

**IMPLEMENTASI RELAI DIFERENSIAL DENGAN SKEMA
CENTRALIZED LOW IMPEDANCE UNTUK SISTEM PROTEKSI
BUSBAR 150 KV DI GARDU INDUK PAN ASIA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S1 - Teknik Elektro



Oleh:

Yusuf Ihsan Sumirat Al Kaaarim
E.5051.1902259

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2023

**IMPLEMENTASI RELAI DIFERENSIAL DENGAN SKEMA
CENTRALIZED LOW IMPEDANCE UNTUK SISTEM PROTEKSI
BUSBAR 150 KV DI GARDU INDUK PAN ASIA**

Oleh:

YUSUF IHSAN SUMIRAT AL KAAARIM

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi
S1 - Teknik Elektro

© Yusuf Ihsan Sumirat Al Kaaarim
Universitas Pendidikan Indonesia
2023

© Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

YUSUF IHSAN SUMIRAT AL KAAARIM

E.5051.1902259

**IMPLEMENTASI RELAI DIFERENSIAL DENGAN SKEMA
CENTRALIZED LOW IMPEDANCE UNTUK SISTEM PROTEKSI
BUSBAR 150 KV DI GARDU INDUK PAN ASIA**

Disetujui dan disahkan oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Yadi Mulyadi, M.T.

NIP. 19630727 199302 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Tasma Sucita, S.T., M.T.

NIP. 19641007 199101 1 001

Mengetahui,

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**



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

NIP. 19770908 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah berupa skripsi yang berjudul **“IMPLEMENTASI RELAI DIFERENSIAL DENGAN SKEMA CENTRALIZED LOW IMPEDANCE UNTUK SISTEM PROTEKSI BUSBAR 150 KV DI GARDU INDUK PAN ASIA”** ini merupakan hasil karya saya sendiri. Saya tidak melakukan tindakan plagiarisme, meniru, atau melakukan pengutipan dengan cara yang menyalahi kaidah dan etika masyarakat keilmuan. Melalui pernyataan ini, saya bertanggung jawab untuk menerima risiko atau sanksi apabila di dalam karya tulis ini terbukti adanya unsur pelanggaran terhadap etika keilmuan berkenaan keaslian karya tulis ini.

Bandung, 1 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow 5000 Rupiah stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '5000', and 'METERAI TEMPEL'. The serial number '5A545AJX01204510' is visible at the bottom of the stamp.

Yusuf Ihsan Sumirat Al Kaaarim
NIM. 1902259

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, penulis telah diberikan kemudahan dan kelancaran dalam melakukan penyusunan skripsi ini sehingga dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad ﷺ.

Skripsi dengan judul **“IMPLEMENTASI RELAI DIFERENSIAL DENGAN SKEMA CENTRALIZED LOW IMPEDANCE UNTUK SISTEM PROTEKSI BUSBAR 150 KV DI GARDU INDUK PAN ASIA”** ini disusun sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia. Pokok bahasan pada skripsi ini ialah menganalisis kinerja relai arus lebih yang digunakan sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia saat ini, kemudian melakukan perancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial untuk dapat diterapkan di GI Pan Asia, serta menganalisis kinerja rancangan tersebut.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam penulisan skripsi ini sehingga skripsi dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penulis menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Oleh karena itu, penulis menaruh harapan besar bagi pembaca agar dapat memberikan kritik dan saran terhadap skripsi ini sehingga penulis dapat memperbaiki hasil karya tulisnya di masa mendatang.

