

Evaluasi Skema Trip Non-Kaskade Penyulang GI Marisa untuk Mencegah Incoming Trip Akibat Akumulasi Arus Gangguan

Kadek Agus Denny Fratista^{1*}, Muhammad Ridho Pambudi², Arif Jaya³, Andi Syarifuddin⁴, Syamsir⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹agusdennyfratista@gmail.com; ²ridhobudi64@gmail.com; ³arief.jaya@umi.ac.id; ⁴asyarif@umi.ac.id;

⁵syamsir@umi.ac.id

Received: 06 08 2025 | Revised: 12 08 2025 | Accepted: 24 08 2025 | Published: 30 09 2025

Abstrak

Sistem proteksi dirancang untuk mengisolasi area yang mengalami gangguan guna menjaga agar sistem kelistrikan tetap berfungsi dengan baik. Gardu Induk (GI) Marisa 150 kV yang dikelola oleh PLN UPT Manado memiliki satu transformator dan enam penyulang. Pada Transformator #1, diterapkan skema proteksi kaskade antara sisi 150 kV, incoming 20 kV, dan penyulang sesuai Pedoman Proteksi Trafo PLN UIP3B Sulawesi tahun 2019. Pada tanggal 2 Februari 2023, terjadi gangguan simultan pada penyulang MR3 dan MR4 akibat putusnya konduktor. Kedua penyulang tersebut memiliki konstruksi double circuit pada satu tiang sehingga arus gangguan terakumulasi di sisi incoming. Hal ini menyebabkan relay incoming trip lebih cepat daripada relay penyulang, mengakibatkan padam meluas sebesar 16.43 MW dan menunjukkan kelemahan dalam skema kaskade. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan skema proteksi non-kaskade guna mencegah trip incoming akibat akumulasi arus gangguan dari penyulang. Metode yang digunakan terdiri dari pendekatan kuantitatif (perancangan skema) dan kualitatif (evaluasi penerapan). Skema non-kaskade memanfaatkan sinyal pickup awal dari relay yang langsung melakukan trip ke PMT penyulang dengan syarat dua penyulang harus pickup terlebih dahulu diikuti oleh pickup incoming dengan penundaan selama 100 ms. Implementasi skema ini dimulai pada Transformator #1 sejak tanggal 3 November 2023. Setelah pelaksanaan tersebut, terjadi tiga insiden gangguan pada dua penyulang yang semuanya berhasil diamankan tanpa menyebabkan trip incoming. Evaluasi menunjukkan bahwa skema non-kaskade efektif dalam mencegah kegagalan proteksi sebanyak 100% dibandingkan sebelumnya dengan skema kaskade.

Kata kunci: proteksi, penyulang, incoming, koordinasi, non-kaskading

1. Pendahuluan

Di era globalisasi saat ini, pemanfaatan energi listrik telah menjadi kebutuhan penting bagi kehidupan manusia. Gangguan pasokan listrik dapat merusak aktivitas masyarakat serta memengaruhi sektor ekonomi, pendidikan, perdagangan, dan pembangunan secara keseluruhan. Pada tahun 2022 kebutuhan listrik di Indonesia mencapai angka rata-rata sebesar 1.172 kWh per kapita dan diprediksi akan terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi yang ditargetkan mencapai angka sekitar 5.3% tahun berikutnya [1].

Dalam praktiknya sistem kelistrikan PLN terbagi menjadi tiga bagian utama yaitu pembangkitan, penyaluran, dan distribusi [2]. Fungsi utama dari sistem proteksi adalah untuk segera mengisolasi area yang mengalami gangguan agar area lainnya tetap dapat beroperasi dan memasok energi listrik [4][5]. Selain kecepatan responsnya, prinsip selektivitas juga menjadi aspek fundamental lainnya dalam sistem proteksi [6].

Koordinasi antara proteksi di sisi incoming dan penyulang dalam bay trafo harus memenuhi kedua unsur tersebut agar mampu mengisolasi gangguan dengan cepat dan tepat [7]. Proteksi incoming perlu bekerja cepat agar transformator tidak melebihi batas kemampuan hubung singkatnya sambil tetap selektif agar tidak mendahului kerja relay di

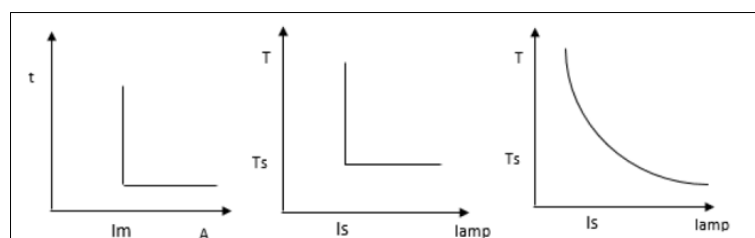
penyulang lain sebagai bentuk perlindungan cadangan jika terjadi kegagalan pada proteksi utama [8].

