

Evaluasi Kegagalan Koordinasi Proteksi Akibat Hubung Singkat pada Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Afif Al Asyad, Margo Pujiantara, dan Dimas Anton Asfani
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: margo@ee.its.ac.id.

Abstrak—PT. Pertamina RU 5 Balikpapan merupakan perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam industri pengolahan minyak, untuk menjaga kontinuitas sistem produksi dibutuhkan suatu sistem koordinasi proteksi yang cepat dan tepat. Pada tanggal 18 Juli 2019, terjadi gangguan hubung singkat pada *substation* 73A di PT Pertamina RU 5 Balikpapan yang mengakibatkan 3 unit mengalami *shutdown* dikarenakan terjadi kesalahan koordinasi proteksi yang mengakibatkan penurunan tegangan dalam waktu yang singkat (*voltage sag*) pada beberapa bus utama (*main bus*), sehingga motor-motor yang disuplai oleh bus utama tersebut mengalami trip secara tiba-tiba dan akhirnya mengganggu proses produksi. Berdasarkan problematika yang disebutkan, maka dibutuhkanlah suatu evaluasi koordinasi proteksi pada sistem tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisa sistem koordinasi proteksi pada kelistrikan PT. Pertamina RU 5 Balikpapan di sisi beban, sisi *ring bus*, dan sisi hubung singkat pada kasus yang terjadi. Hasil koordinasi proteksi ini difokuskan pada gangguan arus lebih, gangguan tanah, dan juga proteksi pada sisi *ring Bus* yang menghubungkan Bus-Bus utama pada sistem.

Kata Kunci—Rele, Hubung Singkat, Koordinasi Proteksi.

I. PENDAHULUAN

SISTEM kelistrikan industri merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses produksi, suatu industri dikatakan baik ketika kontinuitas proses produksi terjaga dengan baik. Untuk menjaga kontinuitas produksi dibutuhkan suplai listrik yang kontinyu. Kontinuitas listrik dapat dicapai dengan sistem proteksi yang handal, bisa melokalisasi gangguan ketika terjadi dengan cepat dan tepat. Sistem proteksi kelistrikan industri harus memiliki kemampuan yang cepat dan tepat agar dapat mengisolasi gangguan yang muncul seketika pada sistem. Agar isolasi dapat tercapai, sistem proteksi harus bisa mendeteksi gangguan yang sekecil mungkin serta selektif atau isolasi yang terjadi tepat dekat lokasi gangguan [1]. Sistem proteksi yang terkoordinasi akan meminimalkan waktu untuk mengatasi gangguan sehingga melindungi peralatan sistem lebih cepat. Gangguan yang terjadi pada sistem bisa disebabkan kesalahan pengoperasian, kerusakan peralatan, *lifetime* peralatan yang sudah terlewat atau faktor-faktor dari luar sistem. Rele yang digunakan pada sistem proteksi diantaranya rele diferensial, rele gangguan tanah dan rele arus lebih. Untuk mengatur parameter rele tersebut harus mempertimbangkan arus ketika kondisi normal dan arus ketika terjadi gangguan.

PT. Pertamina RU 5 Balikpapan membutuhkan sistem proteksi yang terkoordinasi untuk menjaga kontinuitas sistem produksi. Pada tanggal 18 Juli 2019 terjadi gangguan hubung singkat pada salah satu bus (*substation*) di PT. Pertamina RU V Balikpapan yang membuat beberapa bus mengalami *drop voltage* yang mengakibatkan beberapa motor mengalami *trip* secara tiba-tiba dan mematikan 3 unit (Unit HCU, NHT-PLF, dan HVU ComFac). Proses produksi industri akan berhenti ketika *voltage sag* mencapai 65% [2].

II. KOORDINASI PROTEKSI KELISTRIKAN INDUSTRI

A. Gangguan Kelistrikan Industri

Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan industri dapat dibedakan menjadi dua, gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan temporer (sementara) merupakan gangguan yang dapat diatasi dengan mengisolasi peralatan yang mengalami gangguan pada sistem sehingga tidak merambat ke daerah yang lebih jauh. Sedangkan gangguan permanen merupakan gangguan yang disebabkan karena besarnya arus yang mengalir pada sistem dengan waktu yang relatif singkat sehingga bisa merusak peralatan pada sistem. Gangguan temporer merupakan gangguan yang banyak terjadi dalam dunia kelistrikan dibandingkan dengan gangguan permanen sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi yang tepat untuk mengatasi dan mengisolasi daerah gangguan tersebut [3].