Bandung, 1 Agustus 2023



Yusuf Ihsan Sumirat Al Kaaarim
NIM. 1902259

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah ﷻ, Tuhan sekalian alam, atas berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Tentunya dalam penulisan skripsi ini terdapat peran dari berbagai pihak yang telah turut membantu secara moril dan materiil, maka dengan ini penulis hendak mengucapkan rasa terima kasih diantaranya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa mendukung dan mendo'akan akan kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. H. Yadi Mulyadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberi bimbingan, arahan, dan nasihat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Tasma Sucita, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberi bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Iwan Kustiawan, Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1-Teknik Elektro, FPTK UPI.
5. Bapak Dr. Ir. Maman Somantri, S.Pd., M.T. selaku Ketua KBK Teknik Tenaga Listrik, Program Studi S1-Teknik Elektro, FPTK UPI.
6. Jajaran *staff* beserta tenaga pendidik dan kependidikan di lingkungan Program Studi S1-Teknik Elektro, FPTK UPI.
7. Bapak Ahmad Firdaus selaku *Supervisor* GI Pan Asia yang telah mengizinkan dan memfasilitasi kegiatan penelitian di GI Pan Asia.
8. Gumelar Ikhsan Ramadhan, Riza Syahputra, dan Dicky Darmawan selaku Operator GI Pan Asia yang mendampingi kegiatan penelitian di GI Pan Asia.
9. Muhammad Anlika Harfian dan Farhan Muhammad Andria sebagai rekan dalam melakukan penelitian di GI Pan Asia yang senantiasa mendukung, memberi bantuan, dan saling bertukar pikiran dalam penyusunan skripsi ini.
10. Seluruh *staff* dan pegawai di lingkungan GI Pan Asia.
11. Rekan-rekan Kelas TE-01 2019 yang senantiasa saling mendukung dan memberi bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
12. Rekan-rekan seperjuangan dan pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah ﷻ membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Kemudian, teramat besar harapan penulis agar skripsi ini dapat memberi manfaat dan menambah pengetahuan kepada pembaca.

Bandung, 1 Agustus 2023



Yusuf Ihsan Sumirat Al Kaaarim
NIM. 1902259

ABSTRAK

Pada kondisi saat ini belum diterapkan proteksi busbar secara khusus di GI Pan Asia, melainkan hanya mengandalkan relai arus lebih yang merupakan relai proteksi cadangan untuk *bay line*, *bay trafo*, dan *bay kopel*. Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa relai arus lebih memiliki waktu kerja yang lambat dalam melepaskan gangguan pada busbar, serta tidak selektif karena relai tidak dapat menentukan lokasi terjadinya gangguan, sehingga kesalahan kerja relai sering terjadi. Berdasarkan fakta tersebut, menimbulkan identifikasi permasalahan yaitu apakah relai arus lebih yang digunakan sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia dapat bekerja sesuai dengan kaidah proteksi sistem tenaga listrik atau tidak. Sehingga tujuan dari penelitian ini ialah menganalisis kinerja relai arus lebih sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia, dan merancang proteksi busbar menggunakan relai diferensial untuk dapat diterapkan di GI Pan Asia. Sebagai kebaruan dari penelitian ini, penulis merancang relai diferensial proteksi busbar dengan skema *centralized low impedance*. Dengan skema tersebut dapat digunakan transformator arus (CT) dengan rasio yang berbeda pada setiap *bay* sehingga lebih relevan untuk diterapkan di GI Pan Asia. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif berbasis eksperimental dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Hasil penelitian menunjukkan relai arus lebih memiliki waktu kerja yang lambat dengan total waktu untuk melepaskan gangguan pada Busbar I ialah 2.255 ms, dan Busbar II ialah 3.010 ms. Kemudian, relai tidak sensitif dalam mendeteksi gangguan, serta tidak selektif dalam melepaskan busbar yang mengalami gangguan. Sedangkan rancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial menunjukkan kinerja yang sangat cepat dengan total waktu untuk melepaskan gangguan pada Busbar I dan Busbar II ialah 40 ms. Kemudian, relai sangat sensitif dalam mendeteksi gangguan, serta memiliki selektifitas yang baik sehingga hanya busbar yang mengalami gangguan saja yang dilepaskan dari sistem dan busbar lainnya tetap dapat beroperasi normal.

