ANALISIS PENERAPAN PROTEKSI POLA *NON-CASCADE* AKIBAT GANGGUAN PADA BUSBAR 20KV

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

SOLIKIN

210111301012

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

ANALISIS PENERAPAN PROTEKSI POLA *NON-CASCADE* AKIBAT GANGGUAN PADA BUSBAR 20KV

SKRIPSI

Skripsi diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana

Disusun Oleh :

SOLIKIN

210111301012

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA
2026

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 08 Januari 2026

Mahasiswa,



Solikin

210111301012

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh	:	
Nama	:	Solikin
NIM	:	210111301012
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Skripsi	:	Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Ganggauan pada Busbar 20 kV

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Hamzah, S.T., M.T., Ph.D ( )

Pembimbing 2 : Sinka Wilyanti, S.T., M.T. ( )

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Januari 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Solikin
NIM : 210111301012
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Gangguan pada Busbar 20 kV

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T (.....)

Penguji 2 : Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT (.....)

Penguji 3 : Devan Junesco Vresdian, S.ST., M.Sc.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tangal : 03 Februari 2026

JGU Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama mahasiswa : SOLIKIN

NIM : 210111301012

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Penerapan Skema Proteksi Pola Non-Cascade Akibat Gangguan Pada Busbar 20kv**

Dosen Penguji 1 : Mauludi Manfaluthy, S.T, M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Tambahkan data / analisa gangguan busbar di Gardu lain	1. sudah ditambahkan data gangguan busbar di Gardu induk lain.	
	Untuk memvalidasi hasil penelitian anda.		
2.	Pada batasan masalah, ditambahkan, batasan mengenai relay harus sudah berbasis logika	2. sudah ditambahkan pada batasan masalah.	
3.	Pada sub bab 2.4.9 di akhiri, berikan highlight	3. sudah dibuatkan highlight	
	yg membedakan penelitian anda dgn 5 jurnal sebelumnya.	4. sudah ditambahkan pada lampiran.	

4. Datasheet dari tools yg digunakan tambahkan pada lampiran

Depok, 09/02/ 2026

Mengetahui,
Ketua Program Studi

(Brainvendra Widi D. S.ST, M. Sc. Eng)
NIK. 0415119601

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : SOLIKIN

NIM : 210111301012

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Penerapan Skema Proteksi Pola Non-Cascade Akibat Gangguan Pada Busbar 20kv**

Dosen Penguji 2 : Arisa Olivia Putri, S.S.T., M.IT.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Hasil penghitungan pada 48-50 bisa disajikan juga dalam bentuk tabel	Sudah disajikan dalam bentuk tabel	
2.	Kesimpulan bisa dielaborasi lagi.	Kesimpulan sudah disempurnakan	
3.	Dinantikan.	Sudah disesuaikan yang menjadi catatan	

Depok, 09 / 02 / 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

(Brainvendra Widhi D., S.ST, M.Sc. Eng.)

NIK. 04151119601

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : SOLIKIN

NIM : 210111301012

Jurusan : Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Penerapan Skema Proteksi Pola Non-Cascade Akibat Gangguan Pada Busbar 20kv**

Dosen Penguji 3 : Devan Junesco Vresdian, S.ST., M.Sc.Eng.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Sesuaikan dan perbaiki daftar pustaka	Sudah diperbaiki	
2.	Tambahkan daftar singkatan (jika diperlukan)	Sudah ditambahkan daftar singkatan	
3.	Tambahkan spesifikasi OMICRON CMC 356 pada BAB II	Sudah ditambahkan pada bab II.	
4.	Tambahkan dokumentasi SK DIR 520 tahun 2014 agar claim data pada BAB IV relevan	Sudah ditambahkan pada bagian bab II.	
5.	Tambahkan dan perbaiki BAB V sesuai dengan analisa yang didapatkan	Sudah diperbaiki dan disesuaikan pada kesimpulan	
6.	Sesuaikan penulisan sesuai format skripsi JGU.	Sudah disesuaikan	

Depok, 09/02/ 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

(Brainvendra Widi D, S.ST., M.Sc.Eng)

NIK. 04151 19601

Form B2 – Lembar Konsultasi Skripsi	Revisi ke: 3
	Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Solikin

NIM : 210111301012

Judul : Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Ganggauan pada Busbar 20 kV