Gangguan hubung singkat akan menimbulkan arus yang sangat besar dan akan membahayakan peralatan. Nilai tegangan internal mesin sinkron dan impedansi peralatan sistem akan mempengaruhi besar arus saat terjadi gangguan hubung singkat [4]. Gangguan hubung singkat dapat dibedakan menjadi dua, antara lain :

1) Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat yang akan mempengaruhi ke tiga fasa (R-S-T) sehingga sistem tetap dalam kondisi seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri antara lain gangguan hubung singkat tiga fasa (L-L-L) dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah (L-L-L-G)

2) Gangguan Hubung Singkat Asimetri

Gangguan hubung singkat asimetri ini merupakan gangguan yang menyebabkan perbedaan sudut fasa dan magnitudo dari ketiga fasa yang menyebabkan sistem tidak seimbang. Contoh gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan satu fasa ke tanah (L-G), dua fasa ke tanah (L-L-G), dan gangguan antara satu fasa dengan fasa lainnya (L-L)

3) *Gangguan Beban Lebih (Overload)*

Gangguan arus lebih akan menimbulkan panas berlebih pada suatu peralatan karena arus yang mengalir melebihi batas nominalnya sehingga akan menimbulkan *losses* (panas) dan bisa menurunkan efisiensi peralatan tersebut

B. *Arus Hubung Singkat*

Arus hubung singkat digunakan sebagai parameter untuk menentukan *setting* pada koordinasi proteksi. Perhitungan arus hubung singkat bisa kita dapatkan dengan cara sebagai berikut

1) *Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah*

Hubung singkat Satu fasa ke tanah adalah gangguan yang terjadi antara fasa bertegangan listrik ke tanah,

$$Isc_{1ph} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3Z_G} \tag{1}$$

2) *Hubung Singkat Antar Fasa*

Ketika dua fasa terhubung maka akan timbul suatu gangguan yang menimbulkan hubung singkat fasa ke fasa.

$$Isc_{2ph} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \tag{2}$$

3) *Hubung Singkat Tiga Fasa*

Ketiga tiga fasa mengalami gangguan bisa menimbulkan hubung singkat tiga fasa, dimana nilai arus sangat besar sehingga dalam *setting* rele dikenal dengan arus hubung singkat maksimum.

$$Isc_{3ph} = \frac{V_{LN}}{X_1} \tag{3}$$

$$Isc_{2ph} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}V_{LN}}{2X_1} = \frac{\sqrt{3}}{2}Isc_{3ph}$$

$$Isc_{2ph} = \frac{\sqrt{3}}{2}Isc_3 \approx 0,866 \times Isc_3 \tag{4}$$

C. *Rele dan koordinasi Proteksi*

Rele merupakan suatu perangkat yang bisa menerima input berupa termal, mekanis, atau elektrik dan membandingkannya dengan *setting* yang sudah ditetapkan sebelumnya sehingga kontak pemutus pada *circuit breaker* (CB) beroperasi untuk mengisolasi gangguan yang terjadi [5]. Dengan menginput nilai elektrik, rele proteksi dibantu dengan dua alat ukur, alat ukur arus dengan *current transformer* dan alat ukur tegangan (*potential transformer*). Rele yang digunakan juga harus mempertimbangkan FLA (*Full Load Ampere*) trafo dan motor yang digunakan sehingga ketika ada arus maksimal ketika motor starting dan trafo energize tidak dianggap sebagai gangguan [5].

Rele Proteksi Arus lebih merupakan rele proteksi ketika nilai arus yang terbaca melewati batas nilai arus yang diatur pada sistem kelistrikan,

1) *Rele Waktu Inverse*

Rele waktu *inverse* merupakan rele yang bekerja berbanding lurus dengan nilai arusnya, semakin besar nilai arus maka akan semakin cepat pula rele bekerja untuk melokalisasi gangguan.

Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam menentukan rele arus lebih [5].

- Arus *Pickup*, digunakan sebagai acuan untuk rele ketika mulai beroperasi ketika terjadi gangguan. Berikut merupakan untuk menentukan arus pick up berdasarkan *British Standard BS 142* :

$$1,05 FLA \leq I_{set} \leq 1,4 FLA \tag{5}$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT Primer} \tag{6}$$

- Time Dial Setting* (TDS), digunakan untuk menunjukkan waktu operasi yang dibutuhkan rele yang terinstalasi dalam sistem

$$t_{op} = TD \times \left(\frac{\beta}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1} + L \right) \tag{7}$$

2) *Rele Waktu Definite*

Rele Waktu *Definite* dapat bekerja dengan waktu yang sudah ditentukan, berapapun arus gangguan yang terjadi dan melebihi batas pengaturan maka rele akan bekerja pada waktu yang sama. Berikut merupakan parameter yang harus diatur dalam rele ini:

- Arus *Pickup*, dimana menyatakan arus ketika rele akan bekerja. berasarkan *British Standard 142* , arus *pickup* pada rele waktu *definite* adalah sebagai berikut:

$$1,6 FLA \leq I_{set} \leq 0,8 I_{scmin} \tag{8}$$

- Waktu *delay*, waktu preposisi antara rele satu dengan rele yang untuk menghindari pembukaan rele dalam waktu yang bersamaan.

- Arus Hubung Singkat Minimum, untuk menentukan arus minimum ketika rele mulai bekerja ketika terjadi gangguan.

