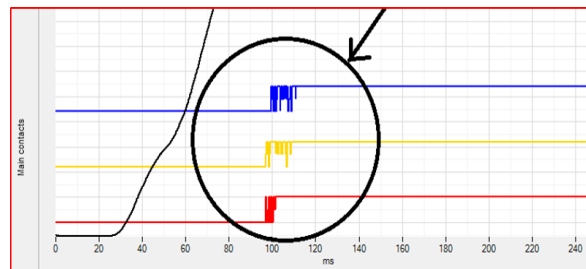
Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu *Open* PMT 150 kV Mandirancan I

Fasa	Contact Time (ms)	Contact Bounce (ms)	Cycle	Δt (ms)	Initiator Current (A)
R	29.60	0.05	1.48	0.95	10.5
S	29.00	0.35	1.45		
T	29.95	0.05	1.49		

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 3, diketahui waktu kerja kontak PMT yang diperoleh ketika membuka (*open*) pada fasa R adalah 29.60 ms, pada fasa S yaitu 29 ms, sedangkan pada fasa T adalah 29.95 ms. Ketiga nilai waktu kerja yang diperoleh dari pengujian tersebut masih dalam batas standar yang diizinkan berdasarkan standar dari pabrikan PMT GEC ALSTHOM, yaitu maksimal selama 28 ms dengan toleransi $\pm 10\%$. Sedangkan untuk perbedaan waktu dari selisih (deviasi) waktu kerja terbesar (Δt) dari tiap fasa

PMT tersebut adalah 0.95 ms. Deviasi waktu ini masih di bawah standar pabrikan dari PMT, yaitu ≤ 10 ms. Deviasi waktu (Δt) inilah yang menunjukkan serempak atau tidaknya PMT ketika bekerja, di mana semakin kecil selisih waktu kerja PMT di tiap fasanya, maka dapat dikatakan PMT tersebut semakin serempak.

Selain dapat mengetahui waktu kerja ketika PMT beroperasi, pengujian dengan *breaker analyzer* ini juga dapat mengetahui lama waktu *contact bounce* dan *cycle* pada PMT tersebut. *Contact bounce* disini adalah nilai parameter waktu yang terjadi ketika kontak PMT memantul (*bouncing*) sehingga kontak tersebut belum terhubung ataupun terlepas secara sempurna saat PMT bekerja membuka atau menutup kontakannya akibat gaya yang diberikan oleh mekanik penggerak PMT tersebut. Pengaruh dari waktu *contact bounce* yang tinggi dapat menyebabkan busur api yang tercipta akibat kedua kontak yang belum terhubung ataupun terlepas dengan sempurna semakin besar yang dikhawatirkan media pemadam dan isolasi pada PMT tidak cukup kuat untuk menahan dan memadamkan busur api tersebut. Hal ini juga dapat menciptakan lonjakan tegangan yang cukup tinggi ketika kontak belum terhubung dengan seutuhnya. Kondisi ketika *contact bounce* terjadi ditunjukkan pada Gambar 6.

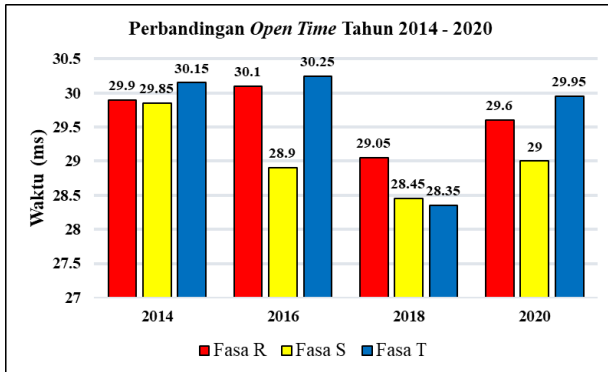


Gambar 6. Ilustrasi *Contact Bounce* Pada Diagram Pewaktu [11]