Terdapat kemungkinan adanya gangguan simultan pada banyak penyulang akibat beberapa konstruktor berada dalam satu tiang yang sama ketika arus gangguan terakumulasi masuk ke zona kerja relay incoming [9]. Dalam situasi tersebut koordinasi antara relai menjadi tidak efektif sehingga bisa jadi relay incoming bekerja lebih dulu dibandingkan dengan relay pada penyulang. Kondisi seperti ini tentunya tidak diinginkan mengingat titik gangguan berada di zona proteksi penyulang. Salah satu contoh kasus adalah kejadian di Transformator #1 GI Marisa pada tahun lalu ketika kedua penyulang MR3 dan MR4 mengalami masalah bersamaan karena konduktor MR3 putus dan menyentuh fase lain di bawahnya pada MR4; hasilnya akumulasi arus menyebabkan trip pada incoming dengan dampak padam sebesar total daya sebesar 16.43 MW [10]. Oleh karena itu dibutuhkan pengembangan skema proteksi baru agar dapat menangani tipe gangguan seperti itu tanpa menyebabkan trip bagi incoming.

Skema non-kaskade merupakan salah satu alternatif pola koordinasikan untuk isolasi terhadap berbagai jenis gangguan secara bersamaan [6], oleh karena itu tulisan ini membahas pola non-kaskade demi meningkatkan keandalan sekaligus koordinasi sistem proteksi trafo khususnya antara penyulang dan incoming.

2. Metode

Relay arus lebih dan arus tanah (OCR/GFR) merupakan salah satu tipe relay yang bekerja berdasarkan adanya arus yang melebihi settingnya pada jangka waktu tertentu [11][12]. Ada tiga karakteristik waktu kerja relai yaitu *instataneous time* (waktu sesaat), *definite time* (waktu tunda tetap), dan *inverse time* (waktu tergantung besaran arus). *Instataneous time* mempunyai waktu kerja sesaat saat terjadi gangguan. *Definite time* mempunyai setting waktu tunda tetap, tidak tergantung oleh besaran arus gangguan. Relai akan bekerja jika batas waktu tunda telah terpenuhi berapapun besaran arus gangguan. *Inverse time* mempunyai waktu tunda tergantung dengan besaran gangguan yang dirasakan. Semakin besar arus gangguan yang dirasakan oleh relai maka semakin cepat waktu kerja relai. Sehingga dapat diketahui bahwa arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relai [13]. Penggunaan karakteristik waktu kerja relay disesuaikan dengan kebutuhan sistem, pada case penyulang dan incoming biasanya menggunakan kombinasi antara ketiga karakteristik waktu kerja.



Gambar 1. Karakteritik Waktu Kerja Relay

Pada jenis relai karakteristik Inverse mempunyai kelompok waktu sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Kurva Inverse

No	Karakteristik	Formula
1	Normal Inverse	$t = tms \times \frac{0.14}{\left(\frac{I}{Ip}\right)^{0.02} - 1}$
2	Very Inverse	$t = tms \times \frac{13.5}{\left(\frac{I}{Ip}\right)^1 - 1}$
3	Long Time Inverse	$t = tms \times \frac{120}{\left(\frac{I}{Ip}\right)^1 - 1}$
4	Extremely Inverse	$t = tms \times \frac{80}{\left(\frac{I}{Ip}\right)^2 - 1}$

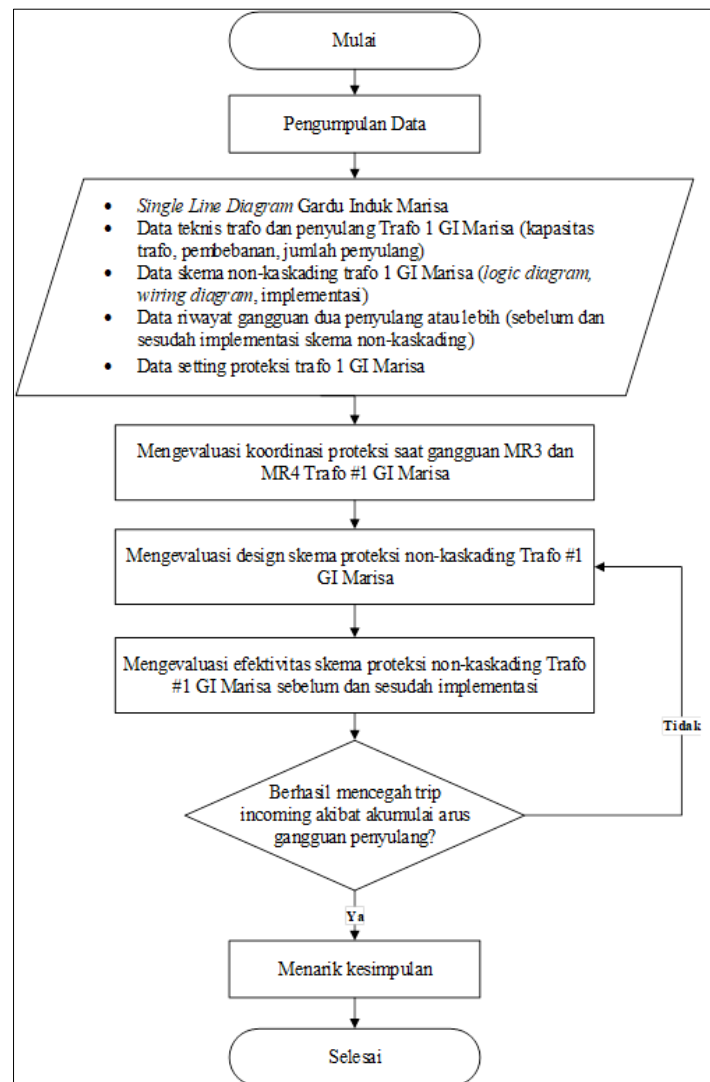
Dalam kesepakatan bersama mengenai sistem perlindungan trafo serta jalur distribusi telah ditetapkan standarisasi sebagai berikut [14]:

Tabel 2. Standard Setting Proteksi Trafo PLN UIP3B Sulawesi

Peralatan	OCR	GFR
Sisi HV	Jenis Relay : OCR non-directional	Jenis Relay : GFR non-directional
	Karakteristik : Standard Inverse (SI)	Untuk trafo dengan tiga winding (ada belitan delta)
	Iset > : min 1.2 x In trafo	Karakteristik : Standard Inverse (SI)
	tset > : 1.5 detik (I hs p-p di bus HV)	Iset > : 0.5-0.8 x In trafo
	Ihighset >> : (1.2-1.3) x (In x (1/z (pu)))	tset > : >t zone 2/backup GFR
	thighset >> : 0.5 detik (definite)	penghantar (I hs p-p di bus HV)
Sisi LV (Incoming)	Jenis Relay : OCR non-directional	Jenis Relay : GFR non-directional
	Karakteristik : Standard Inverse (SI)	Karakteristik : Standard Inverse (SI)
	Iset > : min 1.2 x In trafo	Iset > : 0.2-0.4 In NGR
	tset > : 1.0 detik (I hs p-p di bus LV)	tset > : 1.0 detik (I hs p-p di bus LV)
	Ihighset >> : 30 MVA (3400 A)	
	thighset >> : 0.4 detik (definite)	
Sisi Penyulang	Jenis Relay : OCR non-directional	Jenis Relay : GFR non-directional
	Karakteristik : Standard Inverse (SI)	Karakteristik : Standard Inverse (SI)
	Iset > : min 1.2 x In terkecil	Iset > : 0.1-0.2 x In NGR
	tset > : 0.5 detik (I hs p-p di bus LV)	tset > : 0.5 detik (I hs p-p di bus LV)
	jika ada recloser/GH 0.1 detik (I hs p-p di bus LV)	jika ada recloser/GH 0.1 detik (I hs p-p di bus LV)
	jika tidak ada recloser/GH	jika tidak ada recloser/GH
	Ihighset >> : 30 MVA (1971 A)	Ihighset >> : 1x In NGR/In CCC/In CT
	thighset >> : 0.2 detik (definite)	(block apabila ada recloser/GH)
	Ihighset >>> : 30 MVA (3650 A)	thighset >> : 0.15 detik (definite)
	thighset >>>> : 0 detik (definite)	Ihighset >>>> : 4-6 x In NGR/In CCC/In CT
		thighset >>>> : 0.00 detik (definite)

Analisis dilakukan menggunakan data-data yang diperoleh dari Gardu Induk Marisa beserta semua unit terkaitnya melalui pendekatan kuantitatif maupun kualitatif untuk hal-hal berikut:

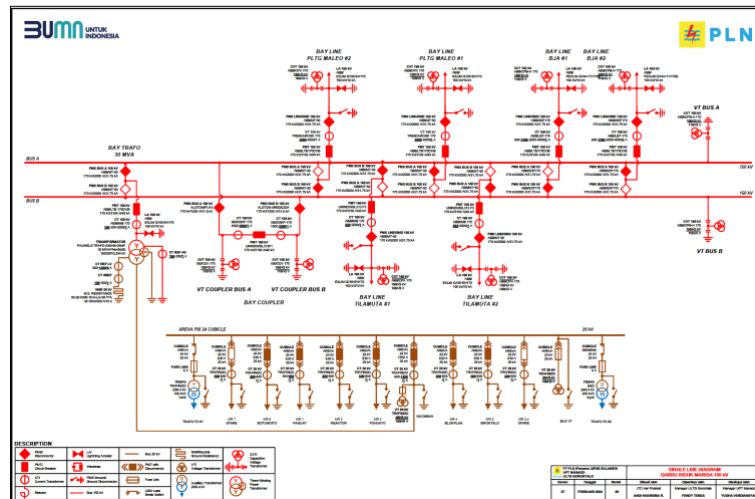
1. Menganalisa setting dan koordinasi proteksi eksisting pada penyulang dan incoming 20 kV menggunakan metode kuantitatif.
2. Mengevaluasi fenomena akumulasi arus pada gangguan dua penyulang atau lebih dengan studi kasus MR3 dan MR4 Trafo #1 GI Marisa yang menyebabkan trip pada incoming menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif.
3. Mengevaluasi design skema proteksi non-kaskading untuk mengatasi trip incoming Trafo #1 GI Marisa akibat akumulasi gangguan dua atau lebih penyulang menggunakan metode kualitatif
4. Mengevaluasi efektivitas sebelum dan sesudah implementasi skema proteksi non-kaskading untuk mengatasi trip incoming Trafo #1 GI Marisa akibat akumulasi gangguan dua atau lebih penyulang menggunakan metode kualitatif.
5. Membandingkan beban padam sebelum dan sesudah implementasi skema proteksi non-kaskading menggunakan metode kuantitatif.