Rele proteksi gangguan tanah digunakan untuk menanggulangi gangguan satu fasa ke tanah [1]. Pada sistem kelistrikan gangguan yang sering terjadi adalah gangguan satu fasa ke tanah. Pada rele ini, parameter yang diatur adalah *time delay* dan arus *pick up*. *Setting* rele proteksi gangguan tanah menggunakan kurva definit karena arus gangguan akan sesuai dengan arus NGR dan yang harus diperhatikan adalah waktu gradingnya[6].

- Arus *pickup* pada proteksi gangguan tanah bisa didapatkan dengan:

$$10\% Isc LG \leq I_{set} \leq 50\% Isc LG \tag{9}$$

- Waktu *delay*, *delay* antara rele satu dengan rele yang lain dalam satu L-L agar tidak terjadi *trip* secara bersamaan.

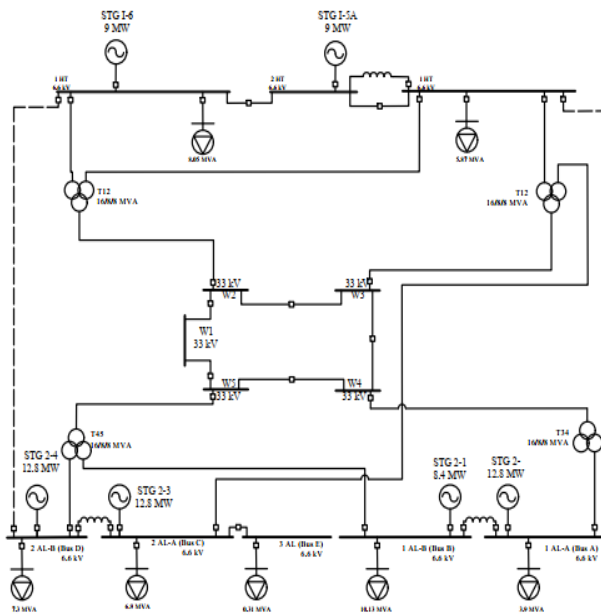
Dalam mengatur parameter pada rele diferensial mempertimbangkan beberapa kondisi. Diantaranya adalah kondisi gangguan internal, gangguan eksternal, dan kondisi normal. Secara ideal saat terjadi gangguan eksternal atau dalam operasi normal sistem maka arus diferensial sama dengan nol, kenyatannya setiap peralatan memiliki error sehingga arus tidak tepat pada titik nol [5].

III. SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

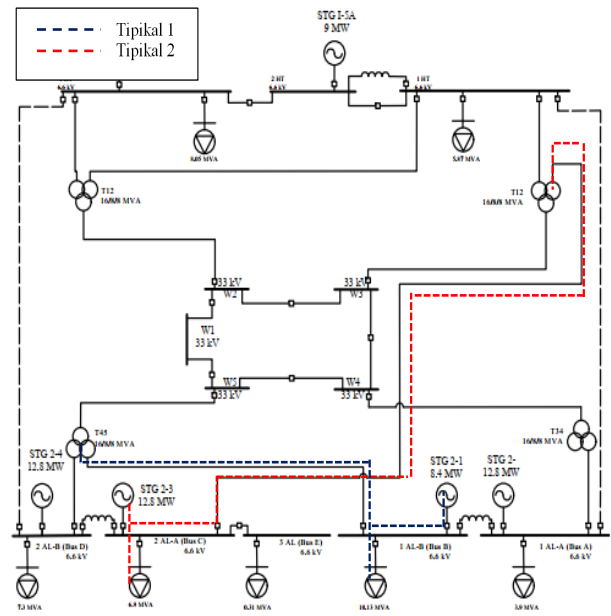
A. *Sistem Kelistrikan 18 Juli 2019*

Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki area-area yang terhubung dengan generator dan beban listrik dengan kapasitas kecil maupun besar.

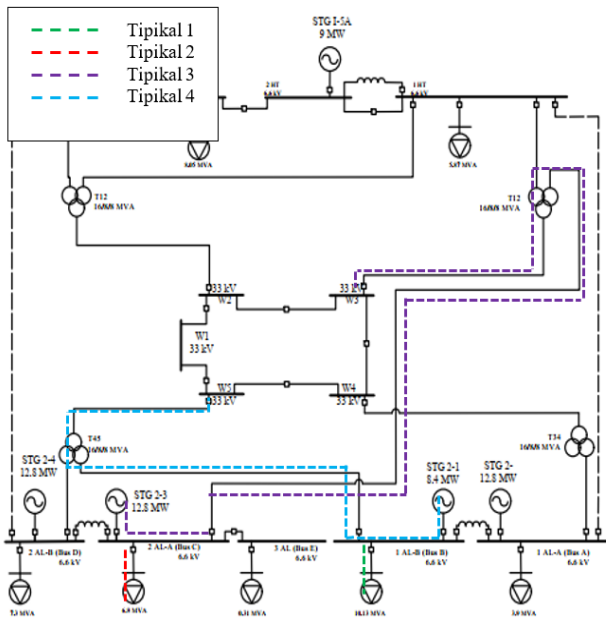
Sistem Distribusi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan tiga level tegangan, antara lain 33 kV, 6.6 kV, dan 0.38 kV.