Contact bounce time pada saat pengujian waktu buka (*open*) pada fasa R didapatkan sebesar 0.05 ms, pada fasa S adalah 0.35 ms, dan pada fasa T yaitu 0.05 ms. Jika dilihat dari nilai waktu yang dihasilkan, *contact bounce* yang terjadi pada saat membuka kontakannya memiliki nilai yang sangat kecil jika dibandingkan dengan standar ≤ 10 ms pada Tabel 2. Hal ini dikarenakan cepatnya PMT ketika bekerja membuka kontakannya seperti yang ditunjukkan pada data hasil pengujian dalam Tabel 3.

Nilai *cycle* pada hasil pengujian merupakan *cycle* (siklus gelombang) ketika PMT tersebut bekerja membuka atau menutup ketiga fasa kontakannya hingga beban terhubung atau terputus sepenuhnya. Nilai *cycle* ini tidak diperbolehkan memiliki perbedaan (deviasi) lebih dari satu *cycle* yang dihitung dari selisih nilai antara *cycle* tertinggi dan terendah dari ketiga fasa tersebut. Dalam melakukan pengujian, *breaker analyzer* menggunakan prinsip injeksi arus dan besarnya arus yang diinjeksikan pada *coil* PMT melalui kabel konektor *initiate* adalah 10.5 A.

Jika hasil pengujian dibandingkan dengan trend tiga kali pemeliharaan pada tahun sebelumnya, didapat perbandingan nilai waktu kerja seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Waktu Kerja PMT Membuka Kontak

Jika dilihat dari grafik pengujian pada Gambar 7, untuk waktu kerja dan keserempakan ketika PMT 150 kV Mandirancan I membuka kontakannya, waktunya masih cukup baik dan sesuai dengan trend tiga kali pemeliharaan dua tahunan serta standar dari pabrikan pembuat PMT tersebut dan juga dari SPLN itu sendiri.

B. Pengujian Waktu Kontak Tertutup (Close)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu kerja dan keserempakan PMT ketika menutup ketiga fasa kontakannya. Hasil pengujian ini diperoleh dari perhitungan *breaker analyzer* ketika tombol "Push to Arm" ditekan sampai dengan *moving contact* di dalam *interrupter chamber* PMT bergerak dan terhubung dengan stabil pada *fix contact* dari PMT tersebut. Berdasarkan standar SPLN, batas maksimal waktu kerja PMT untuk PMT 150 kV Mandirancan I ketika melakukan proses penutupan kontakannya adalah 150 ms. Berikut hasil *printout* pengujian waktu tutup (*close*) yang diperoleh saat pemeliharaan PMT 150 kV Mandirancan I yang ditunjukkan pada Gambar 8.

BREAKER TIMING RESULTS - 50 Hz				
SHOT NUMBER: 169				
DATE: 02/15/20 TIME: 09:46:57				
COMPANY: PLN UPT CIREBON				
STATION: GI BRACI				
CIRCUIT: PMT150 KU MDCAN				
MFR: GEC ALSTOM				
MODEL: FKF 1 2				
S/N: 2139184				
OPERATOR: ULTG CRBN				
TEST: CLOSE				
CH	CONTACT TIME <ms>	CYCLE	BOUNCE <ms>	WIPE <in>
1	146.50	7.32	6.80	0.00
2	126.15	6.30	6.10	0.00
3	148.20	7.41	7.80	0.00
DELTA TIME (ms): 22.05				
TRAVEL ANALYSIS T1				
STROKE	in	0.00		
SPEED	ft/s	0.00		
OVER-TRAVEL	in	0.00		
BOUNCE BACK	in	0.00		
SPEED ANALYSIS:				
POINT 1	=	1.00 in		
POINT 2	=	5.00 in		
U1 NOMINAL VOLTAGE	=	0 VOLTS		
U1 MINIMUM VOLTAGE	=	0 VOLTS		
INITIATOR CURRENT	=	8.7 AMPS		
SHOT LENGTH: 1 SECOND				
INSERTION RESISTOR: NO				
TRIGGER: INTERNAL				