Dosen Pembimbing I : Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	**01/12/2025**	Diskusi hasil sidang proposal bab I,II,III	
2	**12/12/2025**	Bahas tentang rencana bab IV	
3	**20/12/2025**	**Bahas terkait sub bab 4 analisa gangguan busbar**	
4	**23/12/2025**	**Bahas terkait implementasi non cascade**	
5	**03/01/2026**	**Bahas terkait pengujian penelitian**	
6	**06/01/2026**	**Bahas kesimpulan dan saran**	
7	**07/01/2026**	**Pembahasan ulang bab IV dan bab V**	
8	**08/01/2026**	**Finalisasi bab I,II,III,IV dan bab V**	

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 08 Januari 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng)
NIK. 0415119601

Form B2 – Lembar Konsultasi Skripsi	Revisi ke: 3 Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Solikin

NIM : 210111301012

Judul : Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Ganggauan pada Busbar 20 kV

Dosen Pembimbing II : Sinka Wilyanti, ST., MT

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	**01/12/2025**	Diskusi hasil sidang proposal bab I,II,III	
2	**12/12/2025**	Bahas tentang rencana bab IV	
3	**20/12/2025**	**Bahas terkait sub bab 4 analisa gangguan busbar**	
4	**23/12/2025**	**Bahas terkait implementasi non cascade**	
5	**03/01/2026**	**Bahas terkait pengujian penelitian**	
6	**06/01/2026**	**Bahas kesimpulan dan saran**	
7	**07/01/2026**	**Pembahasan ulang bab IV dan bab V**	
8	**08/01/2026**	**Finalisasi bab I,II,III,IV dan bab V**	

* Minimal 6 kali pertemuan

Depok, 08 Januari 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

(Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng)
NIK. 0415119601

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Solikin
NIM	:	210111301012
Program Studi	:	Teknik Elektro
Jenis Karya	:	Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Gangguan pada Busbar 20 kV

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Royalti Non Eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di	:	Depok
Pada Tanggal	:	08 Januari 2026

Yang menyatakan,



Solikin

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan Rahmat-Nya penulis dapat menyelasaikan skripsi yang berjudul "Analisis Penerapan Pola *Non-cascade* Akibat Gangguan pada Busbar 20 kV" sesuai dengan waktu yang ditetapkan.

Dalam penulisan skripsi ini, tentunya penulis menemukan banyak kendala karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang penulis miliki. Namun, berkat adanya bimbingan dari berbagai pihak terkait, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi ini, diantaranya:

1. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta.
2. Bapak Hamzah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Sinka Wilyanti, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II.
4. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Global Jakarta yang telah memberikan pengarahan dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Oman Nurahman selaku Manager PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Karet dan seluruh staf karyawan PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Karet yang telah memberikan izin serta membantu selama pencarian data untuk penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Kris Mart Sulfianto selaku Penanggung Jawab PT. PLN (Persero) Gardu Induk Menteng dan seluruh staf karyawan PT. PLN (Persero) Gardu Induk Menteng yang telah memberikan izin serta membantu selama pencarian data untuk penyusunan skripsi ini.
7. Tim Pemeliharaan Proteksi di PT.PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Karet
8. Bapak dan Ibu pegawai di PT. PLN (Persero) UIT JBB - UPT Cawang, terima kasih atas ilmu, pengalaman dan arahannya selama penulis melakukan penelitian ini.
9. Kedua Orang Tua yang selalu mendoakan.

10. Istri dan anak-anak tercinta yang menjadi penyemangat.
11. Seluruh pihak yang membantu, terima kasih semoga Allah membalas dengan kebaikan yang berlipat ganda..

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sngat penulis harapkan.
Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa Universitas Global Jakarta khususnya, dan pembaca pada umumnya