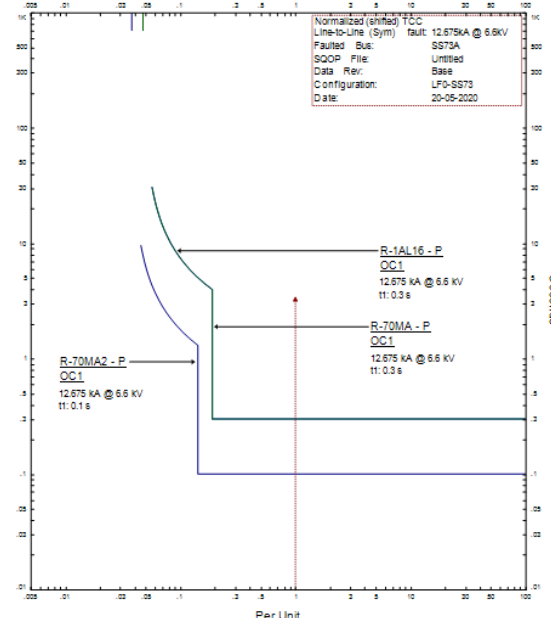
Gambar 1. Single Line Diagram PT Pertamina RU V Balikpapan



Gambar 3. Tipek Relé Gangguan Tanah



Gambar 2. Tipek Relé Arus Lebih



Gambar 4. TCC Relé Arus Lebih Tipek 1

Tegangan 33 kV digunakan pada sistem *ring bus* yang bisa meningkatkan keandalan pada sistem. Sistem *ring bus* ini dan *Bus* utama terhubung melalui transformator 3 belitan.

Tegangan 6.6 kV digunakan untuk Distribusi beban berkapasitas besar dan sebagai keluaran dan generator.

Tegangan 0.38 kV digunakan untuk Distribusi beban berkapasitas besar. Beban berkapasitas kecil dengan *Bus* utama 6.6 kV saling terhubung melewati transformator 2 belitan.

B. Sistem Proteksi PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada tanggal 18 Juli 2019 terjadi hubung singkat antar fasa di SS 73 A yang mengakibatkan tiga unit mengalami shutdown. Salah satu faktor yang melatarbelakangi hal tersebut terjadinya kegagalan koordinasi proteksi ini adalah kegagalan sistem proteksi yang terinstal pada sistem.

Kegagalan ini terjadi karena kondisi ruangan yang lembab, dan kurang pemeliharaan. Ketiga unit yang mengalami

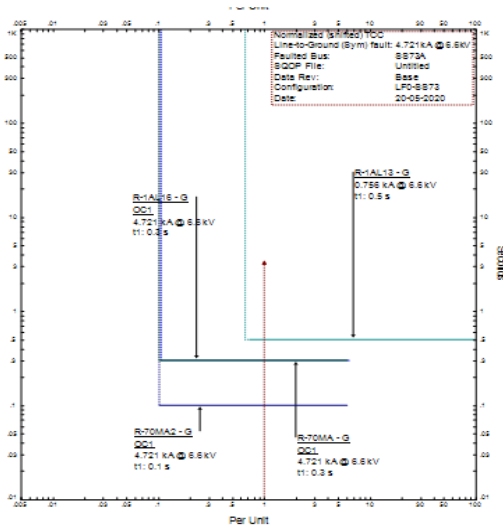
shutdown diantaranya, unit HCU, NHT-PLF, dan HVU-ComFac

Ketika hubung singkat berlangsung, karena gangguan ini tidak dilokalisasi dengan cepat beberapa tegangan pada *main bus* terjadi penurunan dalam beberapa saat yang mengakibatkan motor motor incoming dari bus 2AL dan 3 A1 terlepas karena *latching* kontaktor motornya, kontaktor motor akan lepas pad tegangan 60% nominal yang mengakibatkan HCU A *Shutdown* dan NHT-PLF turun *intake*

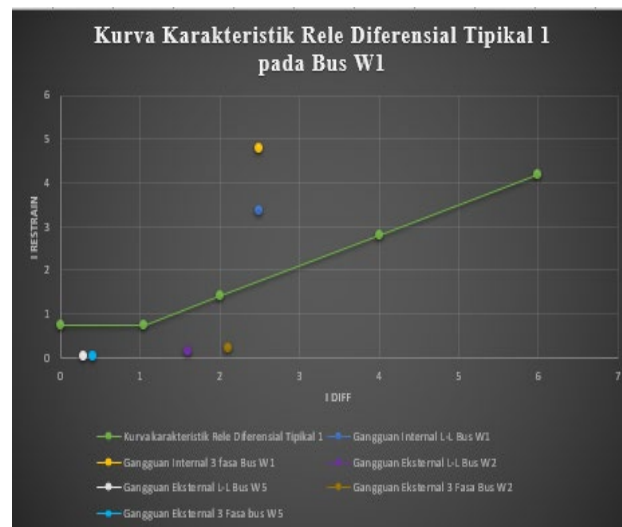
IV. HASIL SIMULASI DAN EVALUASI SETTING RELE PROTEKSI PADA PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