Gambar 8. *Printout* Hasil Pengujian Waktu *Close* PMT 150 kV Mandirancan I

Seperti yang dapat dilihat dari Gambar 8, didapat beberapa parameter pengujian PMT yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu *Close* PMT 150 kV Mandirancan I

Fasa	Contact Time (ms)	Contact Bounce (ms)	Cycle	Δt (ms)	Initiator Current (A)
R	146.50	6.80	7.32	22.05	8.7
S	126.15	6.10	6.30		
T	148.20	7.80	7.41		

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4, diketahui bahwa hasil pengujian kecepatan waktu kerja kontak ketika menutup (*close*) kontak pada fasa R, S, dan T berturut – turut adalah 146.50 ms, 126.15 ms, dan 148.20 ms. Hasil waktu kerja tersebut masih dalam batas normal dan tidak melebihi besarnya waktu kerja yang telah ditentukan oleh pabrikan ataupun PLN itu sendiri. Namun, untuk perbedaan (deviasi) waktu terbesar yang dimiliki oleh tiap kontak tersebut ketika menutup adalah 22.05 ms, di mana nilai ini melebihi dari deviasi waktu terbesar yang diijinkan oleh pabrikan PMT 150 kV Mandirancan I yaitu ≤ 10 ms.

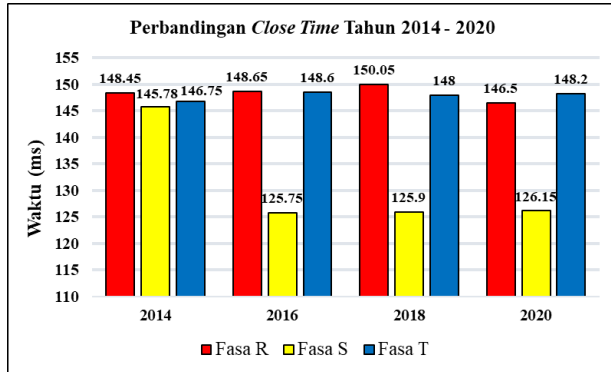
Dampak yang ditimbulkan dari deviasi waktu yang besar ini dapat menyebabkan kerusakan pada bagian dalam *interrupter* PMT karena timbulnya busur api yang terlalu besar ketika waktu kerja kontak lambat dan jika terlalu cepat dapat merusak bagian *fix contact* maupun *moving contact* PMT akibat kekuatan yang diberikan oleh pegas terlalu besar. Hal ini pun dapat juga menyebabkan pembebanan berlebih pada salah satu fasa yang anomali sehingga dapat mengurangi masa umur pakai peralatan. Jika PMT tidak serempak dapat juga menimbulkan pergeseran titik netral apabila deviasi waktu kerja PMT terlalu besar.

Kontak yang bekerja terlalu cepat, maupun terlalu lambat dapat mempengaruhi besarnya nilai *cycle* pada tiap kontak PMT tersebut ketika bekerja sehingga tidak baik pada keberlangsungan penyaluran tenaga listrik yang mengalir melalui PMT tersebut. Pada kasus PMT 150 kV Mandirancan I ini, perbedaan nilai *cycle* tertinggi terdapat antara fasa S dengan fasa T yang berbeda 1.11 *cycle*. Perbedaan nilai *cycle* yang dimiliki oleh PMT tersebut telah melewati perbedaan nilai *cycle* yang diijinkan pada sistem penyaluran tenaga listrik, yaitu satu *cycle*. Maka dari itu perbedaan nilai waktu kerja ketika menutup kontak pada PMT ini harus segera diperbaiki sesuai dengan rekomendasi dari PLN, berdasarkan permasalahan yang menyebabkan temuan pada anomali waktu tersebut.

