

Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Menggunakan Tap Trafo dan Grounding Pada Gardu Distribusi di PT PLN (Persero) ULP Alas Sumbawa

Analysis of Voltage End Improvement Using Transformer Tap and Grounding at the Distribution Substation of PT PLN (Persero) ULP Alas Sumbawa

Adinda Risti Karisma Dewi, Matius Sau, Rismawaty Arunglabi, Charnia Iradat Rapa'
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

Email : margarethadindark@gmail.com

Abstrak

Penyaluran energi listrik oleh PT PLN (Persero) harus memenuhi standar kualitas dan efisiensi guna menjaga keandalan layanan kepada pelanggan. Salah satu tantangan utama dalam jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) adalah terjadinya jatuh tegangan pada ujung jaringan. Kondisi ini menyebabkan turunnya kualitas layanan dan meningkatnya keluhan pelanggan, khususnya pada Gardu AL016 di ULP Alas Sumbawa dengan tegangan ujung kurang dari 207 V. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis upaya perbaikan tegangan ujung melalui dua metode utama, yaitu pengaturan ulang tap pada transformator distribusi dan pemasangan sistem grounding pada ujung jaringan. Data diperoleh dari pengukuran di lapangan sebelum dan sesudah perbaikan, serta melalui Aplikasi Manajemen Gardu (AMG) milik PT PLN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan ulang tap trafo dari posisi 3 ke posisi 4 berhasil meningkatkan tegangan fasa-netral dari rata-rata 214,33 V menjadi 224,67 V. Selanjutnya, pemasangan *grounding* pada ujung JTR dapat meningkatkan tegangan mencapai 231,33 V. Tegangan di ujung jaringan yang di bawah 207 V meningkat menjadi rata-rata 216,33 V, dan secara keseluruhan menghasilkan kenaikan tegangan rata-rata sebesar 7,37%. Kedua metode ini terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi distribusi.

Kata Kunci: Ground-ing, Tap Trafo, Tegangan Jatuh, Tegangan Ujung

Abstract

To ensure reliable service delivery, the distribution of electrical power by PT PLN (Persero) must meet established standards of quality and efficiency. One of the major challenges in low-voltage distribution networks is voltage drop at the farthest point of the line. This condition reduces service quality and increases customer complaints, as observed at Substation AL016 of ULP Alas Sumbawa, where the end-line voltage was recorded below 207 V. This study aims to explore methods for improving end-line voltage through two strategies: implementing a grounding system and adjusting the tap setting on the distribution transformer. Data were collected from on-site measurements conducted before and after the improvements, as well as from PT PLN's Aplikasi Manajemen Gardu (AMG). The results show that adjusting the transformer tap from position 3 to increased the average phase-to-neutral voltage from 214.33 V to 224.67 V. Furthermore, with the addition of grounding at the end of the JTR line, the voltage further improved to 231.33 V. These findings demonstrate that both strategies are effective in enhancing voltage quality and distribution efficiency.

Keywords: Grounding, Tap Transformer, Drop Voltage, End-point Voltage

Pendahuluan

PT PLN (Persero) memegang tanggung jawab penuh untuk memastikan ketersediaan listrik secara konsisten bagi seluruh pelanggan, mulai dari proses penyediaan hingga penyaluran kepada konsumen. Sebagai perusahaan milik negara, PLN wajib menerapkan praktik GCG sesuai dengan Peraturan Menteri BUMN Nomor Per-01/MBU/2011. Bagi PLN, penerapan GCG tidak hanya sekadar kewajiban

regulasi, tetapi juga merupakan aspek penting dalam menjalankan bisnis secara berkelanjutan. Hal ini menjadi dasar untuk mendukung pertumbuhan jangka panjang, meningkatkan nilai perusahaan, serta memperkuat daya saing.

Penerapan prinsip-prinsip GCG bertujuan untuk meningkatkan kinerja perusahaan melalui perbaikan proses pengambilan keputusan, peningkatan efektivitas operasional, serta pemberian layanan yang optimal kepada seluruh pemangku

kepentingan. Fokus utama diarahkan pada kepuasan pelanggan serta terjadinya kondisi keuangan yang sehat. Dalam upaya mengurangi kerugian dan memingkatkan efisiensi, PLN mengimplementasikan berbagai strategi, salah satunya melalui pengendalian susut energi pada gardu distribusi. Tingkat susut energi ini menjadi salah satu indikator kinerja utama sektor distribusi, karena mencerminkan selisih antara energi yang diproduksi dengan energi yang berhasil dijual.

Susut distribusi merupakan selisih antara total energi listrik yang diproduksi dengan jumlah energi yang berhasil dijual kepada konsumen. Secara umum, susut distribusi terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu susut teknis dan susut non teknis (Syukri et al., 2024). Susut teknis disebabkan oleh faktor-faktor teknis dalam sistem tenaga listrik, seperti rugi-rugi pada konduktor, transformator, dan peralatan jaringan distribusi lainnya. Sementara itu, susut non-teknis lebih banyak dipengaruhi oleh aspek non-teknis, misalnya pencurian energi listrik, kesalahan pencatatan meter, serta gangguan administratif atau operasional lainnya.

Saat ini, PT PLN (Persero) UP3 Sumbawa di ULP Alas melaksanakan kegiatan untuk menurunkan susut teknis pada JTR (Jaringan Tegangan Rendah). Penyesuaian tap trafo ini dilaksanakan untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sisi pelanggan, yakni tegangan pada fasa netral 230 V dan fasa – fasa sebesar 400 V. Standar drop tegangan yang diijinkan adalah +5% dan -10% (Sayogo et al., 2014).

