

**ANALISIS *SETTING* DAN KINERJA RELAI DIFFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR 4 GARDU INDUK UJUNGBERUNG
BERDASARKAN KARAKTERISTIK *SLOPE***

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro



Oleh:

Cecep Nugraha

E.5051.2108985

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

**ANALISIS *SETTING* DAN KINERJA RELAI DIFFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR 4 GARDU INDUK UJUNGBERUNG
BERDASARKAN KARAKTERISTIK *SLOPE***

Oleh
Cecep Nugraha

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

© Cecep Nugraha 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
Maret 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan di cetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

CECEP NUGRAHA

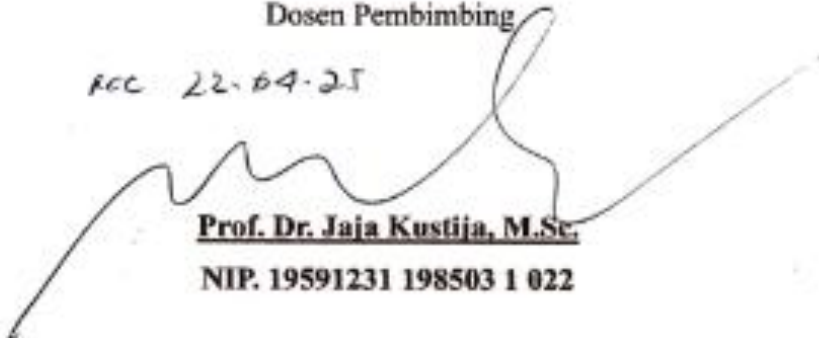
E.5051.2108985

**ANALISIS *SETTING* DAN KINERJA RELAI DIFFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR 4 GARDU INDUK UJUNGBERUNG
BERDASARKAN KARAKTERISTIK *SLOPE***

Disetujui dan disahkan oleh:

Dosen Pembimbing

RCC 22.04.25



Prof. Dr. Jaja Kustija, M.Sc.

NIP. 19591231 198503 1 022

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D

NIP. 19770908 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul ”Analisis *Setting* dan Kinerja Relai Differensial pada Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung Berdasarkan Karakteristik *Slope*” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri dan tidak melakukan plagiarisme dan pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku di masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko dan sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Maret 2025

Pembuat Pernyataan,

Cecep Nugraha

NIM. 2108985

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur yang tidak pernah terukur terpanjatkan kepada Allah SWT yang Maha *Ghafur*, karena atas rahmat, keselamatan, berkah, dan karunia-Nya dapat menyelesaikan proses penelitian dan menyusun skripsi ini dengan baik. *Shalawat* serta *salam*, semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Penyusunan skripsi ini bertujuan memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik program studi S-1 Teknik elektro, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia. Adapun judul dalam skripsi ini adalah “Analisis *Setting* dan Kinerja Relai Differensial pada Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung Berdasarkan Karakteristik *Slope*”.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tanpa adanya bantuan berupa dorongan semangat, motivasi, diskusi, konsultasi, dan informasi dari pihak – pihak terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung, skripsi ini tidak akan selesai dengan baik. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, yang selalu memberikan dukungan, do’a, motivasi, dan semangat dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Kakak kandung, yang selalu memberikan semangat, do’a, dan motivasi dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Dadang Lukman, M.T., selaku Wali Dosen selama menjalani perkuliahan di Universitas Pendidikan Indonesia.
4. Bapak Iwan Kustiawan, S.Pd., M.T., Ph.D., selaku Ketua program studi Teknik Elektro FPTI UPI.
5. Bapak Prof. Dr. Jaja Kustija, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan saran, masukan, dan wawasan selama penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf, Tenaga Pendidik, dan Dosen program studi Teknik Elektro FPTI UPI yang telah memberikan dukungan administrasi, proses pembelajaran, ilmu, dan wawasan selama menjalani perkuliahan.
7. Gardu Induk PLN Ujungberung, yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan dan menyelesaikan penelitian ini.