Untuk waktu *contact bounce* pada ketiga fasanya, yaitu fasa R selama 6.80 ms, pada fasa S selama 6.10 ms, dan pada fasa T selama 7.80 ms. Besarnya nilai waktu *contact bounce* yang disarankan untuk PMT ini adalah tidak lebih dari 10 ms, oleh karena itu, hal ini menunjukkan bahwa besarnya *contact bounce time* pada PMT ini telah sesuai dengan rekomendasi waktu

yang diberikan. Besarnya injeksi arus yang diberikan oleh alat ukur pada *closing coil* PMT untuk melakukan melakukan pengujian waktu kerja ketika PMT menutup kontaknya adalah sebesar 8.7 Amper.

Jika data hasil pengujian dibandingkan dengan trend tiga kali pemeliharaan dua tahunan, dari tahun 2014 – 2018, maka dapat menghasilkan bentuk grafik seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Waktu Kerja PMT Menutup Kontak

Jika dilihat pada grafik Gambar 9, dapat diketahui ternyata anomali perbedaan deviasi waktu yang besar ini telah terjadi dari empat tahun sebelumnya, yaitu pada tahun 2016. Pada tahun 2014 besarnya deviasi waktu di tiap fasanya masih normal, dan baru terjadi pada tahun 2016. Hal ini menyebabkan nilai waktu kerja pada fasa S menjadi lebih cepat ± 23 ms dari kedua fasa lainnya sehingga menyebabkan deviasi waktu yang dimiliki oleh PMT tersebut melebihi batas standar dari pabrikan PMT GEC ALSHTOM. Dalam kasus ini sebaiknya PMT tersebut harus segera dilakukan perbaikan ataupun penggantian unit PMT dengan yang baru agar tetap dapat menjaga kualitas dan kontinuitas dalam proses penyaluran tenaga listrik.

C. Pengujian kontak Reclose (Open – Close)

Pada pengujian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui kecepatan waktu kerja dan keserempakan kontak PMT ketika PMT bekerja untuk *reclose* (buka tutup) kontak pada tiap fasanya. Lamanya waktu kerja kontak PMT *reclose* ini diperoleh dari perhitungan saat PMT dalam kondisi *close* dan tombol “Push to Arm” pada alat ukur ditekan sehingga menyebabkan kontak PMT terbuka dengan cepat dan sesaat setelah kontak PMT terbuka, kemudian diikuti dengan proses penutupan kembali kontak PMT tersebut hingga kondisi *moving contact* dan *fix contact* pada PMT benar – benar terhubung satu sama lainnya. Data hasil pengujian kontak *reclose* ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Waktu Reclose PMT 150 kV Mandirancan I

Fasa	Contact Reclose Time (ms)	Contact Bounce (ms)	Contact Dead Time (ms)	Cycle	Δt (ms)
R	205.05	7.50	175.35	10.25	23.50
S	184.40	6.15	154.75	9.22	
T	207.90	7.60	178.00	10.39	
Initiator Current (A)				10.5	

Untuk *printout* hasil pengujian yang dihasilkan oleh *breaker analyzer* dapat dilihat pada Gambar 10.

BREAKER TIMING RESULTS - 50 Hz			
SHOT NUMBER: 167			
DATE: 02/15/20 TIME: 09:42:05			
COMPANY: PLN UPT CIREBON			
STATION: GI SRAGI			
CIRCUIT: PMT150 KU MDCAN			
MFR: GEC ALSTOM			
MODEL: PKF 1.2			
S/N: 2139184			
OPERATOR: ULTG CRBN			
TEST: OPEN - CLOSE			
CONTACT OPEN TIME			
CH	TIME (ms)	CYCLES	BOUNCE (ms)
1	29.70	1.48	0.05
2	29.65	1.48	0.05
3	29.90	1.49	0.05
CONTACT RECLOSE TIME			
CH	TIME (ms)	CYCLES	BOUNCE (ms)
1	205.05	10.25	7.50
2	184.40	9.22	6.15
3	207.90	10.39	7.60
CONTACT DEAD TIME			
CH	TIME (ms)	CYCLES	
1	175.35	6.75	
2	154.75	7.75	
3	178.00	8.90	
PEAK TO PEAK TRAVEL (in)			
T1	0.00		
U1 NOMINAL VOLTAGE = 0 VOLTS			
U1 MINIMUM VOLTAGE = 0 VOLTS			
INITIATOR CURRENT = 10.5 AMPS			
SHOT LENGTH: 1 SECOND			
INSERTION RESISTOR: NO			
TRIGGER: INTERNAL			
DELAY: 60 ms			