Depok, 08 Januari 2026

Penulis

ABSTRAK

Gangguan hubung singkat pada busbar 20 kV dapat menimbulkan arus gangguan yang besar dan berpotensi mempercepat degradasi isolasi transformator apabila tidak segera diisolasi. Pada sistem proteksi konvensional, pengamanan busbar 20 kV umumnya masih menggunakan pola proteksi *cascade* yang mengandalkan koordinasi waktu bertingkat antara relai penyulang dan relai *incoming*. Pola ini memiliki keterbatasan berupa waktu pembersihan gangguan yang relatif lebih lama sehingga meningkatkan risiko kerusakan peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gangguan busbar 20 kV serta mengevaluasi kinerja sistem proteksi sebelum dan sesudah penerapan pola proteksi *non-cascade* di GIS 150 kV Menteng. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis teknis deskriptif dengan pendekatan studi kasus, berdasarkan data rekaman gangguan, pengujian karakteristik relai, serta pengujian fungsi menggunakan injeksi sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan busbar 20 kV menghasilkan arus hubung singkat 11 kA dengan waktu pembersihan yang relatif lama pada pola *cascade*. Setelah diterapkan pola proteksi *non-cascade*, waktu kerja relai *incoming* 20 kV dapat dipercepat secara signifikan tanpa mengurangi selektivitas sistem proteksi. Dengan demikian, penerapan pola proteksi *non-cascade* terbukti mampu meningkatkan keandalan sistem proteksi, mempercepat pembersihan gangguan, serta mengurangi dampak arus tembus (*through fault current*) terhadap transformator daya.

Kata kunci: Busbar 20 kV, Proteksi *Non-cascade*, *Overcurrent Relay*, Gardu Induk GIS.

ABSTRACT

Short-circuit faults on 20 kV busbars can generate high fault currents and potentially accelerate transformer insulation degradation if not promptly cleared. In conventional protection systems, 20 kV busbar protection generally applies a cascade protection scheme based on time-graded coordination between feeder relays and incoming relays. This scheme has limitations in terms of relatively long fault clearing times, which increase the risk of equipment damage. This study aims to analyze the characteristics of 20 kV busbar faults and to evaluate the performance of protection systems before and after the implementation of a non-cascade protection scheme at the GIS 150 kV Menteng substation. The research method employed is a descriptive technical analysis with a case study approach, based on fault disturbance records, relay characteristic testing, and functional testing using secondary injection. The results indicate that 20 kV busbar faults produce short-circuit current 11 kA, with relatively long clearing times under the cascade protection scheme. After the implementation of the non-cascade protection scheme, the operating time of the 20 kV incoming relay was significantly reduced without compromising protection selectivity. Therefore, the non-cascade protection scheme is proven to enhance protection system reliability, accelerate fault clearing, and reduce the impact of through fault current on power transformers.

***Keywords**: 20 kV Busbar, Non-cascade Protection, Overcurrent Relay, GIS Substation.*

DAFTAR ISTILAH

No.	Istilah	Keterangan
1	AC	Alternating Current
2	CB	Circuit Breaker
3	CBF	Circuit Breaker Failure
4	CT	Current Transformer
5	DTOC	Definite Time Over Current
6	EI	Extremely Inverse
7	GFR	Ground Fault Relay
8	GI	Gardu Induk
9	GIS	Gas Insulated Substation
10	IDMT	Inverse Definite Minimum Time
11	IED	Intelligent Electronic Devide
12	IOC	Instantaneous Over Current
13	MOC	Moment Over Current
14	OCR	Over Current Realy
15	PMT	Pemutus
16	PMS	Pemisah
17	REF	Restricted Earth Fault
18	SLD	Single Line Diagram
19	TMS	Time Multiple Setting
20	VI	Very Inverse

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI iii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iv
ABSTRAK ix
ABSTRACT x
DAFTAR ISTILAH xi
DAFTAR ISI xii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Penelitian 3
1.4. Manfaat Penelitian 3
1.5. Batasan Masalah 3
BAB II KAJIAN PUSTAKA 4
2.1. Sistem Tenaga Listrik 4
2.2. Gardu Induk 6
2.2.1. Pengertian dan Fungsi Gardu Induk 6
2.2.2. Jenis – Jenis Gardu Induk 7
2.3. Dasar Sistem Proteksi 13
2.4. Proteksi Transformator Tenaga 17
2.4.1. Proteksi Utama Transformator Tenaga 17
2.4.2. Proteksi Cadangan Transformator Tenaga 21
2.4.3. Setting OCR pada sisi *incoming* 20 kV transformator dan OCR pada sisi penyulang 20 kV 27
2.4.4. Pola Proteksi *Cascade* dan *Non-cascade* 28
2.4.5. Arus Hubung Singkat dan Through Fault Current 31