Kata kunci: busbar, sistem proteksi, relai arus lebih, relai diferensial

ABSTRACT

In the current conditions, a busbar protection has not been implemented at the Pan Asia Substation, instead it only relies on the overcurrent relays which are the backup protection relays for transmission lines, power transformers, and a busbar coupler. Several studies stated that the overcurrent relays has a slow performance in clearing the faults on the busbars, and it is less selective because the relay cannot determine the location of the fault, so that the relay miscoordination happens often. Based on these facts, it raises the research question, whether the overcurrent relay that used as a busbar protection at Pan Asia Substation can perform according to the standards of power system protection. So, the purpose of this research is to analyze the performance of the overcurrent relays as a busbar protection in Pan Asia Substation, and then to design a busbar protection using differential relays to be applied in Pan Asia Substation. As a novelty of this research, the authors designed a busbar protection differential relay with a centralized low impedance scheme. By using this scheme, current transformer (CT) with a different ratio can be used in each bays so it is more relevant to be applied in Pan Asia Substation. This research was conducted using an experimental-based quantitative approach with a simulation method using ETAP 19.0.1. The results showed that the overcurrent relays has a slow performance with a clearing time on Busbar I is 2.255 ms, and on Busbar II is 3.010 ms. And then, the relays is not sensitive in detecting the faults, and also is not selective in determining which busbar that should be released during the faults. Meanwhile, the busbar protection design that using the differential relays shows a very fast performance with a clearing time on Busbar I and Busbar II is 40 ms. And then, the relays is very sensitive in detecting the faults, and also has good selectivity so that only the faulty busbar that are released from the system and the other busbars can still operate normally.

Keywords: busbar, power system protection, overcurrent relay, differential relay

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Struktur Organisasi Skripsi	4
BAB II : KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.1.1 Gardu Induk	7
2.1.2 Busbar	7
2.2 Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.2.1 Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik	9
2.2.2 Persyaratan Proteksi Sistem Tenaga Listrik	11
2.3 Sistem Proteksi Busbar.....	11
2.3.1 Relai Diferensial Proteksi Busbar.....	12
2.3.2 Jenis Relai Diferensial Busbar	13
2.3.3 Kaidah <i>Setting</i> Relai Diferensial Busbar	15
2.3.4 Proteksi Cadangan Busbar	18
2.4 Hasil Penelitian Yang Relevan.....	19
2.4.1 Implementasi Relai Arus Lebih dengan Skema <i>Non-cascade</i> sebagai Proteksi Busbar 20 KV	19
2.4.2 Perancangan Sistem Pengaman Busbar 150 KV Menggunakan Relai Diferensial.....	20
2.4.3 Perencanaan Relai Diferensial sebagai Sistem Proteksi Busbar 150 KV.....	21
BAB III : METODE PENELITIAN	23
3.1 Desain Penelitian	23
3.2 Partisipan dan Lokasi Penelitian	24
3.3 Instrumen Penelitian.....	25
3.3.1 Metode Pengumpulan Data.....	25
3.3.2 Data Penelitian.....	26
3.4 Prosedur Penelitian.....	29

