

HUBUNGAN POWER FAKTOR ISOLASI TERHADAP KEMAMPUAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA 150/20 KV

Mujiman¹, Aru Purba Ardian Niagara²
^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, IST AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak 28, Komplek Balapan, Yogyakarta 55222
Email: ¹mujimanst@gmail.com, ²araikuchi@yahoo.com

Masuk: 1 Maret 2017, Revisi masuk: 10 Juli 2017, Diterima: 28 Juli 2017

ABSTRACT

Isolation transformer is a critical part of the power transformer, insulation deterioration or failure can cause failure of the operation or even damage the transformer. One method to determine the condition of the insulation is by testing with test equipment tangent delta 4000. In a study conducted, will be testing three-winding transformer isolation using test equipment delta 4000, function test equipment delta 4000 to measure the deterioration of the insulation used as insulating oil, paper and ceramics by measuring the power factor. After testing the insulation transformer three windings using test equipment delta 4000, the test result data was analyzed by comparing the value of the power factor of the standard manufacturer with test results using test equipment delta 4000, when comparing the results are the increase in the value of the power factor in data from tests conducted but the increase in the value of the power factor being tested is still on alert limits because some relationships insulation in the test value exceeds > 0.5 of the standard manufacturer is 0.2. However, these data need to be considered further because the value of the power factor should not be more than one.

Keywords: transformer, isolation, deterioration, tangent delta 4000.

INTISARI

Isolasi trafo merupakan bagian yang kritis pada transformator tenaga, pemburukan atau kegagalan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi atau bahkan kerusakan trafo. Salah satu metode untuk mengetahui kondisi kemampuan isolasi adalah dengan melakukan pengujian dengan alat uji tangen delta 4000. Dalam penelitian yang akan dilakukan, akan dilakukan pengujian isolasi transformator tiga belitan menggunakan alat uji delta 4000, alat uji delta 4000 berfungsi untuk mengukur pemburukan pada isolasi yang digunakan seperti isolasi minyak, kertas dan keramik dengan cara mengukur faktor daya. Setelah melakukan pengujian isolasi pada transformator tiga belitan menggunakan alat uji delta 4000, data hasil uji di analisa dengan membandingkan nilai faktor daya dari standard pabrikan dengan hasil pengujian menggunakan alat uji delta 4000, ketika membandingkan hasil terdapat kenaikan nilai faktor daya pada data hasil uji yang dilakukan namun kenaikan nilai faktor daya yang diuji masih pada batas peringatan karna beberapa hubungan isolasi yang di uji nilainya melebihi >0,5 dari standard pabrikan yaitu 0,2. Namun data tersebut perlu diperhatikan lebih lanjut karna nilai power faktor tidak boleh lebih dari 1.

Kata kunci: transformator, isolasi, pemburukan, tangen delta 4000.

PENDAHULUAN

Tenaga listrik telah menjadi kebutuhan penting bagi masyarakat Indonesia, khususnya yang berada di daerah perkotaan. Semakin hari kebutuhan masyarakat semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh pertumbuhan ekonomi dan industri yang semakin pesat. Untuk

menyalurkan ratusan kilo volt tegangan listrik secara efisien pada saluran yang sangat panjang diperlukan tegangan tinggi sebesar 150 kV atau 500 kV. Tegangan ini akan masuk terlebih dahulu ke Gardu Induk (GI). Fungsi lain dari GI adalah untuk menerima dan menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke

konsumen. Daya listrik yang terkumpul pada GI berkapasitas besar, untuk menjaga kehandalan, kualitas dan mutu listrik, salah satu alat tersebut yaitu transformator tenaga.

Transformator tenaga merupakan peralatan utama dalam sistem penyaluran tenaga listrik, salah satu bagian paling kritis dari transformator tenaga adalah isolasi transformator. Isolasi transformator dapat berupa isolasi kertas, minyak, dan keramik. Seiring dengan usia operasi transformator, maka kondisi isolasi dapat mengalami pemburukan, hal ini dapat disebabkan karena tegangan lebih, suhu operasi yang tinggi, *hotspot*, korona, kontaminasi, kerusakan mekanis maupun kelembaban. Pemburukan atau kegagalan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi atau bahkan kerusakan transformator, karena itu diperlukan untuk mengetahui proses pemburukan pada isolasi sehingga kegagalan transformator dalam beroperasi dapat dihindarkan. Salah satu metode untuk mengetahui proses pemburukan isolasi adalah dengan pengujian tangen delta.