Gambar 10. Printout Hasil Pengujian Waktu Reclose PMT 150 kV Mandirancan I

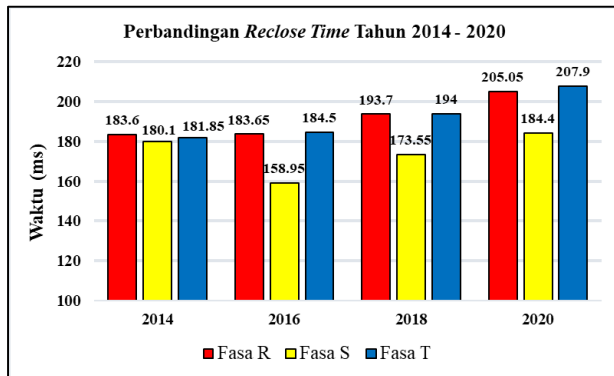
Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 5, dengan masukan *initiator current* sebesar 10.5A, diketahui lamanya waktu kerja PMT ketika *reclose* pada fasa R yaitu 205.05 ms, pada fasa S selama 184.40 ms, dan yang terakhir pada fasa T yaitu selama 207.90 ms. Jika mengacu pada standar yang telah ditetapkan dari “*Rated Operating Sequence*” yang terdapat pada spesifikasi teknis PMT 150 kV Mandirancan I, lamanya waktu kerja kontak PMT pada masing - masing fasanya untuk melakukan operasi kerja *reclose* masih berada di bawah nilai waktu standar yang diijinkan, yaitu ≤ 300 ms.

Seperti yang dapat dilihat dari deviasi jumlah *cycle* terbesar yang terjadi pada pengujian waktu kerja kontak *reclose* ini adalah 1.17 *cycle*, yang mana jumlah ini telah melebihi nilai standar yang ditentukan, yaitu satu *cycle*. Untuk lamanya waktu *contact bounce* yang terjadi pada masing – masing kontak pada PMT Mandirancan I secara berturut – turut adalah 175.35 ms untuk fasa R, 154.75 ms untuk fasa S, dan 7.60 ms untuk fasa T.

Selain beberapa parameter yang telah disebutkan sebelumnya, terdapat parameter nilai baru yang bernama *contact dead time*. Maksud dari *contact dead time* ini adalah waktu tunda (jeda) yang dibutuhkan oleh PMT sesaat setelah PMT melakukan operasi kerja untuk membuka kontaknya hingga media pemadam dan isolasi pada PMT dapat memadamkan busur api yang timbul akibat kontak yang terbuka, sebelum PMT dapat kembali melakukan proses penutupan kontaknya. Pada pengujian ini didapati lamanya waktu *contact dead time* pada tiap kontakya yaitu, pada fasa R selama 175.35 ms, fasa S 154.75 ms, dan pada fasa T selama 178.00 ms.

Jika data hasil pengujian dibandingkan dengan trend tiga kali pemeliharaan dua tahunan pada tahun

2014 – 2018 sebelumnya, didapati grafik hasil perbandingan waktu kerja PMT pada saat *reclose* yang nampak seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Waktu Kerja PMT Ketika *Reclose* Kontak

Jika dilihat pada grafik Gambar 11, terlihat bahwa pada tahun 2014 waktu kerja *reclose* pada PMT Mandirancan I dapat dikatakan masih dalam kondisi yang baik, karena pada saat itu waktu kerja kontak fasa S ketika menutup kontakannya masih dalam kondisi yang normal dan baru mulai dari tahun 2016 terdapat perbedaan waktu kerja *reclose* yang besar karena fasa S bekerja lebih cepat daripada kedua fasa lainnya.