8. Bapak Restu Rahayu Ramandhita selaku *Team Leader*, Ibu Chellavie Aulia Firdaus, Bapak Elka Depitmar, dan Bapak Wisnu Pratama, selaku rekan kerja tim pemeliharaan proteksi PT PLN (Persero) UPT Bandung – ULTG Bandung Timur yang telah memberikan fasilitas selama proses penyusunan skripsi ini.
9. Muhammad Zaky Adz Dziqro Ramdhani, Ahmad Ali Yasin, Ridwan Septiyadi Ramlan, Iffat Khalih Girasto, Ananda Raihan Fajar, dan Ghailan Daffasya, selaku rekan seperjuangan, rekan bergadang, dan rekan satu kontrakan yang terus berjuang untuk menyelesaikan kewajiban menuntaskan perkuliahan di Universitas Pendidikan Indonesia dengan menyelesaikan skripsi ini.
10. HME FPTI UPI dan IEEE UPI SB, yang telah memberikan banyak pengalaman dan pengetahuan di luar perkuliahan.
11. TEUAS, selaku keluarga besar Teknik Elektro FPTI UPI yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang belum didapatkan.
12. Seluruh *member* TE-02 2021, yang telah kebersamai menempuh pendidikan di Universitas Pendidikan Indonesia.
13. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan untuk menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
14. Diri sendiri, yang selalu sabar, semangat, dan berpikir banyak hal dalam proses penyusunan dan menyelesaikan skripsi ini dengan sangat baik.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah senantiasa membantu dalam menyelesaikan tanggung jawab ini. Penulis sadar dalam proses penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran terhadap penulis harapkan demi perkembangan lebih lanjut. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak khalayak, khususnya bagi penulis.

Bandung, Maret 2025

Penulis

ABSTRAK

Keandalan sistem proteksi transformator sangat penting untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik dan mencegah kerusakan peralatan akibat gangguan. Relai differensial merupakan proteksi utama transformator yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan internal dengan membandingkan arus masuk dan arus keluar. Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung pernah mengalami gangguan, kegagalan, kebakaran, maloperasi, dan *setting* relai yang terlalu besar sehingga kurang sensitif pada terhadap arus gangguan. Analisis *setting* dan kinerja relai diferensial berdasarkan karakteristik *slope* diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan *setting* teoritis dengan *setting* terpasang relai diferensial serta menganalisis kinerjanya melalui simulasi arus gangguan dan karakteristik *slope*. Metode yang digunakan meliputi perhitungan teoritis dan simulasi menggunakan ETAP 19.0.1 dan Microsoft Excel untuk memodelkan gangguan internal dan eksternal. Hasil penelitian menunjukkan *gap* signifikan antara perhitungan *setting* teoritis (*slope* 1 = 11,762%, *slope* 2 = 23,524%) dan *setting* terpasang (*slope* 1 = 30%, *slope* 2 = 80%). Evaluasi berdasarkan standar minimum dengan *setting slope* 1 = 25% dan *slope* 2 = 50% menghasilkan kinerja relai yang lebih seimbang, sensitif terhadap gangguan internal dan stabil terhadap gangguan eksternal. Rekomendasi untuk menggunakan jenis relai *low impedance differential relay* dan evaluasi *setting* relai differensial dengan pertimbangan *inrush current* saat transformator *energize*, arus eksitasi, *stability*, dan *harmonic restraint*.

Kata kunci: Transformator, Relai Differensial, Simulasi Gangguan, Karakteristik *Slope*, ETAP 19.0.1, *Microsoft Excel*

ABSTRACT

The reliability of transformer protection systems is very important to maintain continuity of electricity supply and prevent equipment damage due to disturbances. Differential relays are the main protection for transformers, functioning to detect internal disturbances by comparing the incoming and outgoing currents. The 4 Ujungberung Substation transformers have experienced disturbances, failures, fires, malfunctions, and relay settings that were too large, making them less sensitive to disturbance currents. An analysis of the differential relay settings and performance based on slope characteristics is necessary to improve the reliability of the protection system. This study aims to compare the theoretical setting calculations with the installed differential relay settings and analyze their performance through fault current simulation and slope characteristics. The methods used include theoretical calculations and simulations using ETAP 19.0.1 and Microsoft Excel to model internal and external faults. The results of the study indicate a significant gap between the theoretical setting calculations (slope 1 = 11.762%, slope 2 = 23.524%) and the installed settings (slope 1 = 30%, slope 2 = 80%). Evaluation based on minimum standards with slope settings of 1 = 25% and slope 2 = 50% resulted in more balanced relay performance, sensitivity to internal disturbances, and stability against external disturbances. Recommendations include using a low-impedance differential relay and evaluating differential relay settings with consideration of inrush current when the transformer energizes, excitation current, stability, and harmonic restraint.