GI merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi distribusi listrik, di mana GI adalah suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan control. Menurut Marsudi (2006) GI disebut juga gardu unit pusat beban, yang merupakan gabungan dari transformator dan rangkaian *switchgear* yang tergabung dalam satu kesatuan melalui sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional.

Di dalam peralatan GI yang terpasang, transformator tenaga adalah bagian terpenting yang memiliki prinsip kerja berdasarkan hukum ampere dan faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberikan arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet akan berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi.

Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah juga. Maka disisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara kedua ujung terdapat beda tegangan (Sandewa, 2013).

Sifat Isolasi yang baik akan bersifat kapasitif yang berada diantara dua elektroda pada sebuah kapasitor. Pada kapasitor sempurna, tegangan dan arus fasa bergeser 90° dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Jika ada *defect* atau kontaminasi pada isolasi, maka nilai tahanan dari isolasi berkurang dan berdampak kepada tingginya arus resistif yang melewati isolasi tersebut. Isolasi tersebut tidak lagi merupakan kapasitor sempurna, contohnya sebuah isolator.

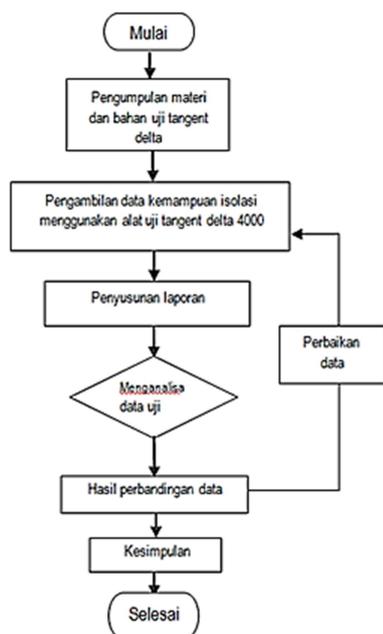
Tegangan dan arus tidak lagi bergeser 90° tapi kurang dari 90° . Besarnya selisih pergeseran dari 90° merepresentasikan tingkat kontaminasi pada isolasi (PT. PLN, 2015). Apabila pada isolasi tersebut terjadi pemburukan, maka akan terjadinya kegagalan operasi atau menyebabkan kerusakan pada transformator karena disebabkan oleh tegangan tembus. Tegangan tembus merupakan suatu peristiwa apabila medan magnet dinaikan tegangan terus-menerus, atom-atom akan terionisasi dan sampai pada batas kemampuan isolator tersebut untuk menahan tegangan, maka isolator tersebut akan berubah menjadi konduktor, saat kritis ini di namakan *breakdown* (Singih, 2009).

Salah satu alat yang dapat mendeteksi masalah pemburukan pada isolasi tersebut yaitu menggunakan alat tangen DELTA 4000 merk MEGGER, DELTA 4000 digunakan untuk bidang pengujian tegangan tinggi isolasi listrik dengan sistem uji tegangan sampai 12 kV. Hasil tes dapat digunakan untuk mengevaluasi sifat dan kualitas bahan isolasi listrik dan proses manufaktur untuk mengungkapkan kontaminasi, retakan, kebocoran, dan kecacatan lainnya yang disebabkan penuaan isolasi.

METODOLOGI

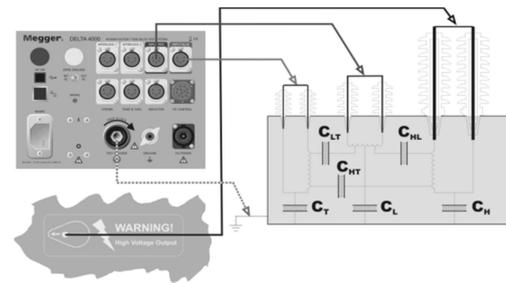
Penelitian ini dimulai dengan tahapan studi literatur. studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori

pengujian dan nilai-nilai uji yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan dalam analisa data. Tahapan selanjutnya pengumpulan data dari lokasi penelitian. Pengambilan data dimulai dari tanggal 14 September 2016 hingga selesai bertempat di GI Semanu Wonosari. Gambar 1 menampilkan diagram alir langkah penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Metode pengujian transformator tiga belitan yaitu pengujian pada kemampuan isolasi transformer di mana ada enam buah kapasitansi dan dua belas buah isolasi yang akan di uji oleh alat uji tangent delta 4000 dan tiga buah rangkaian uji yang berbeda. Dalam pengujian Isolasi pada transformator, ada enam bagian kapasitansi yang akan di uji yaitu hubungan antara CHL, CHG, CLG, CHT, CLT, dan CTG. Dalam pengujian tersebut pastikan R, S, T, dan N pada *bushing* sisi primer, sekunder dan tersier dihubung singkat (*short*) secara seri pada masing-masing sisi, seperti pada Gambar 2. Dalam pengukuran Isolasi transformator, ada 12 mode pengukuran, namun hanya tiga kali pengukuran yang posisi rangkaian ujinya diubah.



Gambar 2. Rangkaian pengujian kemampuan isolasi transformator tiga belitan

Metode pengujian kemampuan isolasi pada *bushing* transformator yaitu di dalam *bushing* transformator, terdapat isolasi-isolasi seperti kertas, minyak dan keramik. Isolasi kertas berfungsi sebagai kapasitansi, minyak sebagai isolasi, dan keramik sebagai isolasi mekanis di mana berfungsi sebagai *body bushing* yang sekaligus sebagai isolasi. Dalam pengujian isolasi *bushing* pada transformator terdapat dua jenis pengujian yaitu pengujian C1 dan C2, pengujian isolasi C1 yaitu hubungan antara konduktor dengan tap *bushing*, dan C2 adalah hubungan antara tap *bushing* dengan *flange ground*. Pada pengujian isolasi *bushing* transformator di GI Semanu, yang diuji hanyalah C1 saja, Oleh karena itu yang akan dibahas hanyalah pengujian C1 *bushing*. Dalam pengujian C1 *bushing*, usahakan melihat panduan dalam rangkaian uji.

PowerDB adalah alat yang dirancang khusus untuk mengontrol atau mengambil data dari peralatan *Megger*. *PowerDB* dapat membuat bentuk data profesional yang dapat dikirim ke file *printer* atau PDF. *PowerDB* memungkinkan untuk menggunakan subset dari bentuk *PowerDB* standar yang sesuai untuk instrumen *Megger* tertentu. bentuk data yang lengkap disimpan sebagai *file*. Tabel 1 menampilkan koneksi mode pada rangkaian uji transformator tiga belitan.

Tabel 1. Koneksi mode pada rangkaian uji transformator tiga belitan

No tes	Insulasi yang diuji	Konfigurasi Tegangan Rendah				Uji Koneksi Tiga Belitan			Keterangan
		Tes Mode	Kabel Pengukuran	Ground	Guard	HV	Kabel Merah	Kabel Biru	
1	CHG+ CHL	GSTg-B		Kabel merah	Kabel biru	H	L	T	L Grounded T Guarded
2	CHG	GSTg-RB			Kabel merah & biru	H	L	T	L & T Guarded
3	CHL	UST-R	Kabel merah	Kabel biru		H	L	T	T Grounded
4	CHL	-	Tes 1 dikurang tes 2			-	-	-	dihitung
5	CLG+CLT	GSTg- BR		Kabel merah	Biru	L	H	T	T grounded Guarded
6	CLG	GSTg- RB			Kabel merah & biru	L	H	T	T & H Guarded
7	CLT	UST-RB	Kabel merah	Kabel biru		L	H	T	H Grounded
8	CLT	-	Tes 5 dikurang tes 6			-	-	-	dihitung
9	CTG+C HT	GSTg- B		Kabel merah	Kabel biru	T	H	L	H Grounded L Guarded
10	CTG	GSTg- RB			Kabel merah & biru	T	H	L	H & L Guarded
11	CHT	UST-R	Kabel merah	Kabel biru		T	H	L	L Grounded
12	CHT	-	Tes 9 dikurang tes 10			-	-	-	dihitung

PEMBAHASAN

Untuk pemeliharaan transformator pada GI, umumnya dilakukan setiap dua tahun sekali, namun pengecualian jika terjadi gangguan pada transformator. Pengujian isolasi pada transformator dan juga C1 bushing di GI 150 kv Semanu dilakukan pada tanggal 14 September 2016, data tersebut akan dibandingkan dengan data power faktor transformator dari pabrikan (Tabel 2). Gambar 3 menunjukkan tampilan test form

powerDB, Gambar 4 menampilkan data hasil uji kemampuan isolasi C1 bushing.