Gambar 2. Flowcart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Gardu Induk Marisa adalah salah satu fasilitas penting yang berada di bawah unit kerja PLN ULTG Gorontalo yang beroperasi di level tegangan 150 kV. Terletak di Jalan Trans Sulawesi, Libuo, Paguat, Kabupaten Pohuwato, Gorontalo, gardu induk ini berperan vital dalam distribusi listrik di wilayah tersebut.



Gambar 3. Single Line Diagram GI Marisa 150 kV

Untuk melakukan perhitungan dalam implementasi skema trip non-kaskade untuk mencegah Incoming trip akibat akumulasi arus gangguan yang terjadi pada penyulang 20kV maka diperlukan data spesifikasi Trafo #1 Gardu Induk Marisa 150 kV. Berikut data Trafo 31 yang terpasang pada Gardu Induk Marisa:

Tabel 3. Spesifikasi Trafo #1 GI Marisa

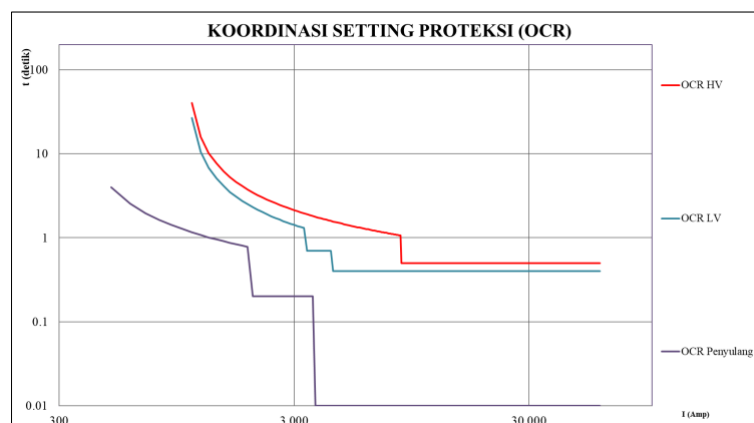
No	Parameter	Nilai	Satuan
1	ID Trafo	Trafo #1	-
2	Manufacture	PAUWELS	-
3	Serial Number	3011070051	-
4	Year Manufacture	2008	-
5	Kapasitas	30	MVA
6	Tegangan Primer	150.00 (8)	kV
7	Tegangan Sekunder	20	kV
8	Arus Nominal Primer	115.5	Amp
9	Arus Nominal Sekunder	866	Amp
10	Impedansi	12.611 (8)	%
11	Vektor Group	YNyn0(d5)	-

Koordinasi proteksi Trafo #1 GI Marisa dibuat berdasarkan buku kesepakatan bersama antara transmisi dan distribusi terkait sistem proteksi trafo dan penyulang, ditetapkan standarisasi proteksi sebagai berikut:

Tabel 4. Setting Koordinasi OCR/GFR Trafo #1 GI Marisa

Zona Proteksi	OCR		GFR	
Sisi HV 150 kV	Iset >	= 163.02 Amp	Iset >	= 67.92 Amp
	tms	= 0.33 (SI)	tms	= 0.26 (SI)
	Iset >>	= 1347.24 Amp		
Sisi LV 20 kV	tset >>	= 0.5 detik (DT)		
	Iset >	= 1039.23 Amp	Iset >	= 60 Amp
	tms	= 0.22 (SI)	tms	= 0.23 (SI)
	Iset >>	= 3400 Amp	Iset >>	= 3400 Amp
	tset >>	= 0.7 detik (DT)	tset >>	= 0.7 detik (DT)
	Iset >>>	= 4380 Amp		
Sisi Penyulang 20 kV	tset >>>	= 0.4 detik (DT)		
	Iset >	= 360 Amp	Iset >	= 30 Amp
	tms	= 0.19 (SI)	tms	= 0.17 (SI)
	Iset >>	= 1971 Amp	Iset >>	= 1800 Amp
	tset >>	= 0.2 detik (DT)	tset >>	= 0 detik (DT)
	Iset >>>	= 3650 Amp		
	tset >>>	= 0 detik (DT)		

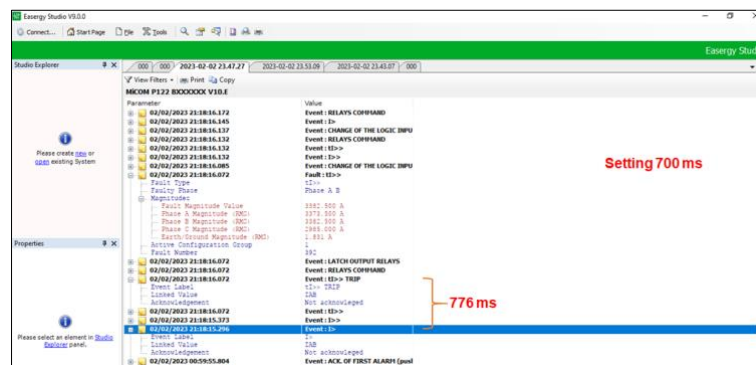
Adapun berdasarkan setting yang telah didapat dapat dibuat kurva koordinasi proteksi sebagai berikut:



Gambar 4. Kurva Koordinasi OCR HV, LV, dan Penyulang 20 kV

Berdasarkan rekaman gangguan relay MR3, diketahui bahwa terjadi gangguan 3 fasa dengan besar arus gangguan sekitar 1.8 kA. Di sisi lain di waktu yang bersamaan MR4 mengalami gangguan. Berdasarkan rekaman gangguan relay MR4, diketahui bahwa terjadi gangguan 3 fasa dengan besar arus gangguan sekitar 1.6 kA. Adapun detail rekaman gangguan beserta waveformnya adalah sebagai berikut:

Akumulasi arus gangguan pada MR3 dan MR4 menyebabkan incoming merasakan arus gangguan >3400 Amp (Peak) sehingga memasuki zona kerja Iset >> yang disetting 3400 Amp. Melalui event gangguan diketahui akumulasi arus gangguan menyebabkan incoming trip dengan waktu 0.7 detik sesuai settingnya.



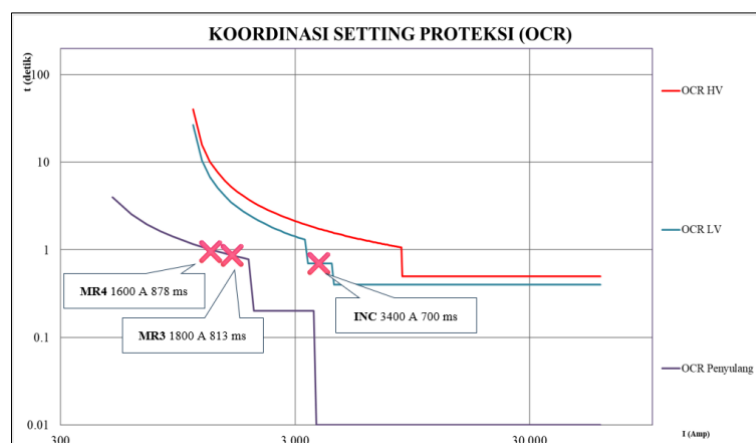
Gambar 5. Event Gangguan Incoming Trafo #1 GI Marisa

Jika dianalisa lebih lanjut, maka dapat kita hitung waktu kerja seharusnya masing-masing relay antara Penyulang MR3, MR4, dan Incoming 20 kV untuk mengetahui koordinasi proteksi saat terjadi gangguan sebagai berikut:

Tabel 5. Evaluasi Waktu Trip Gangguan Incoming Trafo #1 GI Marisa

Peralatan	Arus Gangguan	Zona Proteksi	Waktu Trip
MR3	1800 Amp	I set > : 360 Amp tms : 0.19 (SI)	813 ms
MR4	1600 Amp	I set > : 360 Amp tms : 0.19 (SI)	878 ms
Incoming	>3400 Amp	I set > : 3400 Amp t> : 0.7 sec (DT)	700 ms

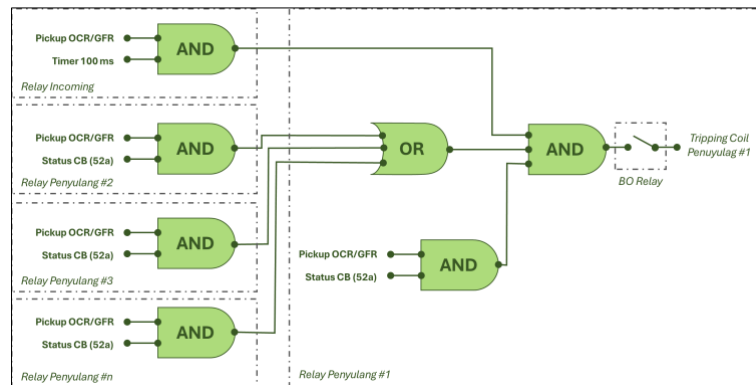
Adapun jika divisualisasikan dalam kurva koordinasi proteksi Trafo #1 GI Marisa, akan terlihat sebagai berikut:



Gambar 6. Visualisasi Koordinasi Proteksi Gangguan MR3 dan MR4

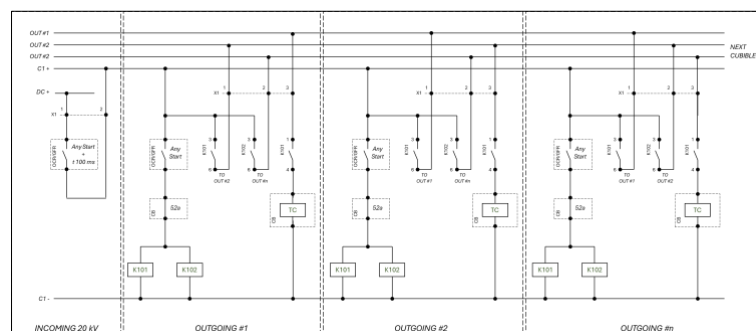
Berdasarkan perhitungan waktu trip di atas, diketahui waktu trip incoming Trafo #1 GI Marisa saat terjadi akumulasi arus gangguan incoming *overlap* dengan waktu trip kedua penyulang. Kondisi ini menyebabkan incoming trip mendahului kedua penyulang sehingga supply ke penyulang lain yang tidak terganggu juga padam. Adapun keadaan ini menjadi potensi kegagalan koordinasi proteksi antara penyulang dan incoming saat terjadi gangguan bersamaan pada dua penyulang atau lebih. Karenanya diperlukan skema yang dapat mengakomodir kondisi akumulasi arus gangguan sehingga meminimalisir beban padam.