3.5	Analisis Data	31
3.5.1	Pemodelan <i>Single Line Diagram</i> Pada Software ETAP 19.0.1	31
3.5.2	Analisis Kinerja Relai Arus Lebih Sebagai Proteksi Busbar.....	32
3.5.3	Merancang Proteksi Busbar Menggunakan Relai Diferensial.....	33
3.5.4	Analisis Kinerja Rancangan Relai Diferensial Proteksi Busbar.....	41
3.5.5	Perbandingan Kinerja Relai	41
BAB IV : TEMUAN DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Temuan Penelitian	42
4.1.1	Kinerja Relai Arus Lebih sebagai Proteksi Busbar	42
4.1.2	Rancangan Proteksi Busbar Menggunakan Relai Diferensial	44
4.1.3	Kinerja Rancangan Relai Diferensial Proteksi Busbar	47
4.2	Pembahasan	51
4.2.1	Analisis Kinerja Relai Arus Lebih sebagai Proteksi Busbar	51
4.2.2	Analisis Rancangan Proteksi Busbar Menggunakan Relai Diferensial.....	54
4.2.3	Analisis Kinerja Rancangan Relai Diferensial Proteksi Busbar.....	57
4.2.4	Perbandingan Kinerja Relai Arus Lebih dan Rancangan Relai Diferensial Proteksi Busbar	60
BAB V : SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI.....		62
5.1	Simpulan.....	62
5.2	Implikasi.....	63
5.3	Rekomendasi	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi sistem tenaga listrik	6
Gambar 2.2 Gardu induk di dalam sistem tenaga listrik	7
Gambar 2.3 Busbar pada gardu induk	8
Gambar 2.4 Skema proteksi sistem tenaga listrik.....	9
Gambar 2.5 Prinsip diferensial pada proteksi busbar	12
Gambar 2.6 Diagram pengawatan relai diferensial <i>high impedance</i>	14
Gambar 2.7 Diagram pengawatan relai diferensial <i>low impedance</i>	14
Gambar 2.8 Kurva karakteristik relai diferensial	18
Gambar 3.1 Diagram alir desain penelitian	23
Gambar 3.2 Lokasi GI Pan Asia pada peta (<i>Google Maps</i>)	24
Gambar 3.3 Single line diagram GI Pan Asia	26
Gambar 3.4 Diagram alir prosedur penelitian	29
Gambar 3.5 Pemodelan <i>single line diagram</i> GI Pan Asia pada ETAP 19.0.1	31
Gambar 3.6 Tampilan simulasi hubung singkat pada ETAP 19.0.1	32
Gambar 3.7 Tampilan <i>Sequence Viewer</i> pada ETAP 19.0.1	32
Gambar 3.8 Langkah perancangan proteksi busbar.....	33
Gambar 3.9 Skema <i>centralized low impedance</i>	34
Gambar 4.1 Tampilan simulasi gangguan pada Busbar I.....	42
Gambar 4.2 Kurva hubungan arus gangguan Busbar I dengan waktu <i>trip</i> relai .	43
Gambar 4.3 Tampilan simulasi gangguan pada Busbar II.....	43
Gambar 4.4 Kurva hubungan arus gangguan Busbar II dengan waktu <i>trip</i> relai	44
Gambar 4.5 Proteksi busbar menggunakan relai arus lebih di GI Pan Asia saat ini	45
Gambar 4.6 Rancangan relai diferensial proteksi busbar dengan skema <i>centralized low impedance</i>	45
Gambar 4.7 Kurva karakteristik Relai Diferensial Busbar I	46
Gambar 4.8 Kurva karakteristik Relai Diferensial Busbar II.....	47
Gambar 4.9 Tampilan simulasi gangguan pada Busbar I.....	47
Gambar 4.10 Kurva hubungan arus gangguan Busbar I dengan waktu <i>trip</i> relai	48
Gambar 4.11 Tampilan simulasi gangguan di luar Busbar I	48
Gambar 4.12 Tampilan simulasi gangguan pada Busbar II.....	49
Gambar 4.13 Kurva hubungan arus gangguan Busbar II dengan waktu <i>trip</i> relai	50