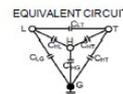
Tabel 2. Standar nilai PF kemampuan isolasi dari pabrikan

	Tipikal Nilai Power Faktor @ 20 ⁰		
	Baru	Tua	Peringatan
Transformator tenaga isolasi minyak	0.2-0.4%	0.3-0.5%	>0.5%
Bushing	0.2-0.3%	0.3-0.5%	>0.5%

TRANSFORMER OVERALL TESTS																
Test No.	INSULATION TESTED	Test Mode	Test Lead Connections				TEST kV	Freq Swept	Capacitance C (pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		%VDF	IR
			HV	Red	Blue	Grnd				Measured	@ 20°C	Corr Factor	mA	Watts		
1	CHG + CHL	GSTg-B	H	L	T	G	10.00	9,329.25	0.27	0.25	0.920	26.281	0.7839	0.03		
2	CHG	GSTg-RB	H	L	T	G	10.00	3,968.67	0.30	0.28	0.920	12.239	0.3693	0.03		
3	CHL	UST-R	H	L	T	G	10.00	5,448.68	0.24	0.22	0.920	17.067	0.4071	0.02		
4	CHL	Test 1 Minus Test 2						5,430.58			0.92	17.042	0.415		OK	
5	CLG + CLT	GSTg-R	L	H	T	G	10.00	11,880.82	0.26	0.24	0.920	37.279	0.9826	0.03		
6	CLG	GSTg-RB	L	H	T	G	10.00	1,147.99	0.56	0.51	0.920	3.602	0.2000	0.02		
7	CLT	UST-B	L	H	T	G	10.00	10,758.78	0.23	0.21	0.920	33.768	0.7835	0.02		
8	CLT	Test 5 Minus Test 6						10,732.83			0.92	33.677	0.783		OK	
9	CTG + CHT	GSTg-B	T	H			2.00	12,253.52	0.69	0.64	0.920	7.699	0.1061	0.04		
10	CTG	GSTg-RB	T	H			2.00	12,189.73	0.70	0.64	0.920	7.628	0.1055	0.02		
11	CHT	UST-R	T	H			2.00	64.13	0.65	0.59	0.920	0.040	0.0005	0.03		
12	CHT	Test 9 Minus Test 10						63.79				0.060	0.001		OK	
13	CHG'	CHG Minus H Bushings						3,092.55				11,734	0.367			
14	CLG'	CLG Minus L Bushings														
15	CTG'	CTG Minus T Bushings														

INSULATION RATING KEY
G=GOOD
D=DETERIORATED
I=INVESTIGATE
B=BAD

NOTE:
SHORT EACH WINDING
ON ITSELF



TEST EQUIPMENT USED: _____

TESTED BY: _____

COPYRIGHT © 2002-2012 POWERDB, INC.

www.powerdb.com

REVISED 04/11/2011

Gambar 3. Tampilan test form powerDB



THREE-WINDING TRANSFORMERS
CAPACITANCE AND POWER FACTOR TESTS



BUSHING C1 TESTS															
Test No.	Bushing Nameplate					Test Mode	TEST kV	Freq Sweep	Capacitance C (pF)	POWER FACTOR %			DIRECT		
	Dsg	SERIAL #	CAT. #	PF	Cap. (pF)					Measured @ 20°C	Corr Factor	mA	WATTS	%VDF	IR
HI kV	16	1U	03C3415			UST-R	2,00		273,57	0,24	0,28	1,140	0,172	0,0008	0,04
	17	1V	03C3416			UST-R	2,00		266,26	0,29	0,33	1,140	0,167	0,0010	0,05
	18	1W	03C3417			UST-R	2,00		266,30	0,25	0,29	1,140	0,167	0,0008	0,03
	19	1N				UST-R	2,00								
LOW kV	20	2U				UST-R									
	21	2V				UST-R									
	22	2W				UST-R									
	23	2N				UST-R									
T kV	24	3U				UST-R									
	25	3V				UST-R									
	26	3W				UST-R									
	27	3N				UST-R									
28	OIL TEST					UST-R									