Skema non-kaskading yang dirancang memanfaatkan komunikasi antara relay penyulang dan incoming Trafo #1 GI Marisa secara hardwire (terhubung menggunakan kabel fisik). Idenya dirancang dengan menggunakan signal *pickup*, yakni signal yang dikeluarkan relay saat awal merasakan gangguan. Skema proteksi dirancang dengan membuat rangkaian *direct trip* ke PMT penyulang dengan syarat terdapat dua penyulang atau lebih yang *pickup* dan diresikan (logika AND secara wiring) dengan *pickup* incoming.



Gambar 7. Diagram Logika Skema Non-Kaskading Trafo #1 GI Marisa

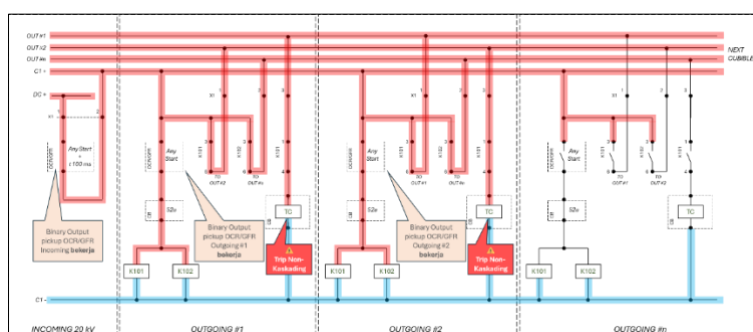
Dari desain diagram logika di atas kemudian dibuat skema wiring yang menghubungkan sinyal-sinyal dari masing-masing relay penyulang dan incoming sehingga menjadi kesatuan fungsional. Wiring dirancang dengan memanfaatkan fitur relay yaitu *binary input* dan *binary output*. *Binary input* adalah bagian dari relay yang dapat menerima sinyal dengan memanfaatkan tegangan DC 110 Volt, sedangkan *binary output* adalah saklar pada relay yang bekerja berdasarkan sinyal-sinyal yang dapat disetting. Adapun rancangan wiring skema non-kaskading Trafo #1 GI Marisa adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Wiring Diagram Skema Non-Kaskading Trafo #1 GI Marisa

Pola kerja ketiga adalah ketika terjadi gangguan pada dua penyulang (contoh outgoing #1 dan outgoing #2) dan menyebabkan incoming merasakan gangguan. Pada kondisi ini arus gangguan terakumulasi namun masuk ke zona kerja incoming. Kontak *pickup* outgoing #1 dan outgoing #2 akan bekerja, dan arus gangguan menyebabkan incoming *pickup* maka kontak *pickup* incoming bekerja setelah *delay* timer 100 ms. Karenanya skema non-kaskading akan memenuhi syarat untuk bekerja sehingga outgoing #1 dan outgoing #2 akan trip oleh skema non-kaskading dengan waktu tunda 100 ms.

Pada wiring akan terlihat kontak *pickup* incoming yang menutup setelah 100 ms merasakan gangguan akan mengisi buswire DC (C1 +). Pada outgoing #1 dan outgoing #2 kontak *pickup* yang menutup akan mengerjakan aux relay K101 dan 102 sehingga menggerakkan masing-masing kontakannya. Kontak aux relay K101 (nomor 3 dan 6) dan K102 (nomor 3 dan 6) pada outgoing #1 akan mengirim tegangan positif ke buswire OUT #2 dan OUT #n, sedangkan kontak aux relay K101 (nomor 3 dan 6) dan K102 (nomor 3 dan 6) pada outgoing #2 akan mengirimkan tegangan positif ke buswire OUT #1 dan OUT #n. Kontak aux relay K101 (nomor 1 dan 4) akan mengirimkan tegangan positif yang sudah standby pada buswire OUT #1 dan OUT #2 ke *tripping coil* outgoing #1 dan outgoing #2 sehingga PMT akan trip 100 ms oleh skema non-kaskading sebelum menyebabkan incoming trip terlebih dahulu.



Gambar 9. Gangguan Dua Penyulang yang Menyebabkan Incoming Pickup

Adapun skema trip pada penyulang yang terganggu ditunda 100 ms untuk memastikan gangguan pada penyulang bersifat permanen sehingga tidak secara langsung mentripkan. Adapun respon yang dihaapkan melalui skema trip ini adalah penyulang yang merasakan pickup akan mengirimkan sinyal ke penyulang lainnya, sinyal yang diterima akan menunggu apabila penyulang lain mengalami *pickup* maka hanya menunggu incoming merasakan gangguan untuk penyulang yang terganggu ditripkan 100 ms tanpa harus menunggu waktu trip normal.