Keywords: Transformer, Differential Relays, Disturbance Simulation, Slope Characteristics, ETAP 19.0.1, Microsoft Excel

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Transformator	5
2.2 Sistem Proteksi Transformator	10
2.2.1 Dasar Sistem Proteksi	11
2.2.2 Syarat Sistem Proteksi	11
2.2.3 Instrumen Sistem Proteksi	12
2.3 Komponen Sistem Proteksi Transformator	13
2.3.1 Skema Kinerja Sistem Proteksi.....	16
2.4 Relai Differensial.....	17
2.4.1 Jenis-Jenis Relai Differensial.....	17
2.4.2 Standar Relai Differensial.....	18
2.4.3 Parameter Relai Differensial.....	20
2.5 <i>Software Tools</i>	23
2.5.1 ETAP.....	23
2.5.2 Microsoft Excel.....	24
2.6 Penelitian Terdahulu	24

BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Desain Penelitian	29
3.2 Lokasi Penelitian	30
3.3 Instrumen Penelitian	31
3.3.1 Teknik Pengumpulan Data Penelitian	31
3.3.2 Data Penelitian	32
3.4 Prosedur Penelitian	36
3.5 Analisis Data Penelitian.....	37
3.5.1 Simulasi Menggunakan ETAP 19.0.1	38
3.5.2 Simulasi Karakteristik <i>Slope</i> Relai Differensial	39
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Temuan Hasil Penelitian	41
4.1.1 Perbandingan Data Hasil Perhitungan Teoritis dan <i>Setting</i> Terpasang. 41	
4.1.2 Hasil Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat.....	46
4.1.3 Hasil Simulasi Karakteristik <i>Slope</i> Relai Differensial	50
4.2 Pembahasan	55
4.2.1 Analisis Hasil Perbandingan <i>Setting</i> Perhitungan Teoritis dan <i>Setting</i> Terpasang	55
4.2.2 Analisis Hasil Simulasi Arus Gangguan dan Karakteristik <i>Slope</i>	56
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI	57
5.1 Simpulan.....	57
5.2 Implikasi	57
5.3 Rekomendasi	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Relevan Terdahulu.....	24
Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator 4	34
Tabel 3. 2 Spesifikasi Current Transformer (CT) HV	34
Tabel 3. 3 Spesifikasi Current Transformer (CT) LV.....	34
Tabel 3. 4 Spesifikasi Pemutus (PMT) 150 kV	34
Tabel 3. 5 Spesifikasi Pemutus (PMT) 20 kV	35
Tabel 3. 6 Spesifikasi Relai Differensial	35
Tabel 4. 1 Data Hasil Perhitungan Teoritis	44
Tabel 4. 2 Perbandingan Arus <i>Setting</i> Relai Differensial.....	44
Tabel 4. 3 Selisih Perbandingan Arus <i>Setting</i> Relai Differensial	45
Tabel 4. 4 Perbandingan Arus <i>Setting</i> Relai Differensial	45
Tabel 4. 5 Selisih Perbandingan Arus <i>Setting</i> Relai Differensial	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung	5
Gambar 2. 2 Transformator Dua Belitan.....	5
Gambar 2. 3 Transformator Tipe Step-Down.....	7
Gambar 2. 4 Rangkaian Ekuivalen 1 Transformator.....	8
Gambar 2. 5 Diagram Vektor Ekuivalen 1	8
Gambar 2. 6 Rangkaian Ekuivalen 2 Transformator.....	9
Gambar 2. 7 Rangkaian Ekuivalen 3.....	9
Gambar 2. 8 Diagram Vektor Ekuivalen 3 Transformator	9
Gambar 2. 9 Current Transformer.....	12
Gambar 2. 10 Relai Differensial	12
Gambar 2. 11 Pemutus Tenaga (PMT).....	13
Gambar 2. 12 <i>Single Line Diagram</i> Terkonenksi dengan Relai Differensial.....	14
Gambar 2. 13 Prinsip Dasar Relai Differensial.....	15
Gambar 2. 14 Skema Sistem Proteksi Transformator	16
Gambar 2. 15 Kurva Karakteristik <i>Slope</i> 87T.....	19
Gambar 2. 16 Kurva Karakteristik <i>Slope</i> 87T	20
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Desain Penelitian	29
Gambar 3. 2 Gardu Induk Ujungberung 150 kV.....	30
Gambar 3. 3 Lokasi Gardu Induk Ujungberung.....	30
Gambar 3. 4 <i>Single Line Diagram</i> Gardu Induk Ujung Berung 150 kV	33
Gambar 3. 5 <i>Flowchart</i> Prosedur Penelitian	36
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Simulasi Gangguan ETAP	38
Gambar 3. 7 Simulasi Karakteristik <i>Slope</i> Relai.....	40
Gambar 4. 1 Hasil Analisis <i>Load Flow</i>	46
Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Gangguan Eksternal.....	47
Gambar 4. 3 Hasil Simulasi Gangguan Eksternal.....	48
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Gangguan Internal Zona Sisi LV	48
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Gangguan Internal Zona Sisi HV.....	49
Gambar 4. 6 Hasil Kurva <i>Slope</i> (Gangguan Eksternal)	50
Gambar 4. 7 Hasil Kurva <i>Slope</i> (Gangguan Internal Sisi HV)	51
Gambar 4. 8 Hasil Kurva <i>Slope</i> (Gangguan Internal Sisi LV).....	52
Gambar 4. 9 Hasil Kurva <i>Slope</i> Pasca Evaluasi (Gangguan Eksternal)	53
Gambar 4. 10 Hasil Kurva <i>Slope</i> Pasca Evaluasi (Gangguan Internal Sisi HV) ..	54
Gambar 4. 11 Hasil Kurva <i>Slope</i> Pasca Evaluasi (Gangguan Internal Sisi LV).....	55