Selain itu, penyesuaian tap transformator ini juga dapat membantu mengurangi susut khususnya di Jaringan Tegangan Rendah. Dengan dilakukan pengaturan ulang tap trafo, akan membuat nilai tegangan yang sebelumnya kurang dari 230V akan menjadi lebih besar. Hal tersebut dapat mempengaruhi nilai arus pada pengantar Jaringan Tegangan Rendah sehingga mempengaruhi susut pada jaringan tersebut (Nurrahmat et al., 2020).

Sebelum menggunakan metode tap trafo untuk menaikkan tegangan ujung, kondisi tegangan ujung di Gardu AL016 kurang dari 200 V, di mana menyebabkan keluhan dari sisi pelanggan. Selain penyesuaian tap trafo, pemasangan *grounding* pada

tiang ujung jaringan tegangan rendah dapat menunjang susut tenaga listrik, serta sebagai pengaman pada jaringan tegangan rendah.

Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan pencarian sumber-sumber yang relevan untuk dijadikan landasan penyelesaian proyek akhir. Tujuannya adalah untuk menambah wawasan agar pembahasan dalam laporan akhir sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Dalam penelitian ini mendapatkan, (1) Data single line diagram sistem 20 kV, (2) Data beban gardu, (3) Data manajemen gardu distribusi, (4) data tegangan ujung gardu.

Pengambilan data beban dan tegangan dilakukan pada bulan Mei – Juli 2025 untuk memperoleh data awal pengukuran sebelum dilaksanakan perbaikan tegangan jatuh. Pengukuran tegangan dilakukan pada inlet di LV Board Gardu Distribusi di mana apabila tegangan tidak sesuai standar, yakni +5% -10% dari 230/400 V, maka dilakukan pengaturan ulang tap transformator. Sedangkan untuk pengukuran beban dilakukan pada outlet di LV Board Gardu Distribusi.

Perbaikan jatuh tegangan dapat dilakukan dengan pengaturan ulang tap transformator. Pada kondisi ideal, sesuai dengan *nameplate* pada trafo, yaitu tegangan primer 20 kV dan tegangan sekunder sebesar 400 V posisi tap berada di nomor 3. Jika tegangan pada inlet LV Board diukur kurang dari 400 V, maka dapat posisi tap diubah menjadi 4 dan seterusnya. Namun, jika tegangan yang diukur lebih dari 400, posisi tap diubah menjadi 2 atau 1 hingga mendapat tegangan sekunder 400 V. Selain pengaturan tap transformator, dilakukan pemasangan *grounding* pada ujung Jaringan Tegangan Rendah untuk menstabilkan tegangan ujung.

Setelah dilakukan perbaikan jatuh tegangan, dilakukan pengukuran kembali untuk memastikan tegangan sudah sesuai standar. Jika tegangan sudah sesuai standar, beban sistem akan dinormalkan dan diukur kembali.

Dalam pembuatan tugas akhir ini menggunakan data kuantitatif, yakni data yang dapat diinputkan pada skala pengukuran. Data yang

termasuk kuantitatif yakni data-data gardu distribusi beserta dengan pembebanannya.

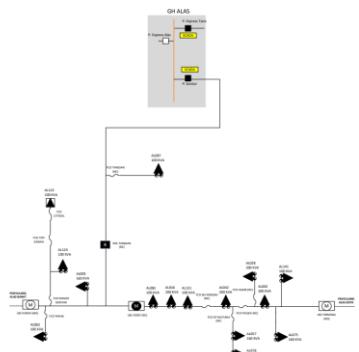
Dalam tahapan pengumpulan data, penulis mencari data tersebut dari PT PLN (Persero) ULP Alas baik melalui aplikasi dan laporan pelaksanaan kegiatan pemerataan atau penyeimbangan beban gardu.

Hasil dan Pembahasan

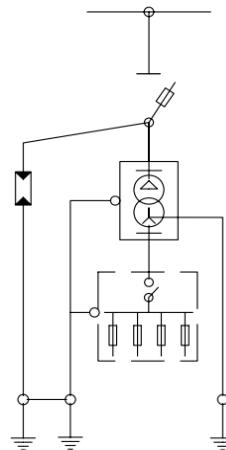
Data Penelitian

1. Single Line Diagram Penyulang Gontar

Pelaksanaan perbaikan tegangan ujung dengan menggunakan tap trafo dan pemasangan *grounding* pada Jaringan Tegangan Rendah di PT PLN Persero ULP Alas dilakukan pada Penyulang Gontar dengan lokasi sekitar 2,5 kms dari Outgoing Gardu Hubung Alas. Kawat penghantar yang digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah ini adalah AAACS.



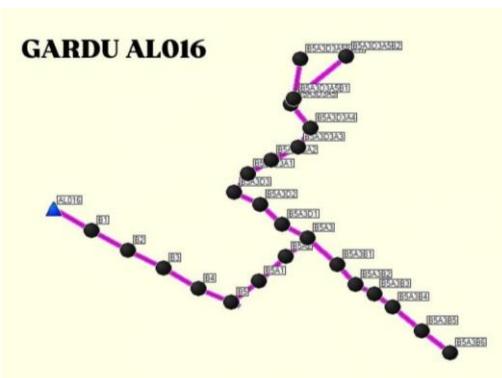
Gambar 1. SLD Penyulang Gontar
Sumber : PLN ULP Alas (2025)



Gambar 2. SLD Gardu Portal
Sumber: Buku 4 PLN (2010)

2. Single Line Diagram Jaringan Tegangan Rendah Gardu AL016

Gardu AL016 memiliki panjang jaringan tegangan rendah sejauh kurang lebih 1,2 kms dengan 24 gawang. Lokasi pemasangan *grounding* pada ujung jaringan tegangan rendah di tiang B5A3D3A5B2 jurusan B sekitar 0,68 kms dari gardu dan tiang B5A3B6 jurusan D sekitar 0,5 kms.