Evaluasi skema proteksi non-kaskading Trafo #1 GI Marisa dilakukan dengan melakukan pemantauan respon relay proteksi ketika terjadi gangguan penyulang pasca implementasi pada kubikel incoming dan outgoing Trafo #1 GI Marisa. Data riwayat gangguan yang dicatat oleh operator Gardu Induk Marisa kemudian disaring untuk mendapatkan frekuensi terjadinya gangguan dua penyulang atau lebih dan mengevaluasi kinerja skema proteksi non-kaskading yang telah terimplementasi.

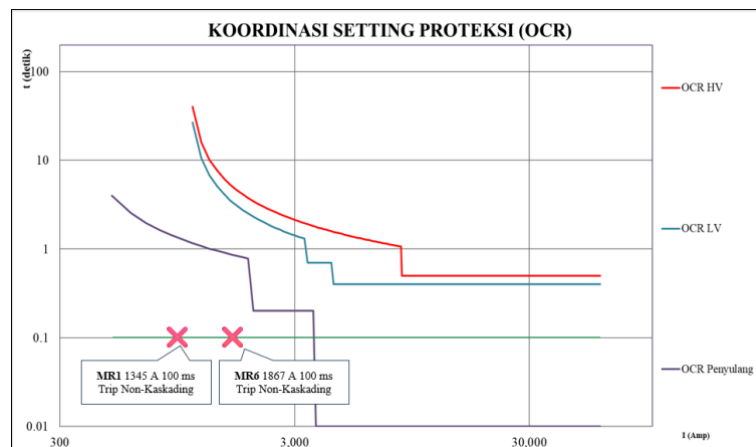
Berikut merupakan beberapa riwayat gangguan dua penyulang atau lebih pasca implementasi skema non-kaskading pada Trafo #1 GI Marisa:

Tabel 6. Riwayat Gagguan Dua Penyulang Atau Lebih Trafo #1 GI Marisa

No	Tanggal	Pukul	Penyulang	Respon
1	02/02/2023	21:18 WITA	MR3 dan MR4	Trip Incoming
2	18/10/2023	10:11 WITA	MR1 dan MR5	Trip non-kaskading
3	04/09/2024	02:36 WITA	MR3 dan MR4	Trip non-kaskading
4	11/03/2025	11:18 WITA	MR1 dan MR6	Trip non-kaskading

Riwayat gangguan terakhir yang terjadi adalah pada tanggal 11 Maret 2025 yakni pada penyulang MR1 dan MR6 yang terjadi bersamaan pada pukul 11:18 WITA. Pada gangguan tersebut, MR1 dan MR6 mengalami gangguan pada LBS (*Load Break Switch*) pertemuan kedua penyulang. Penyulang MR1 merasakan arus gangguan sebesar 1345 Amp RMS.

Jika mengandalkan koordinasi proteksi eksisting, maka incoming akan trip terlebih dahulu dengan waktu 700 ms sedangkan MR1 akan trip dengan waktu 985 ms dan MR6 akan trip dengan waktu 786 ms. Namun dengan imlementasi skema non-kaskading pada Trafo #1 GI Marisa, penyulang MR1 dan MR6 berhasil trip terlebih dahulu dengan waktu 100 ms sebelum menyebabkan incoming trip.



Gambar 10. Kurva Koordinasi OCR dengan Tambahan Skema Non-Kaskading

Skema non-kaskading berhasil mengamankan gangguan dua penyulang MR1 dan MR6 yang berpotensi menyebabkan overlap trip incoming dan mencegah padam meluas pada penyulang yang sehat.

Berdasarkan riwayat gangguan dua penyulang atau lebih pada tabel 4.13 di atas, dapat dievaluasi ENS (*Energy Not Served*) yang ditimbulkan sebelum dan setelah implementasi skema non-kaskading sebagai berikut:

Tabel 7. Perbandingan ENS Gagguan Dua Penyulang Atau Lebih Trafo #1 GI Marisa

No	Tanggal	Penyulang Gangguan	Beban Inc Terakhir	Beban Padam (Sebelum)	Beban Padam (Sesudah)
1	02/02/2023	MR3 dan MR4	16.43 MW	16.43 MWh	-
2	18/10/2023	MR1 dan MR5	14.56 MW	14.56 MWh	5.81 MW
3	04/09/2024	MR3 dan MR4	14.12 MW	14.12 MWh	6.99 MW
4	11/03/2025	MR1 dan MR6	12.30 MW	12.30 MWh	5.20 MW
TOTAL ENS				57.41 MWh	18.00 MW

* ENS (sebelum) dihitung dengan asumsi kondisi belum terimplementasi skema non-kaskading sehingga gangguan menyebabkan incoming trip dan semua beban padam

Berdasarkan data di atas, diketahui bahwa terjadi penurunan nilai beban padam yang diakibatkan oleh gangguan dua penyulang atau lebih. Jika mengandalkan skema proteksi eksisting, terdapat beban padam 57.41 MW atau 40.98 MW jika dihitung setelah tanggal implementasi skema non-kaskading pada Trafo #1 GI Marisa. Imlementasi skema non-

kaskading menurunkan beban padam 68.64% menjadi 18.00 MW, menunjukkan efektifitas pencegahan beban padam meluas yang baik.