A. Pemilihan Tipek koordinasi Proteksi

Pemilihan tipek koordinasi proteksi pada PT. Pertamina RU V Balikpapan mempertimbangkan 3 unit mengalami



Gambar 5. TCC Rele Gangguan Tanah Tipikal 1



Gambar 6. Kurva Karakteristik Rele Diferensial Tipikal 1

Tabel 1. Rele Arus Lebih

ID Rele	Rasio CT	Setting Rele				ID Rele	Rasio CT	Setting Rele			
		Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting			Kode ANSI	Parameter	Existing	Resetting
R-70MA2	600/5	51	Jenis Kurva	IEC-EI	IEC-SI	R-2AL01	1000/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
			Pickup	1.2	0.8				Pickup	0.735	0.8
			Iset	720 A	480 A				Iset	735 A	800 A
		Time Dial	0.3	0.25	Time Dial			0.75	0.5		
		Pickup	10	3	Pickup			4.8	1.3		
		Iset	6000 A	1800 A	Iset			4800	1300		
Time Delay	0.8	0.1	Time Delay	0.5	0.5						
R-70MA	600/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI	R-2AL05	1500/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI
			Pickup	1.05	1				Pickup	0.98	1
			Iset	630 A	600 A				Iset	1470	1500 A
		Time Dial	1.2	0.8	Time Dial			0.6	0.7		
		Pickup	13.333	4	Pickup			2	1.5		
		Iset	8000 A	2400 A	Iset			3000 A	2250		
Time Delay	0.3	0.3	Time Delay	0.7	0.7						
R-1AL16	1250/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI	R-Q232	500/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
			Pickup	0.504	0.48				Pickup	0.59	0.6
			Iset	630	600				Iset	295 A	300 A
		Time Dial	1.2	0.8	Time Dial			0.6	0.325		
		Pickup	6.4	3.5	Pickup			5	2.2		
		Iset	8000 A	2400 A	Iset			2500 A	1100 A		
Time Delay	0.3	0.3	Time Delay	0.1	0.1						
R-GM-2-02A	30/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-LTI	R-1AL21	1000/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
			Pickup		1				Pickup	0.735	0.8
			Iset		30 A				Iset	735 A	800 A
		Time Dial		0.5	Time Dial			0.475	0.5		
		Pickup		15	Pickup			2.5	1		
		Iset		450 A	Iset			2500 A	1000 A		
Time Delay		0.1	Time Delay	0.5	0.5						
R-63MB	600/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI	R-1AL13	1500/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-VI
			Pickup	1.05	1				Pickup	0.965	1
			Iset	630 A	600 A				Iset	965 A	1500 A
		Time Dial	1.2	0.8	Time Dial			0.4	0.7		
		Pickup	13.333	4	Pickup			2.704	2.3		
		Iset	8000 A	2400 A	Iset			2704	2300 A		
Time Delay	0.3	0.3	Time Delay	0.7	0.7						
R-2AL08	600/5	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI	R-Q252	500/1	51	Jenis Kurva	IEC-SI	IEC-SI
			Pickup	0.504	0.48				Pickup	0.59	0.6
			Iset	630 A	600 A				Iset	295 A	300 A
		Time Dial	1.2	0.8	Time Dial			0.6	0.12		
		Pickup	6.4	1.92	Pickup			5	2.77		
		Iset	8000 A	2400 A	Iset			2500	1385 A		
Time Delay	0.3	0.3	Time Delay	0.1	2.77						

gangguan. Alasan yang mendasar dalam pemilihan tipikal adalah 3 unit yang mati (shutdown) tersebut disuplai oleh main Bus 2AL dan 1AL, sehingga pemilihan tipikal

koordinasi proteksi penelitian ini 4 tipikal koordinasi rele arus lebih, 2 tipikal koordinasi rele gangguan tanah, dan 5 tipikal rele diferensial pada sisi ring bus.

B. Arus Hubung Singkat

Dalam perhitungan *setting* rele arus lebih gangguan fasa, diperlukan data arus hubung singkat yang melewati rele. Dikarenakan PT. Pertamina RU V Balikpapan memiliki sumber yang menyebar di beberapa area untuk menyuplainya. Maka akan terdapat perbedaan nilai arus hubung singkat yang berbeda tergantung lokasi gangguan yang terjadi.