COMMENTS: _____
DEFICIENCIES: _____

Gambar 4. Data hasil uji kemampuan isolasi C1 bushing

Pada analisa data uji akan dilakukan perbandingan nilai power faktor dari pabrikan yang membuat transformator dengan data uji tangent delta 4000 tanggal 14 September 2016. Untuk rumus perhitungan perbedaan nilai power faktor yaitu:

$$PF \text{ hasil uji} - PF \text{ pabrikan} = \text{Beda nilai PF}$$

Tabel 3 menampilkan perbandingan power faktor transformator hasil uji dengan pabrikan, Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai uji power faktor C1 bushing dengan pabrikan.

Tabel 3. Perbandingan power faktor transformator hasil uji dengan pabrikan

Power Faktor 20°C pada Isolasi Transformator				
No	Isolasi yang diuji	Standar Pabrik	Pengujian 14 Sep 2016	Perbandingan nilai PF
1	CHG + CHL	0,2-0,4	0,25	0,05
2	CHG	0,2-0,4	0,28	0,08
3	CHL	0,2-0,4	0,22	0,02
4	CLG + CLT	0,2-0,4	0,24	0,04
5	CLG	0,2-0,4	0,51	0,31
6	CLT	0,2-0,4	0,21	0,01
7	CTG + CHT	0,2-0,4	0,64	0,44
8	CTG	0,2-0,4	0,64	0,44
9	CHT	0,2-0,4	0,51	0,31

Tabel 4. Perbandingan nilai uji power faktor C1 bushing dengan pabrikan

Power Faktor 20°C Pada Isolasi C1 Bushing				
No	Isolasi yang diuji	Standar Pabrik	Pengujian 14 Sep 2016	Perbandingan nilai PF
1	1 U	0,2-0,3	0,28	0,08
2	1 V	0,2-0,3	0,33	0,13
3	1 W	0,2-0,3	0,29	0,09

Untuk mengetahui sudut δ yaitu menggunakan rumus:

$$\angle \delta = \text{Sec PF}$$

$$\angle \theta = \text{Cosec PF}$$

Contoh perhitungan sudut δ dengan menggunakan data uji pengukuran isolasi transformator tiga belitan antara isolasi CHG +CHL:

$$\angle \delta = \text{Sec } 0,25 = 14,477^\circ$$

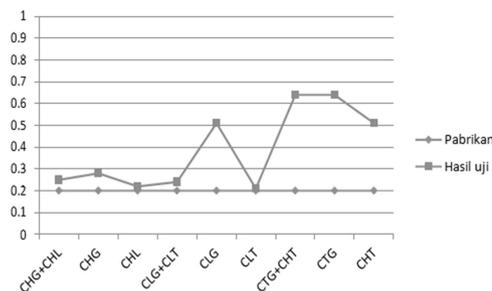
Tabel 5 menampilkan nilai sudut delta dari hasil uji isolasi transformator, Tabel 6 menampilkan nilai sudut delta dari hasil uji isolasi C1 bushing, sedangkan Gambar 5 menampilkan grafik nilai PF isolasi transformator antara nilai hasil uji dengan nilai standar pabrik dan Gambar 6 grafik nilai PF C1 bushing antara nilai hasil uji dengan nilai standar pabrik.

Tabel 5. Nilai sudut delta dari hasil uji isolasi transformator

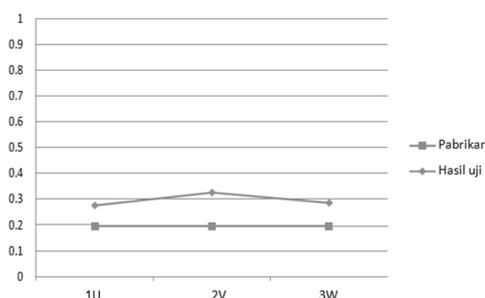
Pengujian Isolasi Transformator Tiga Belitan				
No	Isolasi yang diuji	Nilai PF hasil uji	Nilai $\angle \delta$ hasil uji	Nilai perbandingan $\angle \delta$ antara data uji dengan pabrikan
1	CHG+CHL	0,25	14,477°	2,866°
2	CHG	0,28	16,620°	4,588°
3	CHL	0,22	13,709°	1,146°
4	CLG+CLT	0,24	13,886°	2,292°
5	CLG	0,51	30,664°	18,059°
6	CLT	0,21	12,122°	0,573°
7	CTG+CHT	0,64	39,792°	26,104°
8	CTG	0,64	39,792°	26,104°
9	CHT	0,51	30,664°	18,059°