Gambar 3. Single Line Diagram JTR Gardu AL016
Sumber : PLN ULP Alas (2025)

3. Data Spesifikasi Gardu AL016

a. *Fused Cut Out* (FCO)

Fuse Cut Out berfungsi untuk mengamankan sistem tenaga listrik (20kV) dari gangguan hubung singkat di trafo atau sebagai pembatas bila trafo beban lebih

- (over load). Pada Gardu AL016 Fuse Link yang terpasang di FCO adalah 6A dengan tipe-K (cepat).
- b. *Lightning Arrestor (LA)*
Lightning Arrestor berfungsi sebagai pengaman transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. *Lightning Arrestor* pada gardu AL016 terpasang setelah/paralel dengan *fuse cut out*.
- c. Trafo Distribusi AL016
Trafo distribusi merupakan trafo *stepdown* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 230/400 V untuk didistribusikan ke pelanggan tegangan rendah. Adapun spesifikasi trafo distribusi AL016 sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Trafo Gardu AL016

No	Item	Keterangan
1	Merk	VOLTRA
2	Hubungan Belitan	D-yn5
3	Standard SPLN	D3.002-1:2007
4	Frekuensi Pengenal	50 Hz
5	Jumlah Fasa	3 Fasa
6	Year	2011
7	Nomor Seri	11103541
8	Daya Pengenal	200 kVA
9	Tegangan Pengenal Primer	20 kV
10	Tegangan Pengenal Sekunder	400 V
11	Arus Nominal Primer	5,77 A

12	Arus Sekunder	288,68 A
13	Jumlah Tap	7
14	Jenis Minyak	Mineral
15	Volume Minyak	247

- d. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah
Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) merupakan rangkaian yang berfungsi untuk membagi jalur distribusi tenaga listrik serta melindungi jaringan tegangan rendah yang mencakup sakelar pemutus, papan hubung bagi tegangan rendah dan sejenisnya.

Tabel 2. Spesifikasi PHBTR Gardu AL016

No	Item	Keterangan
1	Merk	
2	Arus Saklar Utama	630 A
3	Jumlah Jurusan	4
4	Jumlah Phase	3 Phase
5	Kabel Inlet	NYY 95 mm ²
6	Kabel Outlet	NYY 95mm ²

- e. Jaringan Tegangan Rendah
Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan ujung dari sebuah sistem distribusi tenaga listrik. Melalui jaringan ini, listrik disalurkan kepada para pemanfaat/pelanggan listrik.

Tabel 3. Spesifikasi JTR Gardu AL016

N o	Item	Keterangan
1	Jenis Penghantar	NFA2X-T
2	Tiang	Besi 9 meter
3	Ukuran Penghantar	3 x 70 mm ² + 1 x 70 mm ²
4	Panjang Jaringan	1,2 kms

Sebelum Pekerjaan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

A. Pembuatan Dokumen Pekerjaan

Sebelum melaksanakan pekerjaan harus melengkapi dokumen pekerjaan terlebih dahulu sebagai syarat administrasi pekerjaan. Jika dokumen tidak lengkap, maka tidak diperkenankan untuk melaksanakan pekerjaan. Dokumen-dokumen tersebut antara lain:

a. Job Safety Analysis (JSA)

JSA merupakan dokumen berisi identifikasi potensi resiko tiap tahapan pekerjaan beserta tindakan pengendaliannya. Dalam melaksanakan pekerjaan, pembuatan JSA merupakan langkah awal yang harus dilakukan sebelum diterbitkannya Ijin Kerja atau *Working Permit*.

b. Working Permit

Working Permit atau Ijin Kerja merupakan dokumen resmi yang mengizinkan melakukan suatu pekerjaan yang memiliki potensi bahaya. Ijin kerja ini terbit setelah identifikasi resiko dalam setiap tahapan pekerjaan yang tertuang dalam JSA.



FORMULIR IJIN KERJA Working Permit Form

DETAIL WORKING PERMIT

Nomor Formulir	002841500201/VII/2025	Status	APPROVED
Jenis Pekerjaan	Internal Unit	No. SPK/SPJ	
Nama Perusahaan	PLN-Nusa Daya		
Nama Pekerjaan	Pemeliharaan Jaringan Distribusi		
Department	Jaringan		
Unit Pelaksana	ULP ALAS		
Unit Induk	Unit Induk Wilayah Nusa Tenggara Barat		
Direksi Pekerjaan	Deddy Achmady		
Pengawas Pekerjaan	Kurniawan Widodo		
Pengawas K3	Didik Kurniawan		
Supervisor K3L	Didik Kurniawan		
Deskripsi Pekerjaan			
Lokasi Kerja	Di Luar Di Penyulang Gontor		
Tgl Jam Mulai	2025-07-08 08:00	Tgl Jam Selesai	2025-07-08 17:00
Yang mengerjakan	Hastomo, Sabrun Rajab, Usman Rizal, Andrew Sanjaya, Alamsyah		
Dibuat oleh	Pin Nusa Daya Site Sumbawa		