D. Pengujian kontak Open – Close – Open (O – C – O)

Pada pengujian ini dilakukan percobaan pengujian untuk mengetahui waktu kerja dan keserempakan kontak PMT ketika bekerja untuk *reclose* kontakannya yang kemudian diikuti dengan pembukaan kembali kontakannya. Jadi, dalam pengujian ini kontak PMT akan bekerja sebanyak tiga kali, yaitu pada saat posisi awal pengujian, kontak PMT bekerja membuka kontakannya lalu setelah beberapa saat kontak PMT tersebut menutup kembali, pada saat kontak PMT telah tertutup dan terhubung dengan baik, kemudian kontak PMT tersebut akan kembali bekerja untuk membuka kontakannya dengan cepat. Data hasil pengujian yang diperoleh dari lamanya waktu kerja OCO ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Waktu OCO PMT 150 kV Mandirancan I

Fasa	Contact OCO Time (ms)	Contact Dead Time (ms)	Contact Live Time (ms)	Cycle	Δt (ms)
R	277.20	175.30	72.40	13.86	50.15
S	233.75	154.90	49.20	11.68	
T	283.90	178.35	75.80	14.19	
Initiator Current (A)					10.5

Untuk hasil *printout* pengujian yang dihasilkan oleh *breaker analyzer* dari waktu kerja OCO pada PMT Mandirancan I ini dapat dilihat pada Gambar 12.

BREAKER TIMING RESULTS - 50 Hz			
SHOT NUMBER: 166			
DATE: 02/19/20 TIME: 09:45:36			
COMPANY: FLN UPT DIREBON			
STATION: GI BRAGI			
CIRCUIT: PMT150 KU MOCAN			
MFR: GEC ALSTOM			
MODEL: PKF 1.2			
S/N: 2199184			
OPERATOR: ULTG CRBN			
TEST: OPEN-CLOSE-OPEN			
CONTACT OPEN TIME #1			
CH	TIME	CYCLES	BOUNCE
	<ms>		<ms>
1	29.50	1.47	0.05
2	29.65	1.48	0.05
3	29.75	1.48	0.05
CONTACT RECLOSE TIME			
CH	TIME	CYCLES	BOUNCE
	<ms>		<ms>
1	204.80	10.24	7.30
2	184.55	9.22	5.40
3	208.10	10.40	7.40
CONTACT OPEN TIME #2			
CH	TIME	CYCLES	BOUNCE
	<ms>		<ms>
1	277.20	10.86	0.05
2	233.75	11.68	0.10
3	283.90	14.19	0.05
CONTACT DEAD TIME			
CH	TIME	CYCLES	
	<ms>		
1	175.30	5.75	
2	154.90	7.74	
3	178.35	6.91	
CONTACT LIVE TIME			
CH	TIME	CYCLES	
	<ms>		
1	72.40	3.62	
2	49.20	2.46	
3	75.80	3.79	
PEAK TO PEAK TRAVEL <in>			
T1	0.00		
U1 NOMINAL VOLTAGE	0 VOLTS		
U1 MINIMUM VOLTAGE	0 VOLTS		
INITIATOR CURRENT	10.5 AMPS		
SHOT LENGTH	1 SECOND		
INSERTION RESISTOR	INTERNAL		
TRIGGER	60 MS		
O-C DELAY	60 MS		
C-O DELAY	60 MS		