Arus hubung singkat maksimum atau arus hubung singkat 3 fasa pola operasi maksimum digunakan untuk menentukan *time dial* dari rele proteksi arus lebih dalam waktu *inverse*. Berdasarkan *cycle*, arus maksimum (I_{scmax}) dapat dibedakan menjadi :

- I_{scmax} 30 *cycle*, digunakan ketika rele beroperasi pada waktu > 0.1 detik
- I_{scmax} 4 *cycle*, digunakan ketika rele beroperasi kurang dari ≤ 0.1 detik

Pada kondisi 4 *cycle (transien)* sampai kondisi 30 *cycle (steady state)* motor-motor masih memberikan arus kontribusi sehingga nilai arus hubung singkat dapat berbeda.

Arus hubung singkat minimum (I_{scmin}) atau arus hubung singkat antar L-L (*Line to Line*) dalam 30 *cycle (steady state)* pola operasi minimum. Nilai arus hubung singkat minimum digunakan untuk menentukan nilai *pickup* kurva rele arus lebih dalam waktu *definite* (instan) sehingga rele dapat bekerja sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan ketika terjadi gangguan.

C. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Untuk mengatasi gangguan arus lebih, baik itu gangguan hubung singkat ataupun gangguan beban berlebih dapat menggunakan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa. Berikut merupakan parameter yang bisa diatur:

- *Time dial*
- *Time overcurrent pickup*
- *Time Delay*
- *Instantaneous overcurrent pickup*

Berikut merupakan Analisa dari kurva TCC *resetting* yang sudah didapatkan: ketika terjadi gangguan pada SS73A, untuk melokalisasi gangguan yang terjadi maka Rele R-70MA2 akan bekerja dengan waktu 0.1 detik. Selanjutnya Rele R-70MA dan R1AL16 akan menjadi backup dengan waktu 0.3 detik.

Saat terjadi gangguan pada SS73A ini, gangguan akan terisolasi dari sistem sehingga titik gangguan terisolasi dan tidak menyebabkan gangguan pada bagian yang lain. Ketika terjadi hubung singkat pada *Bus 1 AL-B*, maka rele R-1AL21, maka rele R-1AL21 akan melokalisasi gangguan pada waktu 0.5 detik dan Rele R-1AL13 akan mengamankan trafo pada waktu 0.7 detik, ketika rele R-Q252 akan menjadi backup pada waktu 1.51 ketika Rele R-1 Al 21 gagal bekerja. Saat terjadi gangguan pada motor, rele R-GM-2-02A akan bekerja 0.1 detik sebagai pengaman utama. R-63MB dan R-2AL08 sebagai *back up* yang akan bekerja pada waktu 0.3 detik. Berdasarkan *setting* parameter ini, maka ketika terjadi gangguan di motor 6.6 kV. Maka sistem akan terisolasi dengan terlepasnya motor dari L-L. Generator STG 2-3 dan trafo 3 belitan akan memberikan arus kontribusi ketika terjadi gangguan hubung singkat pada *Bus 2AL-A (Bus C)*. Rele R-2AL01 bekerja dengan waktu 0.5 detik, rele R2AL05 akan melindungi generator STG 2-3 akan bekerja dengan waktu 0.7 detik. Ketika R-2Al01 gagal bekerja, maka R-Q232 akan bekerja dalam waktu 1.31 detik. Berdasarkan *setting* ini, maka *Bus 2Al A (Bus C)* akan terisolasi dari arus kontribusi trafo dan arus kontribusi generator ketika terjadi gangguan di *Bus 2Al A (Bus C)*.

D. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah

Pada koordinasi rele arus lebih gangguan tanah atau *ground fault relay* mengacu pada NGR yang terpasang pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan. NGR pada sistem kelistrikan ini mengacu pada NGR Generator yang mempunyai NGR 1000 Ampere, Berikut merupakan analisa dari kurva TCC *resetting* yang sudah didapatkan: saat terjadi hubung singkat gangguan tanah, Rele R-70MA2