Tabel 6. Nilai sudut delta dari hasil uji isolasi C1 bushing

Pengujian isolasi C1 bushing				
No	Isolasi yang diuji	Nilai PF hasil uji	Nilai $\angle\delta$ hasil uji	Nilai perbandingan $\angle\delta$ antara data uji dengan pabrikan
1	1 U	0,28	16,260°	4,588°
2	2 V	0,33	19,263°	7,269°
3	3 W	0,29	16,858°	5,164°



Gambar 5. Grafik nilai PF isolasi transformator antara nilai hasil uji dengan nilai standar pabrik



Gambar 6. Grafik nilai PF C1 bushing antara nilai hasil uji dengan nilai standar pabrik

KESIMPULAN

Hasil pengujian isolasi transformator menggunakan delta 4000 di GI 150 KV dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian kemampuan isolasi menggunakan alat uji tangen delta bertujuan untuk mengetahui keadaan isolasi pada transformator mengalami pemburukan atau tidak yang disebabkan oleh berbagai macam kontaminasi pada isolasi.
2. Dalam pengujian kemampuan isolasi dengan alat uji tangen delta nilai power faktor standar pabrikan yaitu 0,2-0,5 dan nilai power faktor yang terbaca tidak boleh >1, sedangkan nilai power

faktor >0,5 masih aman namun perlu diwaspadai dan diselidiki.

3. Ketika menganalisa data hasil pengujian kemampuan isolasi menggunakan alat uji tangen delta 4000 terdapat beberapa nilai power faktor pada isolasi transformator >0,5
4. Nilai power faktor yang >0,5 yaitu isolasi CLG=0,51, CTG+CHT=0,64, CTG=0,64 dan CHT=0,51.
5. Pengujian kemampuan isolasi pada transformator dan bushing tidak ada nilai power faktor yang >1, oleh karena itu transformator yang diuji masih dapat dioperasikan secara normal kembali.

Berdasarkan hasil pengujian kemampuan isolasi pada transformator di GI 150 kV disarankan memperhatikan nilai suhu ambient dan sesuai dengan suhu sebenarnya karena dapat mempengaruhi nilai pengukuran yang terbaca pada alat uji tangen delta 4000. Karena itu perlu dibawa alat pengukur suhu agar diperoleh data suhu yang akurat agar pengukuran pada alat uji tangen delta 4000 menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI Standard 62-1995, 1995, IEEE Guide for Diagnostic Field testing of Electric Power Apparatus-Part1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors, IEEE, New York.
- Marsudi, D., 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- PT. PLN, 2015, Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Pemutus Tenaga (SK 114/DIR/2015), Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat, Jakarta.
- Sandewa, V., 2013, Analisis Keseimbangan dan Konfigurasi Beban Sistem Distribusi 20 KV dengan Etap 7.0.0 (Studi Kasus Gardu Induk Wirobrajan Federer 3), *Skripsi*, IST AKPRIND Yogyakarta.
- Singgih, N.S., 2009, Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembuh AC dan DC pada Minyak Transformator, *Jurnal Teknik Elektro*, Yogyakarta.

BIODATA PENULIS

Mujiman, S.T., M.T., lahir di Bantul pada tanggal 5 Juli 1955, menyelesaikan pendidikan S1 dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 1997 pada bidang Teknik Elektro, pendidikan S2 dari Universitas Gadjah Mada tahun 2007 pada bidang Teknik Elektro. Saat ini tercatat sebagai Pengajar Tetap pada Jurusan Teknik Elektro di IST AKPRIND Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Lektor dengan bidang minat Elektronika.

Aru Purba Ardian Niagara, S.T. lahir di Banjarmasin pada tanggal 03 Juni 1993, menyelesaikan pendidikan S1 dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2016 pada bidang Teknik Elektro.