TELAH DISETUJUI SECARA DIGITAL OLEH OTORITAS PEGAWAI YANG BERWENANG	
It Has Been Digitally Approved By The Competent Employee Authority	
PENGAWAS PEKERJAAN Performing Authority	Kurniawan Widodo TL TEKNIK LAY GAN
PEJABAT K3L Safety Authority	Didik Kurniawan TL K3 DAN KAH LAY GAN
DIREKSI PEKERJAAN Area Authority	Deddy Achmady MULI ULP (ALAS)
MANAJEMEN REPRESENTATIF Area Authority	Deddy Achmady MULI ULP (ALAS)
 hsse.pln.co.id	

Gambar 4. Working Permit

Sumber : PLN ULP Alas (2025)

c. Standing Operating Procedure (SOP)

SOP merupakan dokumen administrasi sebagai salah satu pengendali resiko. Dokumen ini berisi langkah-langkah yang wajib dilakukan dalam pelaksanaan pekerjaan agar pekerjaan berjalan dengan aman.

Persiapan Pekerjaan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

Setelah semua syarat administrasi pekerjaan terpenuhi, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat kerja dan alat ketenagalistrikan. Semua peralatan diperiksa untuk memastikan dapat berfungsi sebagaimana mestinya agar pekerjaan berjalan dengan lancar sesuai dengan SOP. Gunakan daftar peralatan agar tidak ada peralatan yang tertinggal.

Pelaksanaan Pekerjaan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

1. Analisa Data Sebelum Pekerjaan Pengaturan

Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

Pada tanggal 7 Juli 2025 pukul 19.30 dilaksanakan pengukuran Gardu AL016 oleh petugas Inspeksi ULP Alas dan diinput ke dalam Aplikasi Manajemen Gardu kemudian dianalisa. Berdasarkan hasil inspeksi tersebut dapat diketahui bahwa posisi tap trafo berada pada tap 3 dengan tegangan nominal 20.000 V.

Tabel 4. Data Sekunder Gardu Sebelum Pekerjaan

DATA SEKUNDER TRAFO					
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANAN FASA-FASA (V)	TEGANAN FASA-NETRAL(V)
1	R	140	207 < V < 241,5 atau 360 < V < 420	387	214
2	S	146		386	214
3	T	118		388	215
4	N	65		-	-
Tegangan rata-rata				387	214,33
POSISI TAP : 3					

Tabel 5. Data Jurusan B Gardu Sebelum Pekerjaan

DATA JURUSAN B					
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANAN UJUNG FASA - NETRAL(V)	
1	R	104	207 < V < 241,5	200	
2	S	75		201	
3	T	74		202	
4	N	40		-	
Rata-rata tegangan ujung jurusan B				201	

Tabel 6. Data Jurusan D Gardu Sebelum Pekerjaan

DATA JURUSAN D					
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANAN UJUNG FASA - NETRAL(V)	
1	R	36	207 < V < 241,5	204	
2	S	71		200	
3	T	44		202	
4	N	40		-	
Rata-rata tegangan ujung jurusan D				202	

Pengukuran tegangan pada ujung jaringan tegangan rendah Gardu AL016 jurusan B diperoleh rata-rata sebesar 201 V dan jurusan D diperoleh rata-

rata sebesar 202 V. Hasil tersebut kurang dari standar menurut SPLN No 1 tahun 1995, yaitu (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$ sehingga perlu dilakukan perbaikan agar tegangan memenuhi standar sesuai dengan Tingkat Mutu Pelayanan PLN.

Pengukuran pada pangkal jaringan tegangan rendah diperoleh rata-rata sebesar 387 V untuk tegangan fasa-fasa dan 214 V untuk tegangan fasa netral. Hasil ini sudah sesuai dengan standar menurut SPLN No 1 tahun 1995, yaitu (+5% -10%) dari 230/400 V ($360V < V < 420V$) namun masih di bawah tegangan nominal, yaitu 400 V sehingga dapat dilakukan perbaikan tegangan ujung dengan cara mengubah tap trafo untuk menaikkan tegangan serta pemasangan *grounding* pada ujung jaringan tegangan rendah untuk menstabilkan tegangan.

2. Proses Pekerjaan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

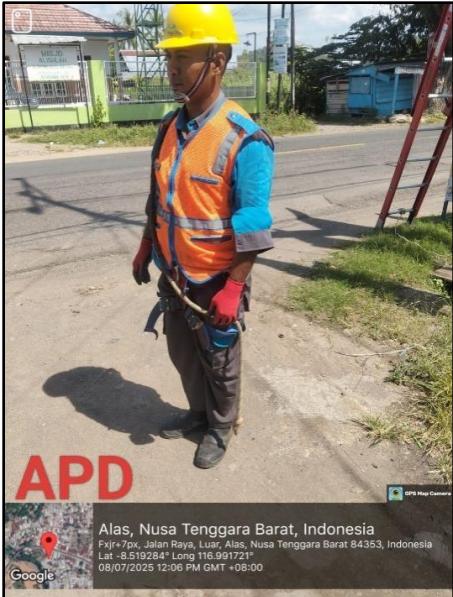
Dalam penelitian pada Gardu AL016 ini dilakukan perbaikan tegangan ujung dengan mengubah tap trafo dan pemasangan *grounding* pada tiang ujung jaringan tegangan rendah.