4. Kesimpulan dan Saran

Gangguan pada Trafo #1 GI Marisa tanggal 2 Februari 2023 pukul 21.18 WITA disebabkan oleh akumulasi arus gangguan dari penyulang MR3 dan MR4 akibat konduktor putus. Koordinasi proteksi eksisting tidak mengantisipasi akumulasi arus tersebut, sehingga relay incoming trip lebih cepat daripada relay penyulang, menyebabkan padam meluas sebesar 16.434 MW. Sebagai solusi, dirancang skema proteksi non-kaskading yang memanfaatkan sinyal pickup awal dari relay. Skema ini menggunakan logika AND secara wiring antara pickup dua penyulang atau lebih dan pickup incoming, lalu mengaktifkan direct trip ke PMT penyulang dengan delay 100 ms. Evaluasi terhadap tiga gangguan dua penyulang setelah implementasi menunjukkan skema non-kaskading berhasil 100% mencegah trip incoming. Gangguan berhasil diamankan di level penyulang, dan beban padam berkurang signifikan sebesar 68.64%, dari 40.98 MW menjadi 18.00 MW.

Implementasi sebaiknya memperharikan ketersediaan binary input pada relay incoming dan penyulang untuk memudahkan imlementasi. Aktivasi skema proteksi non-kaskading sebaik-baiknya melalui uji fungsi untuk memastikan kesesuai unjuk kerja dan meminimalisir malfungsi proteksi saat terjadi gangguan. Di sisi lain perlu diperhatikan jika terdapat source atau pembangkit di sisi penyulang, jika terdapat pembangkit di sisi penyulang maka disarankan untuk aktivasi skema proteksi non-kaskading menggunakan relay yang memiliki fitur arah (*directional*).

Daftar Pustaka

- [1] Humas EBTKE, "Dirjen EBTKE Paparkan Pemenuhan Kebutuhan Listrik Indonesia Melalui Pemanfaatan EBT," Dirjen EBTKE. Accessed: Apr. 21, 2024. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/01/20/3405/dirjen.ebtke.paparkan.pemenuhan.kebutuhan.listrik.in.donesia.melalui.pemanfaatan.ebt>
- [2] H. NUR, "PEMELIHARAAN GARDU DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) ULP DEPOK KOTA," 2022.
- [3] R. M. Adha, "Analytical Study of Distance Relay Protection Zones Coordination of Transmission Lines from Kendari Substation to Kasipute Substation Before and After New Transmission Line Addition," *Skripsi Universitas Hasanuddin*, Jun. 2024.
- [4] M. Ridho, P. Siagian, and Z. Tharo, "ANALISIS FREKUENSI GANGGUAN TERHADAP KINERJA SISTEM PROTEKSI GARDU INDUK 150 KV SIEMPAT RUBE," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.5321.
- [5] M. L. Romadhoni, M. F. Nasution, and R. M. Utami, "Penerapan Pola Koordinasi Proteksi Non-Cascade Pada Ocr Incoming Dan Ocr Penyulang Trafo," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 14, no. 1, pp. 119–128, 2022.
- [6] E. Arya, E. Ermawati, M. Machdalena, and J. Hendri, "Analisa Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Jaringan Distribusi 20 kV," *Jurnal Surya Teknik*, vol. 11, no. 2, pp. 755–764, Dec. 2024, doi: 10.37859/jst.v11i2.8731.
- [7] Nandha Pamadya Putra, "Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Incoming dan Penyulang 20 kV Gardu Induk Sengkaling Menggunakan Pola Non Kaskade," *Skripsi, Universitas Brawijaya, Malang*, 2015.

- [8] Mohamad Reza Firmansyah, Sumartono, and Hanif Al Islami, "Protection Scheme for Cumulative Effect of Multi-Feeder Fault," *JurnalPLN*, 2023.
- [9] Renev UPT Manado, "Laporan Gangguan UPT Manado 2023," Manado, Feb. 2023.
- [10] E. Fauziyah and I. Irwanto, "ANALISIS SISTEM PROTEKSI GENERATOR MENGGUNAKAN OVER CURRENT RELAY DI PT. INDONESIA POWER," *D'computare: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 12, no. 2, Jul. 2022, doi: 10.30605/dcomputare.v12i2.46.
- [11] A. Multi and T. Addaus, "Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) Dan Ground Fault Relay (GFR) Pada Transformator Daya Gardu Induk," *SAINSTECH: JURNAL PENELITIAN DAN PENGKAJIAN SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 32, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [12] A. L. Niam, "ANALISIS SISTEM RELAY PROTEKSI MENGGUNAKAN ETAP 19.0.1 SERTA PERHITUNGAN RUGI-RUGI AKIBAT BEBAN UNBALANCE PADA TANGCITY MALL," 2022.
- [13] PT PLN (Persero) UIP3B Sulawesi, PT PLN (Persero) UID Suluttenggo, and PT PLN (Persero) UID Sulselrabar, "Kesepakatan Bersama Sistem Proteksi Trafo dan Penyulang 20 kV," Makassar, Aug. 2024.