2.4.6. Sigra 32
2.4.7. Easergy Studio 32
2.4.8. Omicron CMC 356 33
2.4.9. Test Universe 33
2.4.10. Penelitian Sebelumnya 34
BAB III METODE PENELITIAN 36
3.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian 36
3.2. Alur Penelitian 36
3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian 38
3.4. Jenis dan Sumber Data 38
3.5. Teknik Pengumpulan Data 38
3.6. Teknik Analisis Data 39
3.7. Kriteria Evaluasi 39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40
4.1. Gambaran Umum Sistem Kelistrikan GIS 150 kV Menteng 40
4.2. Deskripsi gangguan busbar 20kV 41
4.3. Penerapan proteksi pola *non-cascade* 43
4.3.1. Tap setting OCR 20 kV *Incoming* Transformator 2 di GIS 150 kV Menteng 43
4.3.2. Tap setting OCR 20 kV Penyulang Transformator 2 di GIS 150 kV Menteng 44
4.3.3. Pengawatan (*wiring*) 45
4.3.4. Rangkaian logika pada relai OCR *incoming* dan penyulang 46
4.3.5. Pengujian Karakteristik Relai OCR *Incoming* 20 kV sebelum diterapkan proteksi pola *non-cascade* 48
4.3.6. Pengujian Karakteristik Relai OCR *Incoming* 20 kV setelah diterapkan proteksi pola *non-cascade* 49
4.3.6. Pengujian fungsi relai OCR *incoming* 20 kV 53
BAB V PENUTUP 56

5.1. KESIMPULAN 56
5.2. SARAN 57
DAFTAR PUSTAKA 58
LAMPIRAN 60
Lampiran 1. *Tap Setting* Pola *Cascade* 60
Lampiran 2. Tap Setting Pola Non-Cascade 61
Lampiran 3. Hasil Pengujian Rele OCR Pola *Cascade* 62
Lampiran 4. Hasil Pengujian Rele OCR Pola Non-Cascade 63
Lampiran 5. Laporan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Minyak Trafo Sebelum Gangguan 64
Lampiran 6. Laporan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Minyak Trafo Setelah Gangguan 65
Lampiran 7. Spesifikasi Alat Injeksi Sekunder Merk OMICRON CMC 356 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik 4
Gambar 2. 3 *Single Line Diagram* Sistem Transmisi 6
Gambar 2. 4 Gardu Induk Konvensional Karet Lama 8
Gambar 2. 5 GIS Karet Baru. 9
Gambar 2. 6 Gardu Induk Sistem Ring Busbar. 11
Gambar 2. 7 Gardu Induk Single Busbar. 12
Gambar 2. 8 Gardu Induk Sistem Double Busbar. 12
Gambar 2. 9 Gardu Induk Sistem Satu Setengah Busbar. 13
Gambar 2. 10 Pembagian zona proteksi(karyana,2013) 14
Gambar 2. 11 Proteksi pada gardu induk 14
Gambar 2. 12 Sistem proteksi(Karyana,2013) 17
Gambar 2. 13 Relai Bucholz PLN 2025 18
Gambar 2. 14 Relai Tekanan Lebih PLN 2025 19
Gambar 2. 15 Relai Suhu PLN 2025 19
Gambar 2. 16 Prinsip kerja relai Differential Transformator 20
Gambar 2. 17 Prinsip kerja relai gangguan tanah terbatas 20
Gambar 2. 18 Relai OCR/GFR PLN 2025 21
Gambar 2. 19 Kurva IOC 22
Gambar 2. 20 Kurva DTOC 22
Gambar 2. 21 Kurva IDMT 23
Gambar 2. 22 Grafik karakteristik kurva IDMT 25
Gambar 2. 23 Koordinasi proteksi relai OCR/GFR 27
Gambar 2. 24 Pola Pengaman *Cascade* 29
Gambar 2. 25 Pengawatan untuk Pola *Non-cascade* 30
Gambar 2. 26 Pola Pengamanan *Non-cascade* 31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 37
Gambar 4. 1 Gambar SLD 150 kV 40
Gambar 4. 2 Gambar SLD 20 kV 41
Gambar 4. 3 *Disturbance record incoming 20 kV* 41
Gambar 4. 4 Konsep koordinasi penyulang dan *incoming* 45