a. Pengaruh Tap Trafo

Berdasarkan pada data tabel hasil pengukuran beban puncak diatas (6) tegangan pada pangkal gardu masih relatif rendah sehingga diperlukan pengaturan tap trafo, yaitu dengan mengubah tap trafo dari tap 3 ke tap 4. Adapun step pekerjaan dalam pengaturan tap trafo gardu AL016 :

- Pemakaian APD dan perlengkapan kerja
- Pembebasan tegangan dengan melepas FCO Gardu AL016
- Melakukan pengecekan tegangan dan pemasangan *grounding set*
- Proses ubah tap trafo Gardu AL016
- Pengamanan personil dan peralatan serta melepas *grounding set*
- Penormalan tegangan dan memasukkan FCO Gardu AL016
- Melakukan pengukuran pasca pekerjaan selesai

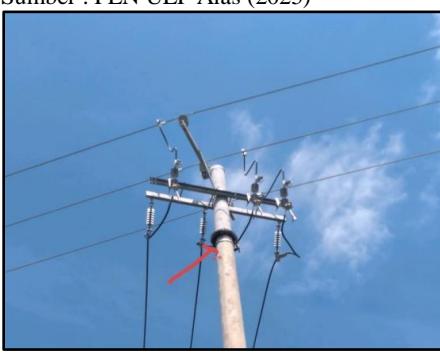
Berikut dokumentasi pekerjaan pengaturan tap trafo di gardu AL016 :



Gambar 5 Pelaksana Pekerjaan Mengenakan APD
Sumber : PLN ULP Alas (2025)



Gambar 7 Pemasangan Grouding Set
Sumber : PLN ULP Alas (2025)



Gambar 6 Pembebasan Tegangan Sebelum Pekerjaan
Sumber : PLN ULP Alas (2025)



Gambar 8 Pelaksanaan Pekerjaan Perubahan Tap Trafo
Gardu AL016
Sumber : PLN ULP Alas (2025)

Tabel 7 Data Sekunder Gardu Setelah Pengaturan Tap



DATA SEKUNDER TRAFO						
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANAN FASA-FASA (V)	TEGANAN FASA - NETRAL(V)	
1	R	146	207 < V < 241,5 atau 360 < V < 420	397	224	
2	S	145		395	224	
3	T	116		398	226	
4	N	38		-	-	
Rata-rata tegangan				396,6	224,6	
POSISI TAP : 4						

Tabel 8 Data Jurusan B Gardu Setelah Pengaturan Tap

DATA JURUSAN B				
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANGAN UJUNG FASA - NETRAL(V)
1	R	98	207 < V < 241,5	210
2	S	80		212
3	T	72		212
4	N	25		-
Rata-rata tegangan				211

Tabel 9 Data Jurusan D Gardu Setelah Pengaturan Tap

DATA JURUSAN D				
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANGAN UJUNG FASA - NETRAL(V)
1	R	48	207 < V < 241,5	213
2	S	65		210
3	T	44		212
4	N	17		-
Rata-rata tegangan				211,6

Berdasarkan Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9, hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengaturan ulang tap trafo, yaitu dengan mengubah dari tap 3 menjadi tap 4, nilai tegangan pada pangkal rata-rata sebesar 396,6 V untuk tegangan fasa-fasa dan 224,6 V untuk tegangan fasa netral. Sedangkan untuk tegangan ujung jaringan tegangan rendah pada jurusan B diperoleh rata-rata sebesar 211 V dan jurusan D diperoleh rata-rata sebesar 211,6 V. Hasil ini sudah memenuhi standar menurut SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$ dan $360 < V < 420$. Namun, hasil ini belum mencapai nilai tegangan nominal 230/400 V sehingga dilakukan pemasangan *grounding* pada ujung jaringan tegangan rendah agar tegangan lebih stabil.

b. Pemasangan *Grounding* JTR

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9 terdapat perubahan pada tegangan ujung gardu AL016 namun masih bisa dimaksimalkan juga dengan pemasangan *grounding* JTR khususnya di tiang ujung JTR gardu AL016. Adapun step pekerjaan dalam pemasangan *grounding* JTR AL016 :

- Pemakaian APD dan perlengkapan kerja
- Pemasangan *ground rod*
- Pembebasan tegangan dengan melepas NH Fuse jurusan
- Melakukan pengecekan tegangan
- Penyambungan kabel tembaga ke *ground rod*
- Penormalan tegangan dengan memasukkan NH Fuse
- Melakukan pengukuran pasca pekerjaan selesai

Setelah dilakukan pemasangan *grounding* pada kedua titik ujung jaringan tegangan rendah, dilakukan pengukuran nilai pembumian menggunakan Earth Tester untuk memastikan hasil sesuai dengan standar yang berlaku, yaitu kurang dari 10Ω .