Gambar 4.14 Tampilan simulasi gangguan di luar Busbar II.....	50
Gambar 4.15 <i>Plot</i> titik gangguan terhadap kurva karakteristik Relai Diferensial Busbar I.....	55
Gambar 4.16 <i>Plot</i> titik gangguan terhadap kurva karakteristik Relai Diferensial Busbar II.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koordinasi relai arus lebih dengan skema <i>non-cascade</i>	20
Tabel 2.2 Koordinasi relai diferensial proteksi busbar.....	21
Tabel 2.3 Koordinasi relai diferensial proteksi busbar.....	21
Tabel 3.1 Daftar Beban GI Pan Asia	27
Tabel 3.2 Spesifikasi transformator arus (CT) setiap bay	27
Tabel 3.3 Spesifikasi dan <i>setting</i> relai arus lebih	27
Tabel 3.4 Kapasitas hubung singkat saluran	28
Tabel 3.5 Arus setiap bay pada berbagai kondisi	28
Tabel 3.6 Spesifikasi CT untuk rancangan relai diferensial proteksi busbar	34
Tabel 3.7 Arus <i>bay</i> yang terhubung dengan Busbar I.....	35
Tabel 3.8 Arus diferensial dan arus <i>restrain</i> pada Busbar I.....	35
Tabel 3.9 Arus <i>bay</i> yang terhubung dengan Busbar II.....	36
Tabel 3.10 Arus diferensial dan arus <i>restrain</i> pada Busbar II.....	37
Tabel 4.1 Koordinasi relai arus lebih saat terjadi gangguan pada Busbar I	42
Tabel 4.2 Koordinasi relai arus lebih saat terjadi gangguan pada Busbar II.....	44
Tabel 4.3 Hasil <i>setting</i> relai diferensial busbar	46
Tabel 4.4 Koordinasi relai diferensial saat terjadi gangguan pada Busbar I.....	48
Tabel 4.5 Koordinasi relai saat terjadi gangguan di luar Busbar I.....	49
Tabel 4.6 Koordinasi relai diferensial saat terjadi gangguan pada Busbar II.....	50
Tabel 4.7 Koordinasi relai saat terjadi gangguan di luar Busbar II.....	51
Tabel 4.8 Perbandingan kinerja relai sebagai proteksi busbar	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Kurva Arus Waktu Relai Arus Lebih	67
Lampiran 2 : Perhitungan Arus Hubung Singkat	69
Lampiran 3 : Tampilan Simulasi pada software ETAP 19.0.1	70
Lampiran 4 : Memasukkan parameter peralatan pada software ETAP 19.0.1	72

DAFTAR PUSTAKA

- Bainy, R. G., Johnson, B. K., & Guzmán, A. (2021). Dynamic zone selection for busbar protection Using graph theory and path analysis. *Electric Power Systems Research ELSEVIER*, 197, 107241. <https://doi.org/10.1016/J.EPSR.2021.107241>
- Behrendt, K., Costello, D., & Zocholl, S. E. (2010). Considerations for using high-impedance or low-impedance relays for bus differential protection. *2010 IEEE 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers*. <https://doi.org/10.1109/CPRE.2010.5469509>
- Benmouyal, G., Meisinger, M., Burnworth, J., Elmore, W. A., Freirich, K., Kotos, P. A., Leblanc, P. R., Lerley, P. J., McConnell, J. E., Mizener, J., Pinto De Sa, J., Ramaswami, R., Sachdev, M. S., Strang, W. M., Waldron, J. E., Watanasiroch, S., & Zocholl, S. E. (1999). IEEE standard inverse-time characteristic equations for overcurrent relays. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(3), 868–871. <https://doi.org/10.1109/61.772326>
- Cardenas, J., & Andrichak, J. G. (1995). *Bus Differential Protection Implementation of a Special Protection System (SPS) in the Interconnection between the Turkish and ENTSO-E Power Systems to counteract propagation of Major Disturbances View project Bus Differential Protection Bus Differential Protection*. <https://www.researchgate.net/publication/305442652>
- Dos Santos, A., & De Barros, M. T. C. (2016). Comparative Analysis of Busbar Protection Architectures. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(1), 254–261. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2015.2434415>
- Eissa, M. M. (2013). A new digital busbar protection technique based on frequency information during CT saturation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 45(1), 42–49. <https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2012.08.054>
- Fauzi, A., Arjana, I., Vol, C. P.-J. S., & 2020, undefined. (2020). Perancangan Sistem Pengaman Busbar 150 kV Menggunakan Rele Diferensial Di Gardu Induk Sanur. *ojs.unud.ac.id*, 7(2). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/download/61441/35406>
- Gajic, Z., Faramawy, H., He, L., Koppari, K., Max, L., & Kockott, M. (2019). Modern Design Principles for Numerical Busbar Differential Protection. *IEEE 72nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, CPRE 2019*. <https://doi.org/10.1109/CPRE.2019.8765881>
- Ismail, R., Hasibuan, A., Nasution, E. S., Hardi, S., & Ari Nrartha, I. M. (2020). Comparative analysis of differential relay *settings* in Langsa substation transformer to avoid protection failure. *2020 IEEE 4th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering, ELTICOM 2020 - Proceedings*, 52–56. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM50775.2020.9230490>
- Kasztenny, B., Conrad, S., Beaumont, P., Behrendt, K., Bolado, O., Boyle, J., Brunello, G., Burger, J., Calero, F., Chano, S., Dalke, G., Darlington, A., Docarmo, H., Fontana, D., Gajic, Z., Holbach, J., Kojovic, L., Lopez, F., Lukach, D., ... Zocholl, S. (2011). Exploring the IEEE C37.234 guide for protective relay application to power system buses. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 936–943. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2048128>