Gambar 12. Printout Hasil Pengujian Waktu OCO PMT 150 kV Mandirancan I

Berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh pada Tabel 6, dapat diketahui lamanya waktu kerja OCO untuk fasa R adalah sebesar 277.20 ms, pada fasa S yaitu 233.75 ms, dan pada fasa T selama 283.90 ms dengan deviasi waktu tertinggi selama 50.15 ms. Nilai deviasi waktu yang terjadi pada saat OCO tersebut terbilang sangat besar sehingga deviasi *cycle* pada PMT pun ikut membesar hingga mencapai 2.51 *cycle*. Penyebab besarnya deviasi waktu ini tentunya disebabkan oleh waktu kerja pada fasa S yang terlalu cepat dibandingkan dengan yang lainnya, walaupun jika dibandingkan hasil perolehan waktu kerja pada saat OCO ini dengan batas standar waktu maksimum yang diijinkan, waktu kerja pada pengujian ini masih dibawah batas yang diijinkan yaitu ≤ 300 ms.

Lamanya waktu *contact dead time* pada saat pengujian menghasilkan nilai waktu kerja untuk fasa R selama 175.30 ms, pada fasa S selama 154.90 ms, dan pada fasa T terjadi selama 178.35 ms. Sedangkan untuk waktu *contact live time* yang didapat yaitu 72.40 ms pada fasa R, 49.20 ms pada fasa S, dan 75.80 ms pada fasa T. Maksud dari *contact live time* disini adalah lamanya waktu tunda (jeda) yang dibutuhkan oleh PMT untuk membuka kontakannya kembali sesuai setelah PMT baru selesai melakukan penutupan kontak sebelumnya.

Pada pemeliharaan dan pengujian waktu OCO ini, data hasil pengujian tidak dibandingkan dengan trend tiga kali pemeliharaan dua tahunan yang lalu, karena dari tahun 2014 – 2018, tidak dilakukan pengujian waktu kerja OCO pada PMT Mandirancan I.

E. Rekomendasi dan Solusi Temuan Anomali Waktu Tutup Kontak PMT

Dalam kasus PMT Mandirancan I, diketahui anomali besarnya selisih waktu kerja kontak PMT yang melebihi dari nilai standar yang ditentukan dan juga hasil waktu kerja kontak PMT pada fasa S yang terlalu cepat dibandingkan dengan kedua kontak pada fasa lainnya ketika melakukan operasi kerja untuk menutup kontak yang menyebabkan besarnya selisih deviasi waktu kerja pada PMT Mandirancan I tersebut.

Permasalahan waktu yang terlalu cepat ini biasanya muncul akibat kekuatan mekanik penggerak yang diberikan pada kontak PMT terlalu kuat sehingga kerja kontak menjadi lebih cepat daripada yang seharusnya. Waktu kerja kontak yang terlalu cepat ini juga tidak baik karena dapat merusak kontak gerak dari PMT tersebut akibat dari hantaman yang terjadi pada kontak terlalu keras dan tidak sesuai standar, tentunya hal ini dapat mengurangi umur masa pakai dari PMT tersebut.