Tabel 10 Data Sekunder Gardu Setelah Pemasangan Grounding

DATA SEKUNDER TRAFO					
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANGAN FASA-FASA (V)	TEGANGAN FASA - NETRAL(V)
1	R	135	207 < V < 241,5 atau $360 < V < 420$	404	231
2	S	133		403	230
3	T	107		405	233
4	N	25		-	-
Rata-rata tegangan				404	231,3
POSISI TAP : 4					

Tabel 11 Data Jurusan B Gardu Setelah Pemasangan Grounding

DATA JURUSAN B				
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANGAN UJUNG FASA - NETRAL(V)
1	R	87	207 < V < 241,5	215
2	S	70		216
3	T	64		218
4	N	13		-
Rata-rata tegangan				216,3

Tabel 12 Data Jurusan D Gardu Setelah Pemasangan Grounding

DATA JURUSAN D				
NO.	FASA	ARUS (A)	STANDAR TEGANGAN (V)	TEGANGAN UJUNG FASA - NETRAL(V)
1	R	47	207 < V < 241,5	217
2	S	63		215
3	T	42		217
4	N	11		-
Rata-rata tegangan				216,3

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pemasangan *grounding* pada ujung jaringan tegangan rendah mengalami kenaikan. Nilai tegangan pada pangkal diperoleh rata-rata sebesar 404 V untuk tegangan fasa-fasa dan 231,3 V untuk tegangan fasa netral. Tegangan pada pangkal sudah memenuhi standar menurut SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$ dan $360V < V < 420V$ dan sesuai tegangan nominal, yaitu 230/400 V. Sedangkan untuk tegangan ujung jaringan tegangan rendah pada jurusan B dan D diperoleh rata-rata sebesar 216,3 V. Tegangan pada ujung jaringan tegangan rendah sudah memenuhi standar menurut SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$ namun masih belum mencapai tegangan nominal.

3. Analisa Data Hasil Pekerjaan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan Grounding

Setelah dilakukan pekerjaan pengaturan ulang tap trafo dari tap 3 menjadi tap 4 dan pemasangan grounding pada ujung jaringan tegangan rendah pada jurusan B dan D Gardu AL016.

Tabel 13 Data Tegangan Jurusan B

DATA TEGANGAN JURUSAN B					
NO.	FASA	Standar Tegangan(V)	Sebelum Pekerjaan(V)	Sesudah Pengaturan Tap Trafo(V)	Sesudah Pemasangan Grounding(V)
1	R	207 < V < 241,5	200	210	215
2	S		201	212	216
3	T		202	212	218
Rata-rata Tegangan			201	211,33	216,33

Tabel 14 Data Jurusan D Gardu Setelah Pekerjaan

DATA TEGANGAN JURUSAN D					
NO.	FASA	Standar Tegangan(V)	Sebelum Pekerjaan(V)	Sesudah Pengaturan Tap Trafo(V)	Sesudah Pemasangan Grounding(V)
1	R		204	213	217
2	S	207 < V < 241,5	200	210	215
3	T		202	212	217
Rata-rata Tegangan			202	211,67	216,33

Hasil pengukuran tegangan setelah dilakukan pengaturan ulang tap trafo dan pemasangan *grounding* pada Gardu AL016 mengalami kenaikan. Tegangan ujung jaringan tegangan rendah jurusan B yang semula di bawah standar dengan rata-rata sebesar 201 V menjadi 216,3 V sehingga memenuhi standar SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$. Begitu juga tegangan ujung jaringan tegangan rendah jurusan D yang semula di bawah standar dengan rata-rata sebesar 221 V menjadi 216,3 V sehingga memenuhi standar SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$. Tegangan pada pangkal jaringan tegangan rendah yang sebelumnya sudah memenuhi standar, setelah dilakukan perbaikan menjadi naik namun tetap dalam *range* standar SPLN No 1 tahun 1995 (+5% -10%) dari 230/400 V, yaitu $207V < V < 241,5V$ dan $360V < V < 420V$. Namun pada ujung jaringan tegangan rendah masih belum mencapai tegangan nominal 230 V sehingga dapat dilakukan perbaikan lain dengan penyeimbangan beban trafo maupun pemasangan gardu sisipan.

4. Analisa Perhitungan Perbaikan Tegangan Ujung

Berdasarkan hasil pengukuran setelah dilaksanakan pengaturan ulang tap trafo dan pemasangan *grounding* pada jaringan tegangan rendah Gardu AL016, terjadi kenaikan tegangan pada ujung jaringan regangan rendah. Tegangan yang semula tidak memenuhi standar menjadi sesuai standar sehingga perbaikan dengan cara ini dapat dikatakan berhasil. Perhitungan persentase kenaikan tegangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$\frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\%$$

Di mana :

V_b = Tegangan sesudah dilakukan pemeliharaan

V_a = Tegangan sebelum dilakukan perbaikan

- a. Perhitungan Persentase Kenaikan Tegangan\ dengan Pengaturan Ulang Tap Trafo

Hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah dilakukan pengaturan ulang tap trafo yang mengalami kenaikan. Perhitungan persentase kenaikan tegangan dapat dihitung sebagai berikut:

- Tegangan Sekunder Trafo Gardu AL016

$$\begin{aligned}\%V_{RS} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(397 - 387)}{387} \times 100\% \\ &= 2,58\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{ST} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(395 - 386)}{386} \times 100\% \\ &= 2,33\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{TR} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(398 - 388)}{388} \times 100\% \\ &= 2,58\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(224 - 214)}{214} \times 100\% \\ &= 4,67\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(224 - 214)}{214} \times 100\% \\ &= 4,67\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(226 - 215)}{215} \times 100\% \\ &= 5,12\%\end{aligned}$$

Tabel 15 Persentase Kenaikan Tegangan Sekunder Sesudah Pengaturan Tap Trafo

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN SEKUNDER				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pengaturan Tap Trafo (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-S	387	397	2,58
2	S-T	386	395	2,33
3	T-R	388	398	2,58
4	R-N	214	224	4,67
5	S-N	214	224	4,67
6	T-N	215	226	5,12

- Jurusan B Gardu AL016

$$\begin{aligned}\%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(210 - 200)}{200} \times 100\% \\ &= 5,00\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(212 - 201)}{201} \times 100\% \\ &= 5,47\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(212 - 202)}{202} \times 100\% \\ &= 4,95\%\end{aligned}$$