DAFTAR PUSTAKA

- Altama, G., Yusvin Mustar, M., Syahputra, R., & Iman Prasetyo, T. (2019). Evaluation of Differential Protection in a Main Power Transformer: A Case Study in PT Pertamina Geothermal Energy Area of Kamojang. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 3(2).
- Bogdanov, D. (2018). Estimation of digital protection devices applicability on basis of multiple characterizing parameters. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 3(1), 198–204. <https://doi.org/10.25046/aj030123>
- Ehsan, U., Jawad, M., Javed, U., Shabih Zaidi, K., Ur Rehman, A., Rassölkin, A., Althobaiti, M. M., Hamam, H., & Shafiq, M. (2021). A Detailed Testing Procedure of Numerical Differential Protection Relay for EHV Auto Transformer. *Energies*, 14(24), 8447. <https://doi.org/10.3390/en14248447>
- Fan, J. (2002). *Modelling of On-Load Tap-Changer Transformer with Variable Impedance and its Applications*.
- Gunadin, I. C., Sombolayuk, Y. U., & Alexander, C. W. (2023). Analisis Kinerja Relai Diferensial pada Sistem Proteksi Transformator Daya PLTA Bakar. *Jurnal EKSITASI*, 2(2). <https://journal.unhas.ac.id/index.php/eksitasi/article/view/32483>
- Hafni, F. (2020). *Studi Analisa Rele Diferensial Pada Proteksi Transformator 60 MVA Gardu Induk Pauh Limo*. 9(2). <https://doi.org/10.21063/JTE.2020.3133914>
- Hartmann, W. (2017). Improving Pulp and Paper Plant MV Transformer Protection. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(1), 758–765. <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2602349>
- Hartmann, W. (2019). Improving Transformer Protection. *2019 72nd Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*, 1–18. <https://doi.org/10.1109/CPRE.2019.8765860>
- Hayder, T., Schaerli, U., Feser, K., & Schiel, L. (2008). Universal Adaptive Differential Protection for Regulating Transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 568–575. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2008.916758>
- Hossain, E. (2021). MS Excel in Engineering Data. In E. Hossain (Ed.), *Excel Crash Course for Engineers* (pp. 169–242). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71036-1_5
- Hulka, L., Klapper, U., Pütter, M., & Wurzer, W. (2009). *Measurement of line impedance and mutual coupling of parallel lines to improve the protection system*.
- IEEE. (2008). *IEEE Guide for Protecting Power Transformers IEEE Power Engineering Society Sponsored by the Power System Relaying Committee*.
- IEEE. (2015). *IEEE Guide for Differential and Polarizing Relay Circuit Testing*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7362086>
- Iskanto, E., Wahyudi, Buhan, A., & Prasetyo, I. (2010). *SPLN TS.003-1: 2010: Pola Proteksi Transformator Tenaga*.