Tabel 2. Rele Gangguan Tanah

ID Rele	Rasio CT	Setting Rele				ID Rele	Rasio CT	Setting Rele			
		Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting			Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
R-70MA2	600/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT	R-GM-2-02A	30/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT
			<i>Pickup</i>	0.08	0.8				<i>Pickup</i>	0.5	15
			Iset	48 A	480 A				Iset	15 A	450 A
R-70MA	600/1	51G	<i>Time Dial</i>	1	0.1	R-63MB	600/5	51G	<i>Time Dial</i>	0.5	0.1
			Jenis Kurva	DT	DT				Jenis Kurva	CO2-STI	DT
			<i>Pickup</i>	0.3	0.8				<i>Pickup</i>	0.3	0.8
R-1AL16	1250/5	51G	Iset	180 A	480	R-2AL08	1250/5	51G	Iset	180 A	480
			<i>Time Dial</i>	0.1	0.3				<i>Time Dial</i>	1	0.3
			Jenis Kurva	DT	DT				Jenis Kurva	DT	DT
R-1AL13	1000/5	51G	<i>Pickup</i>	0.3	0.4	R-2AL05	600/5	51G	<i>Pickup</i>	0.3	0.4
			Iset	375 A	500 A				Iset	375	500
			<i>Time Dial</i>	0.1	0.3				<i>Time Dial</i>	1	0.3
R-1AL21	1000/5	51G	Jenis Kurva	DT	DT	R-2AL01	1000/1	51G	Jenis Kurva	DT	DT
			<i>Pickup</i>	0.5	0.5				<i>Pickup</i>	0.133	0.3
			Iset	500	500 A				Iset	200	450
R-1AL21	1000/5	51G	<i>Time Dial</i>	1.5	0.5	R-2AL01	1000/1	51G	<i>Time Dial</i>	0.5	0.5
			Jenis Kurva	DT	DT				Jenis Kurva	DT	DT
			<i>Pickup</i>	0.4	0.5				<i>Pickup</i>	0.2	0.5
R-1AL21	1000/5	51G	Iset	400	500 A	R-2AL01	1000/1	51G	Iset	200	500 A
			<i>Time Dial</i>	2	0.1				<i>Time Dial</i>	0.1	0.1

Tabel 3. Rele Diferensial

ID Rele	Peralatan yang Dilindungi	Setting Rele			
		Kode Ansi	Parameter	Existing	Resetting
R-Dif W1	Bus W1	87B	Pickup		0.74 pu
			Slope		70%
R-Dif W2	Bus W2	87B	Pickup		1.7 pu
			Slope		75%
R-Dif W3	Bus W3	87B	Pickup		1.8 pu
			Slope		100%
R-Dif W4	Bus W4	87B	Pickup		2.5 pu
			Slope		100%
R-Dif W5	Bus W5	87B	Pickup		0.7 pu
			Slope		130 %

sebagai pengaman utama akan bekerja pada waktu 0.1 detik. Rele R-70MA dan R-1AL16 akan menjadi *back up* pada waktu 0.3 detik. Rele R-1AL16 akan sebagai pelindung generator STG 2-1 akan bekerja di waktu 0.5 detik. Ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada SS73A maka L-L tersebut akan terlepas dari sistem sehingga gangguan dapat terisolasi.

Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada sisi sekunder trafo T45, maka rele R-1AL21 sebagai pengaman utama akan bekerja pada waktu 0.1 detik, dan rele R-1AL13 sebagai pengaman rele generator akan bekerja pada waktu 0.5 detik. Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, ketika hubung singkat gangguan tanah terjadi pada sisi sekunder trafo T45 adalah sebagai berikut:

E. Koordinasi Rele Diferensial

PT. Pertamina RU V Balikpapan, rele diferensial yang digunakan untuk sisi *ring Bus* 33 kV. Rele diferensial yang akan diamati itu terdapat 5 tipikal, yaitu itu untuk Bus W1, W2, W3, W4, W5. Dalam penentuan setting rele diferensial ada yang beberapa harus dipertimbangkan, antara lain : Aliran arus saat kondisi normal, Aliran arus saat gangguan eksternal L-L , Aliran arus saat gangguan eksternal 3 fasa, dan Aliran arus saat gangguan internal

Parameter rele diferensial yang bisa diatur sebagai berikut :

- Arus *pickup* ditentukan dengan mengacu I_{diff} ketika kondisi normal
- *Slope* ditentukan dengan mempertimbangkan *slope* terbesar ketika kondisi normal dan ketika terjadi gangguan eksternal
- Untuk pengujian hasil *setting* rele diferensial dilakukan uji coba plot kurva gangguan internal dan eksternal

F. Perbandingan Existing dan Resetting Rele

Hasil perbandingan dan resetting rele dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan juga Tabel 3.

V. KESIMPULAN

Hubung Singkat pada tanggal 18 Juli 2019 di PT. Pertamina RU mengakibatkan tiga unit mengalami *shutdown*, diantaranya Unit HCU, Unit NHT-PLF, dan Unit HVU ComFac.

Untuk Mengatasi kasus 18 Juli 2019 dilakukan evaluasi koordinasi proteksi rele arus lebih gangguan tanah, rele gangguan tanah, dan rele diferensial pada sisi *ring bus*

Ketika terjadi hubung singkat pada SS73A, pada kondisi *existing* terjadi kesalahan koordinasi proteksi dengan rincian R-70MA2(0.711s), R-70MA(0.3s), R-1AL16(0.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-70MA2 (0.1s), R70MA(0.3s), dan R-1AL16(0.3s) sehingga hasil *resetting* dapat mengatasi kesalahan koordinasi proteksi tersebut