Tabel 16 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan B Sesudah Pengaturan Tap Trafo

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN B				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pengaturan Tap Trafo (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	200	210	5,00
2	S-N	201	212	5,47
3	T-N	202	212	4,95

- Jurusan D Gardu AL016

$$\begin{aligned}\%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(213 - 204)}{204} \times 100\% \\ &= 4,41\% \\ \%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(210-200)}{200} \times 100\% \\
 &= 5,00\% \\
 \%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(212-202)}{202} \times 100\% \\
 &= 4,95\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \%V_{RT} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(405-398)}{398} \times 100\% \\
 &= 1,76\% \\
 \%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(224-231)}{231} \times 100\% \\
 &= 3,13\%
 \end{aligned}$$

Tabel 17 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan B Sesudah Pengaturan Tap Trafo

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN D				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pengaturan Tap Trafo (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	204	213	4,41
2	S-N	200	210	5,00
3	T-N	202	212	4,95

Rata-rata tegangan setelah dilakukan pengaturan tap trafo diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

- Tegangan Fasa-Fasa

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{397 + 395 + 398}{3} \\
 &= 396,67 \text{ V}
 \end{aligned}$$
- Tegangan Fasa-Netral

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{224 + 224 + 226}{3} \\
 &= 224,67 \text{ V}
 \end{aligned}$$
- Tegangan Ujung Jaringan Tegangan Rendah

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{210 + 212 + 212 + 213 + 210 + 212}{6} \\
 &= 211,5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Persentase Kenaikan Tegangan dengan Pemasangan *Grounding JTR*
Tegangan Sekunder Trafo Gardu AL016

$$\begin{aligned}
 \%V_{RS} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(404-397)}{397} \times 100\% \\
 &= 1,76\% \\
 \%V_{ST} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(403-395)}{395} \times 100\% \\
 &= 2,03\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(230-224)}{224} \times 100\% \\
 &= 2,68\% \\
 \%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(233-226)}{226} \times 100\% \\
 &= 3,10\%
 \end{aligned}$$

Tabel 18 Persentase Kenaikan Tegangan Sekunder Sesudah Pemasangan Grounding JTR

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN SEKUNDER				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pemasangan Grounding (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-S	397	404	1,76
2	S-T	395	403	2,03
3	T-R	398	405	1,76
4	R-N	224	231	3,13
5	S-N	224	230	2,68
6	T-N	226	233	3,10

- Jurusan B Gardu AL016

$$\begin{aligned}
 \%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(217-210)}{210} \times 100\% \\
 &= 3,33\% \\
 \%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\
 &= \frac{(215-212)}{212} \times 100\% \\
 &= 1,42\% \\
 \%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{(217-212)}{212} \times 100\% \\ = 2,36\%$$

Tabel 19 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan B Sesudah Pemasangan Grounding JTR

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN B				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pemasangan Grounding (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	210	217	3,33
2	S-N	212	215	1,42
3	T-N	212	217	2,36

- Jurusan D Gardu AL016

$$\%V_{RN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(215-213)}{213} \times 100\% \\ = 0,94\% \\ \%V_{SN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(216-210)}{210} \times 100\% \\ = 2,86\% \\ \%V_{TN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(218-212)}{212} \times 100\% \\ = 2,83\%$$

Tabel 20 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan D Sesudah Pemasangan Grounding JTR

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN D				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pemasangan Grounding (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	213	215	0,94
2	S-N	210	216	2,86
3	T-N	212	218	2,83

Rata-rata tegangan setelah dilakukan pemasangan *grounding* pada jaringan tegangan rendah diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

- Tegangan Fasa-Fasa

$$V = \frac{404 + 403 + 405}{3} \\ = 404 \text{ V}$$

- Tegangan Fasa-Netral

$$V = \frac{231 + 230 + 233}{3} \\ = 231,33 \text{ V}$$

- Tegangan Ujung Jaringan Tegangan Rendah

$$V = \frac{217 + 215 + 217 + 215 + 216 + 218}{6} \\ = 216,33 \text{ V}$$

c. Perhitungan Persentase Kenaikan Tegangan dengan Pengaturan Ulang Tap Trafo dan Pemasangan *Grounding JTR* Tegangan Sekunder Trafo Gardu AL016

$$\%V_{RS} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(404-387)}{387} \times 100\% \\ = 4,39\%$$

$$\%V_{ST} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(403-386)}{386} \times 100\% \\ = 4,40\% \\ \%V_{RT} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(405-388)}{388} \times 100\% \\ = 4,38\% \\ \%V_{RN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(231-214)}{214} \times 100\% \\ = 7,94\% \\ \%V_{SN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(230-214)}{214} \times 100\% \\ = 7,48\% \\ \%V_{TN} = \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ = \frac{(233-215)}{215} \times 100\% \\ = 8,37\%$$

Tabel 21 Persentase Kenaikan Tegangan Sekunder Sesudah Pekerjaan

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN SEKUNDER				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pekerjaan (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-S	387	404	4,39
2	S-T	386	403	4,40
3	T-R	388	405	4,38
4	R-N	214	231	7,94
5	S-N	214	230	7,48
6	T-N	215	233	8,37

- Jurusan B Gardu AL016

$$\begin{aligned}\%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(217-200)}{200} \times 100\% \\ &= 8,50\% \\ \%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(215-201)}{201} \times 100\% \\ &= 6,97\% \\ \%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(217-202)}{202} \times 100\% \\ &= 7,43\%\end{aligned}$$