Dalam kasus PMT Mandirancan I ini ketika dilakukan investigasi penyebab dari permasalahan ini, ditemukan bahwa pada saat *spring* (pegas) PMT tersebut sedang melakukan pengisian ulang oleh motor di *box* kontrol PMT agar kembali ke kondisi *spring full charge* untuk melakukan proses penutupan kontak pada PMT tersebut, ternyata motor yang terdapat pada *box* kontrol PMT di kontak fasa S melakukan pengisian dengan waktu pengisian motor yang lebih lama dari kedua motor pada fasa lainnya, sehingga otomatis kekuatan mekanik penggerak dari *spring* (pegas) yang dimiliki oleh kontak PMT pada fasa S ketika menutup kontak menjadi lebih kuat daripada kedua kontak pada fasa lainnya.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut, direkomendasikan untuk melakukan penyetelan ulang dari *motor run limit switch* yang dimiliki oleh PMT tersebut, karena komponen ini merupakan sebuah saklar mekanis yang memiliki peran untuk memutuskan aliran listrik pada motor penggerak pegas saat sedang melakukan pengisian mekanik penggerak secara otomatis ketika kondisi pegas sudah dalam keadaan *full charge*. Dalam kasus PMT Mandirancan I ini karena pengaturan dari *limit switch* pada fasa S berbeda dengan fasa R dan T, maka perlu dilakukan pengaturan kembali pada *gear* penggerak yang menggerakkan tuas pada *limit switch* tersebut agar waktu ketika tuas mengaktifkan *motor run limit switch* pada PMT serupa dengan waktu kontak pada fasa lainnya, sehingga mekanik penggerak *spring* (pegas) pada tiap kontak memiliki kekuatan dan lama waktu pengisian pegas oleh motor yang sama.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, diketahui bahwa waktu kerja kontak PMT ketika membuka kontak masih dalam kondisi yang baik dan sesuai dengan standar pabrikan PMT GEC ALSHTOM, namun saat pengujian untuk menutup kontak, ternyata PMT Mandirancan I ini memiliki permasalahan anomali deviasi waktu yang cukup besar melebihi dari nilai standar yang ditentukan. Anomali deviasi waktu yang besar ini disebabkan karena perbedaan lamanya waktu pengisian ulang pegas pada kontak oleh motor penggerak pegas di fasa S yang menyebabkan ketika kontak menutup kekuatan pegas pada fasa S menjadi lebih kuat dari kedua kontak lainnya karena pengisiannya yang lebih lama sehingga waktu kerja pada fasa S menjadi lebih cepat. Untuk mengatasi hal ini, direkomendasikan untuk melakukan perbaikan dan pengaturan ulang *motor run limit switch* pada PMT tersebut agar dapat memutuskan aliran listrik ke motor di waktu yang serupa dengan fasa lainnya sehingga mekanik penggerak pegas pada tiap fasanya memiliki kekuatan yang sama dan kontak dapat kembali bekerja secara serempak.

REFERENSI

- [1] D. Aribowo et al., "Analisis Hasil Uji PMT 150 kV pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1," FORTEL, pp. 59–65, 2018.
- [2] A. S. Pambudi, "Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) Three Pole 150 kV Bay Trafo Gardu Induk Simulator Udiklat Semarang (TLM Academy)," *J. Tek. Elektro*, p. 4, 2014.
- [3] P. Nur and B. Winardi, "PENGUJIAN KESEREMPAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 20 KV DI GARDU INDUK 150 kV PURBALINGGA PT. PLN (PERSERO)," no. 024, pp. 1–8, 2018.
- [4] E. YULIANTO, "Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga 150 kV di Bay Cep 1 Dan 2 Gardu Induk Sunyaragi PT. PLN (Persero) APP Cirebon," 2017.
- [5] A. Goeritno, S. Rasiman, and Z. Komara, "Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF₆ Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri," *Eeccis*, vol. 12, no. 2, pp. 104–111, 2018.
- [6] S. Robaga, A. Setyo, I. Samsu, and E. Al, "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga," *PT. PLN*, pp. 1–61, 2009.
- [7] R. L. Imani, S. Suprijadi, and A. Siswanto, "ANALISIS HASIL OVER HOUPEL PEMUTUS TENAGA (PMT) 70KV PADA BAY ARJAWINANGUN 2 DI PT PLN PERSERO APP CIREBON GI KADIPATEN," *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 618–625, 2018.
- [8] Vanguard, "Operating Instructions for the CT-6500 Series 2," 2008.
- [9] Alstom, "Operating Instructions No. 195 A (EN)," vol. 248, no. 195, pp. 1–128, 2005.
- [10] PT. PLN (Persero). 2014, Buku Petunjuk Gardu Induk, SE No.0520-2.K/DIR/2014, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [11] A. Secic and B. Milovic, "Dynamic Resistance Measurement method applying high DC current," *CEATI Circuit Breaker Circuit Breaker Test & Maintenance WS*, 2014.