- Kasztenny, B., Kulidjian, A., Campbell, B., & Pozzuoli, M. (2000). Operate and Restraint Signals of a Transformer Differential Relay. *54th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/323498422>
- Mohan, S. M., & Chatterjee, S. (2010). Busbar Protection - A Review. *IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering*.
- PT. PLN P3B Jawa-Bali. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali: Vol. Complete (Complete)*. PT. PLN (Persero) Kebayoran Baru.
- PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Busbar: Vol. PDM-SGI (17 ed.)*. PT. PLN (Persero) Kebayoran Baru.
- PT. PLN UIT JBT UPT Bandung. (2022). *Petunjuk Pengoperasian Gardu Induk Pan Asia: Vol. PPGI-PNSIA (11 ed.)*. PT. PLN (Persero) UPT Bandung.
- Purwanto, H., Prasetya, H., & Firdaus, I. (2019). Implementation of over Current Relays with Non-Cascade Scheme on Medium Voltage Switchgear as Busbar Protection Study Case in PT PLN (Persero) UIT JBB. *Proceedings of the IEEE 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011089>
- Siallagan, J., Tanjung, A., TEKNIK, A. A.-J., & 2021, undefined. (2021). Studi Kebutuhan Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi Pada Gardu Induk Dumai PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru. *journal.unilak.ac.id*, 15(2), 94–103. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/teknik/article/view/6623>
- SPLN T5.002-1: 2010. (2010). *Pola Proteksi Saluran Transmisi: Vol. Bagian Satu (Satu)*. PT. PLN (Persero) Kebayoran Baru.
- Thompson, M., Folkers, R., & Sinclair, A. (2011). Secure Application of Transformer Differential Relays for Bus Protection. *IEEE 58th Annual Conference for Protective Relay Engineers*.
- Thompson, M. J. (2011). Percentage restrained differential, percentage of what? *2011 IEEE 64th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, 278–289. <https://doi.org/10.1109/CPRE.2011.6035629>
- Ziegler, G. (2012). *Numerical Differential Protection: Principles and Applications: Vol. Second Edition*. John Wiley & Sons. https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=sWLHKS3pdUC&oi=fnd&pg=P2&dq=Numeric+Differential+Protection&ots=nHLM2W12hq&sig=GYotq0Xp4SL2cQyX_t1wReBuO_I&redir_esc=y#v=onepage&q=Numeric%20Differential%20Protection&f=false
- Zocholl, S. E. (2003). Rating CTs for Low Impedance Bus and Machine Differential Applications. *IEEE 27th Annual Western Protective Relay Conference*.