Tabel 22 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan B Sesudah Pekerjaan

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN B				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pekerjaan (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	200	217	8,50
2	S-N	201	215	6,97
3	T-N	202	217	7,43

- Jurusan D Gardu AL016

$$\begin{aligned}\%V_{RN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(215-204)}{204} \times 100\% \\ &= 5,39\% \\ \%V_{SN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(216-200)}{200} \times 100\% \\ &= 8,00\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%V_{TN} &= \frac{(V_b - V_a)}{V_a} \times 100\% \\ &= \frac{(218-202)}{202} \times 100\% \\ &= 7,92\%\end{aligned}$$

Tabel 23 Persentase Kenaikan Tegangan Ujung Jurusan D Sesudah Pekerjaan

PERSENTASE KENAIKAN TEGANGAN UJUNG JURUSAN D				
No	Fasa	Sebelum Pekerjaan (V)	Sesudah Pekerjaan (V)	Persentase Kenaikan (%)
1	R-N	204	215	5,39
2	S-N	200	216	8,00
3	T-N	202	218	7,92

Rata-rata persentase kenaikan tegangan ujung setelah dilakukan pengaturan ulang tap trafo dan pemasangan *grounding* pada jaringan tegangan rendah diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\% = \frac{8,50 + 6,97 + 7,43 + 5,39 + 8,00 + 7,92}{6} = 7,37 \%$$

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengaturan ulang tap transformator berpengaruh dalam memperbaiki tegangan ujung pada jaringan tegangan rendah. Tegangan ujung jaringan tegangan rendah pada Gardu AL016 yang semula tidak memenuhi standar yakni rata-rata sebesar 201,5 V setelah dilakukan pengaturan ulang tap transformator naik menjadi 211,5 V sehingga memenuhi standar Tingkat Mutu Pelayanan PLN. *Grounding* pada ujung tiang jaringan tegangan rendah memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan tegangan serta meningkatkan keselamatan sistem distribusi. Dengan pemasangan *grounding* pada ujung tiang jaringan tegangan rendah di Gardu AL016 tegangan yang dihasilkan sesuai standar dan mendekati tegangan nominal, yaitu rata-rata tegangan sebesar 216,33 V. Pengaturan ulang tap transformator dan pemasangan *grounding* pada ujung jaringan tegangan rendah dapat menjadi salah satu solusi yang dapat digunakan

untuk perbaikan tegangan ujung pada jaringan tegangan rendah. Setelah dilakukan pengaturan ulang tap transformator dan pemasangan *grounding* di PT PLN (Persero) ULP Alas, tegangan yang semula kurang dari standar menjadi naik hingga sesuai standar dengan persentase kenaikan tegangan ujung pada gardu AL016 sebesar 7,37%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada orang tua, saudara, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penelitian ini. Tanpa dukungan kalian, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan, doa, dan dorongan yang diberikan sangat berarti. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih banyak atas kontribusi dan bantuannya.

Daftar Pustaka

- Harahap, R., & Pakpahan, J. A. (2018). Analisa Pengukuran Ratio Transformator Daya Yang Menggunakan On Load Tap Changer (Aplikasi Pada Transformator Daya Paya Geli PLN Medan). *Buletin Utama Teknik*, 13(3), 1410–4520.
- Hidayat, S., Legino, S., & Fatihah Mulyanti, N. (2018). Penyeimbangan Beban pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi CD 33 Penyulang Sawah di PT PLN (Persero) Area Bintaro. In *Jurnal Sutet* (Vol. 8, Issue 1).
- Istiana Handayani, F., & Nugroho, A. (2016). Analisis Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Software Etap 12.6.0. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 56–61. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/11888>
- Julianto, E. (n.d.). Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebatan Transformator Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Cabang Pontianak.
- Latupeirissa, H. L., Muskita, H. M., & Leihitu, C. A. (2018). Analisis Kerugian Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 VOLT Gardu Distribusi Politeknik Negeri Ambon. *Jurnal Simetrik*.
- Muchyi, A. (2009). Studi Perkiraan Susut Energi Dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Leci di Gardu Induk Jabeka.
- Nurrahmat, R., Karim, S., Teknik, F., Kalimantan, U. I., Profil, P., Sistem, T., Listrik, T., Menggunakan, S., Perhitungan, A., Daya, S., Dengan, E., Kurva, P., Susut, P., Listrik, E., Pln, P., Mode, M. F., Analysis, E., Zondra, E., Kecepatan, P., ... Energi, D. (2020). *Pengaruh Perubahan Tap Trafo Gardu Distribusi Terhadap Susut Energi (KWH) Pada Gardu CBD-0693 (Tbr-0020) di PT.PLN (Persero) ULP Batulicin*. 0693, 1–2.
- Reynolds, C. Wiliam, Perkins, C. Henry. 1987, Termodinamika Teknik, Edisi ke-2. Erlangga, Jakarta.
- T.S. Yuli. 2013, Studi Eksperimental Identifikasi Kavitas pada Elbow 90° Berdasarkan Spektrum Getaran dan Tingkat Kebisingan, Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surbaya
- P. Manceke, B. Winkler, B. Manhartsgurber, 2001, Magneto-rheological damper. US006623364B2,
- W.J Rachmeyer, F. Chain, 2005, Calibration and verification testing facilities using an orifice. www.engineering.udu.edu/cee/, diakses 21 Juli 2005.