- Karyana. (2013). *Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*.
- Laksono, Y. T., & Syahril. (2022). *Evaluasi Setting Rele Proteksi Differensial pada Generator Unit 2 PLTP Kamojang POMU menggunakan Simulasi ETAP*. <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fti/article/view/938>
- Lasiyono, M. M. (2021). Setting Relai Differensial Pada Transformator Daya 150kv Gardu Induk Pondok Indah Menggunakan Protocol Communications Modbus. *ETNIK: Jurnal Ekonomi Dan Teknik*, 1(3), 204–213. <https://doi.org/10.54543/etnik.v1i3.25>
- Leterme, W., Beerten, J., & Van Hertem, D. (2016). Nonunit protection of HVDC grids with inductive DC cable termination. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(2), 820–828. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2015.2422145>
- Li, W. (2001). *Design of 220kV High Impedance On-Load Tap-Changing Transformers*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111680403>
- Maheshwari, R. P., & Verma, H. K. (1997). Adaptive digital differential relay with overexcitation and inrush restraint. In *Electric Power Systems Research* (Vol. 41).
- Monadi, M., Gavriluta, C., Luna, A., Candela, J. I., & Rodriguez, P. (2017). Centralized protection strategy for medium voltage DC microgrids. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1), 430–440. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2600278>
- Nazari, A. A., Hosseini, S. A., & Taheri, B. (2023). Improving the performance of differential relays in distinguishing between high second harmonic faults and inrush current. *Electric Power Systems Research*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109675>
- Palanisamy, S., Chenniappan, S., Nayagi, A. T., & Mahendra, R. (2020). Transformers. In *Basic Electrical and Instrumentation Engineering* (pp. 79–124). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119765141.ch2>
- Pamudji, N. (2014). *KEPDIR 0520 PLN Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Transformator*.
- Prakarsa, A. S. (2024). Analisa Penggunaan Relai Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Sekarputih (PT. PLN PERSERO). *JREEC : Journal of Renewable Energy, Electronics and Control*, 4(1). <https://doi.org/10.31284/j.JREEC.2024>
- Sattari, A., Widodo, H., Teknik Elektro, P., Teknik Universitas Muhammadiyah Lampung Jl HZA Pagar Alam No, F., & Lampung, B. (2021). Analisis Setting Arus Relai Differensial Pada Trafo II 30 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami. In *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* (Vol. 3, Issue 1).
- Shah, A. M., & Bhalja, B. (2015). A New Adaptive Differential Protection Scheme for Tap Changing Power Transformer. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 16(4), 339–348. <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2015-0005>
- Shcheglovitova, E., & Zotova, A. (2024). Classification Of Transformer Substations. *Energy Systems*, 9(1), 122–127. <https://doi.org/10.34031/es.2024.1.016>

- Tien, D. V., Ngo, D.-K., Duy, T. T., & Khac, T. N. (2024). Performing Load Flow and Fault Analysis in Smart Grid using ETAP Software. *2024 9th International Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)*, 157–162. <https://doi.org/10.1109/ATiGB63471.2024.10717785>
- Wei, J. (2023). Relay Protection Setting Calculation of Power Transformer Based on ETAP. *Journal of Physics: Conference Series*, 2480(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2480/1/012018>
- Wong, K. I., Law, K. H., Siaw, T. U., Wong, C. K., & Barsoum, N. N. (2019). Analysis of Electrical Distribution System for Offshore Oil and Gas Platform. *2019 IEEE Asia Power and Energy Engineering Conference (APEC)*, 302–306. <https://doi.org/10.1109/APEC.2019.8720690>
- Xu, C., Damle, T., Bosworth, M., Soto, D., Agarwal, R., Steurer, M., & Graber, L. (2021). Piezoelectrically Actuated Fast Mechanical Switch for MVDC Protection. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(5), 2955–2964. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3030869>
- Zuhal. (1988). Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. *PT Gramedia Pustaka Utama*.