Gambar 4. 5 Pengawatan Pola *Non-cascade* 46
Gambar 4. 6 Rangkaian Logika Proteksi Busbar 46
Gambar 4. 7 *Logic* pada relai OCR *incoming* transformator 2 GIS menteng 47
Gambar 4. 8 *Setting output* kontak relai OCR penyulang 48
Gambar 4. 9 Grafik pengujian OCR *incoming* 20 kV dengan pola *cascade* dan *non-cascade* 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel *Setting* OCR 27
Tabel 2. 2 Penelitian Sebelumnya 34
Tabel 4. 1 Data *Setting* OCR 20 kV *Incoming* transformator 2 di GIS 150 kV Menteng 44
Tabel 4. 2 Data *Setting* OCR 20 kV Penyulang di Transformator 2 GIS 150 kV Menteng 45
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Rele OCR *Incoming* 20 kV Sebelum Non-*Cascade* 49
Tabel 4. 4 Pengujian Karakteristik OCR 49
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan dan Pengujian Relai OCR *Incoming* 52
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Fungsi Rele OCR *Incoming* 20 kV Sebelum Non-*Cascade* 53
Tabel 4. 7 Pengujian Fungsi Rele OCR *Incoming* Setelah Penerapan Pola *Non-Cascade* 54

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberlangsungan penyaluran tenaga listrik yang berkesinambungan menjadi hal yang sangat diperhatikan pada suatu gardu induk. Selain menjaga citra perusahaan yang menyediakan tenaga listrik bagi masyarakat yaitu PT. PLN (Persero) juga menjaga berlangsungnya perputaran roda ekonomi. Proses pendistribusian energi tenaga listrik berawal dari sebuah pembangkit kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi tegangan tinggi atau extra tinggi dan juga pada jaringan distribusi hingga sampai kepada konsumen.

Gardu induk adalah sekumpulan beberapa peralatan instalasi listrik yang saling berhubungan yang berfungsi sebagai penghubung dan pemutus energi listrik dari satu tingkat ke tingkat yang lain sehingga listrik dapat sampai kepada konsumen dengan aman dan efektif. Gardu induk memiliki berbagai macam instalasi yang terdapat di dalamnya, diantara adalah busbar, pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), *current transformer* (CT), *voltage transformer* (VT), Transformer, serta sistem terminasi.

Peran utama dari sistem proteksi adalam sistem tenaga listrik adalah mengisolasi wilayah yang mengalami gangguan dengan cepat, sehingga wilayah lain yang tidak terganggu tetap dapat bekerja dan beroperasi menyalurkan energi listrik secara normal. Sistem proteksi yang umum diterapkan pada jaringan distribusi dan transformator daya masih banyak menggunakan pola proteksi kaskade (*cascade*), yaitu pengamanan yang didasarkan pada koordinasi waktu kerja relai secara bertingkat dari sisi hilir ke sisi hulu. Meskipun pola ini relatif sederhana dan mudah diterapkan, namun memiliki kelemahan berupa waktu pembersihan gangguan yang relatif lebih lama.

