

BAB V

SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis temuan dan pembahasan pada penelitian ini, didapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Terdapat selisih yang signifikan antara *setting* perhitungan teoritis dengan *setting* terpasang pada relai differensial transformator 4 Gardu Induk Ujungberung. *Setting* terpasang menunjukkan nilai *slope* yang lebih besar (*slope* 1 = 30% dan *slope* 2 = 80%) dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis (*slope* 1 = 11,762% dan *slope* 2 = 23,524%) sehingga memiliki *gap* yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa relai differensial yang terpasang termasuk dalam jenis *high impedance differential relay* dan tidak sesuai dengan standar yang berlaku untuk transformator daya. Evaluasi terhadap *setting slope* dengan menggunakan standar minimum yang berlaku (*slope* 1 = 25% dan *slope* 2 = 50%) memiliki *gap* yang lebih kecil dan relai tetap bekerja dengan baik.
2. Hasil simulasi gangguan menggunakan *software* ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa relai differensial bekerja dengan baik dalam mendeteksi gangguan internal (baik di sisi HV maupun LV) dan memberikan perintah *trip* pada PMT. Namun, relai mengalami maloperasi saat terjadi gangguan eksternal akibat polaritas yang tidak sesuai. Setelah perbaikan, relai tidak bekerja saat gangguan eksternal, sesuai dengan prinsip kerjanya. Karakteristik *slope* berdasarkan perhitungan teoritis menunjukkan bahwa relai tidak terlalu stabil terhadap gangguan eksternal, sedangkan *setting* terpasang menunjukkan relai terlalu stabil terhadap gangguan eksternal tetapi tidak terlalu sensitif terhadap gangguan internal. Evaluasi berdasarkan standar minimum yang berlaku dengan *setting slope* 1 = 25% dan *slope* 2 = 50% menghasilkan relai yang lebih seimbang, yaitu sensitif terhadap gangguan internal dan stabil terhadap gangguan eksternal.

5.2 Implikasi

Berdasarkan hasil analisis temuan dan pembahasan pada penelitian ini, didapatkan implikasi penelitian sebagai berikut:

1. *Setting* relai differensial yang tidak sesuai dengan standar dapat menyebabkan relai tidak bekerja secara optimal, baik dalam mendeteksi gangguan internal maupun dalam menjaga stabilitas terhadap gangguan eksternal. Hal ini dapat meningkatkan risiko kerusakan transformator akibat gangguan yang tidak terdeteksi atau terlambat direspons.
2. Evaluasi dan penyesuaian *setting* relai differensial berdasarkan standar yang berlaku (seperti standar PLN dan IEEE) dapat meningkatkan keandalan sistem proteksi transformator, sehingga mengurangi risiko kerusakan dan *downtime* pada sistem tenaga listrik.

5.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis temuan dan pembahasan pada penelitian ini, didapatkan rekomendasi penelitian sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan evaluasi *setting* relai differensial transformator 4 Gardu Induk Ujungberung dengan mempertimbangkan *inrush current* saat transformator *energize*, arus eksitasi, *stability*, dan *harmonic restraint*. Hal ini dapat meningkatkan sensitivitas relai terhadap gangguan internal dan menjaga stabilitas terhadap gangguan eksternal.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk mengimplementasikan relai differensial jenis *low impedance* pada transformator daya, mengingat jenis relai ini lebih sesuai dengan karakteristik transformator dan memiliki sensitivitas serta stabilitas yang lebih baik. Selain itu, nilai hasil perhitungan teoritis dengan *setting* terpasang biasanya hampir mendekati dan memiliki *grap* yang cukup kecil.

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*.