Pada tanggal 13 April 2025 terjadi gangguan pada *Incoming* Transformator 2 GIS 150 kV Menteng. Dari hasil rekaman relai OCR *incoming* menunjukkan arus gangguan sebesar 11 kA dengan *clearing time* 500 ms. Gangguan pada sistem 20 kV menghasilkan arus hubung singkat sebesar ±12 kA yang menembus transformator sebagai *through fault current* (Mustafa.dkk, 2017). Arus gangguan tersebut terbukti memberikan dampak langsung terhadap peningkatan nilai DGA dan mempercepat degradasi isolasi transformator. Gangguan dengan nilai arus sebesar 12 kA juga dapat memicu busur api yang bersifat merusak dan berbahaya bagi pekerja. Seiring dengan perkembangan teknologi relai proteksi numerik, telah dikembangkan alternatif skema pengamanan berupa pola proteksi *non-cascade*. Dengan penerapan pola ini, diharapkan gangguan pada busbar 20 kV dapat diisolasi dengan lebih cepat (PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali, 2013).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis dan penerapan pola proteksi *non-cascade* akibat gangguan pada busbar 20 kV di GIS 150 kV Menteng.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat didefinisikan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Karakteristik gangguan yang terjadi pada busbvar 20 kV yang terjadi di GIS 150 kV Menteng?
2. Bagaimana penerapan proteksi pola *non-cascade* pada GIS 150 kV Menteng?
3. Bagaimana perbandingan kinerja sistem proteksi sebelum dan sesudah penerapan pola *non-cascade*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisis gangguan pada busbar 20 kV yang terjadi di GIS 150 kV Menteng.
2. Menerapkan proteksi pola *non-cascade* pada busbar 20kV GIS 150 kV Menteng.
3. Mengetahui hasil uji setelah dilakukan penerapan pola *non-cascade* pada GIS 150 kV Menteng.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Memberikan pemahaman teknis mengenai gangguan busbar 20 kV.
2. Dapat menerapkan proteksi pola *non-cascade* pada busbar 20 kV GIS 150 kV Menteng.
3. Dapat mengetahui hasil uji setelah dilakukan penerapan pola *non-cascade* pada GIS 150 kV Menteng.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ditetapkan batasan masalah agar pembahasan lebih terarah yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian difokuskan pada busbar 20 kV Transformator 2 GIS 150 kV Menteng.
2. Hanya memperlihatkan hasil uji antara sistem pola *cascade* terhadap sistem pola *non-cascade* pada relai *incoming* 20 kV.
3. Hanya menganalisis perbedaan antara koordinasi setting proteksi pola *cascade* dengan proteksi pola *non-cascade* pada relai *over current incoming* Transformator terhadap *feeder outgoing*.
4. Penerapan pola proteksi *non-cascade* hanya untuk relai dengan jenis numerik.

DAFTAR PUSTAKA

B. Wirawan, "Setting Koordinasi Over Current Relay pada Transformator 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang 20 kV," *Sinergi*, vol. 18, no. 3, pp. 134–140, 2014.

Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik. (2010). SKDIR 114.K/DIR/2010 Transformator Tenaga No. Dokumen: 01-22/HARLUR-PST/2009.

IEC. (2007). *IEC 60255-3: Electrical Relays – Part 3: Single Input Energizing Quantity Measuring Relays with Dependent or Independent Time.* Geneva: International Electrotechnical Commission.

IEEE. (1996). *IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays (IEEE Std C37.112-1996).* IEEE Power Engineering Society.

IEEE Standard C37.91-2000. (2000). *Guide for Protecting Power Transformers.* IEEE Power Engineering Society.

Karyana. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi Jawa Bali*, Edisi Pertama. PT PLN (Persero).

Marsuidi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik.* 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Materi 1,2,3 & 4 Training Proteksi 29 Nov – 1 Des 2022, revisi 30 Nov 2022.

Montolalu, G. G. T. B., Mangindaan, G. M. Ch., & Patras, L. S. (2021). Analysis of Overcurrent Relay on Power Transformers 150/20 kV at Tangerang Main Substation. *Jurnal Teknik Elektro*.

Mustafa, F., Shaulagara, S., & Ihsan, M. (2017). The Through Fault Current Effect of 150/20 kV Transformer to Its Insulation Resistance and Tan Delta Test in PT. PLN (Persero) TJBB APP Durikosambi.

OMICRON Energy. (2025). *Test Universe – PC Software Suite for Advanced Secondary Testing.* OMICRON Energy Product Information.

Perusahaan Listrik Negara (PLN). (1983). *SPLN 52-1: Proteksi Transformator Tenaga*. Jakarta: PLN.

Perusahaan Listrik Negara (PLN). (2010). *SPLN T5.003-1:2010 – Pedoman Proteksi Transformator Tenaga*. Jakarta: PT PLN (Persero).

PT PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Peralatan Gardu Induk*. SKDIR PT PLN (Persero) No. 0520.K/DIR/2014.

PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. PT PLN, September, p. 513. [Online]. Available: https://pdfcoffee.com/bukurelai-proteksipdf-pdf-free.html

Schneider Electric. (2025). *Easergy Studio – IED Support Software for Configuration and Monitoring*. Schneider Electric Product Information.

Siemens AG. (2025). *SIGRA – Fault Record Evaluation* [Product catalog]. Siemens Industry Mall.

Umam. (2014). "Bab II Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699.

Wibowo, S. S. (2018). *Analisa Sistem Tenaga*. 1st ed. Malang: Polinema Press.