Ketika terjadi hubung singkat gangguan fasa pada pada motor GM-2-02A, pada kondisi *existing* R-GM-2-02A tidak trip, R-263MB(0.3s), R-2A108(0.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-GM-2-02A(0.1s), R-63MB(0.3s), R-2A108(0.3s), sehingga hasil *resetting* memperbaiki *setting* dari Rele R-GM-2-02A sehingga memperbaiki kesalahan koordinasi proteksi tersebut

Ketika terjadi hubung singkat pada *Main Bus* 2AL-A, kondisi *existing* menyebabkan kegagalan koordinasi proteksi dengan *feeder* yang dibawahnya dan tidak mempertimbangkan CTI dengan rincian R-2AL01(3.17s), R-2AL05(3.87s), R-Q232(3.87s), hasil *resetting* menunjukkan R-2AL01(0.3s), R-2AL05(0.5s), R-Q232(1.03s) sehingga hasil *resetting* ini dapat memperbaiki kesalahan koordinasi tersebut

Ketika terjadi hubung singkat pada *Main Bus* 1AL-A, kondisi *existing* menunjukkan R-1AL21(0.5s), R-1AL13(0.7s), R-Q252(7.3s), hasil *resetting* menunjukkan R-1AL21(0.5s), R-1AL13(0.7s), R-Q252(1.03s) sehingga hasil *resetting* ini lebih cepat dari koordinasi sebelumnya

Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada SS73A, terjadi kesalahan koordinasi proteksi pada kondisi *existing* dengan rincian R-70MA2(1s), R-70MA(0.1s), R-1AL16(0.1s), R-1AL13(0.5s), hasil *resetting* menunjukkan R-70MA2(0.1s), R-70MA(0.3s), R-1AL16(0.3s), R-1AL13(0.5s), sehingga hasil *resetting* dapat mengatasi masalah kegagalan koordinasi tersebut

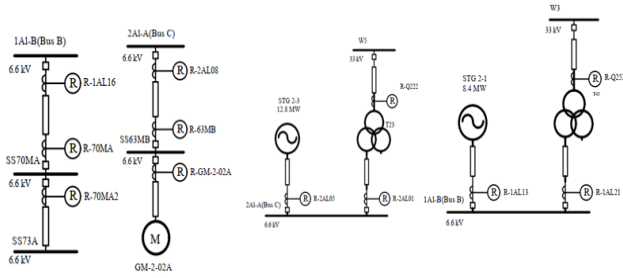
Ketika terjadi hubung singkat gangguan tanah pada motor GM-2-02A, terjadi kesalahan koordinasi proteksi dengan rincian R-GM-2-02A(0.5s), R-63MB(0.053s), R-2A108(0.1s), R-2AL05(0.5s), hasil *resetting* menunjukkan R-GM-2-02A(0.1s), R-63MB(0.3s), R-2A108(0.3s), R-2A105(0.5s), sehingga hasil *resetting* ini dapat memperbaiki kesalahan koordinasi tersebut

Hasil *setting* Rele Diferensial R-Dif W1(0.74pu, 70%), R-Dif W2(1.7pu, 70%), R-Dif W3(1.8pu, 100%), R-Dif W4(2.5pu, 100%), dan Rdif W5(1.5pu, 100%)

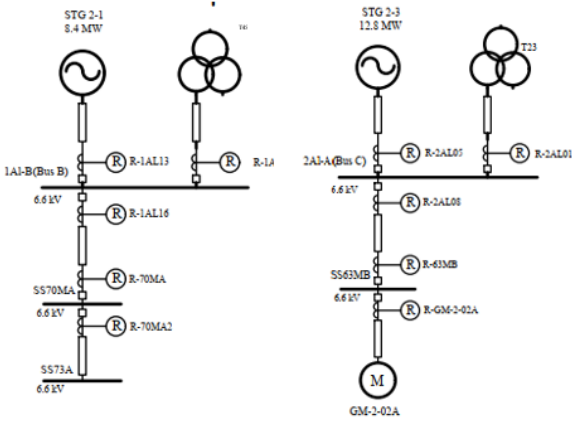
Setting Rele diferensial harus mempertimbangkan kondisi ketika gangguan eksternal dan gangguan internal

LAMPIRAN

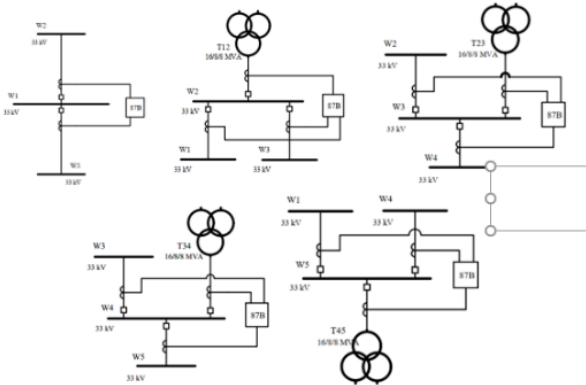
A. Pembuatan Tipikal Proteksi Koordinasi
 Rele arus lebih gangguan fasa



Rele gangguan tanah

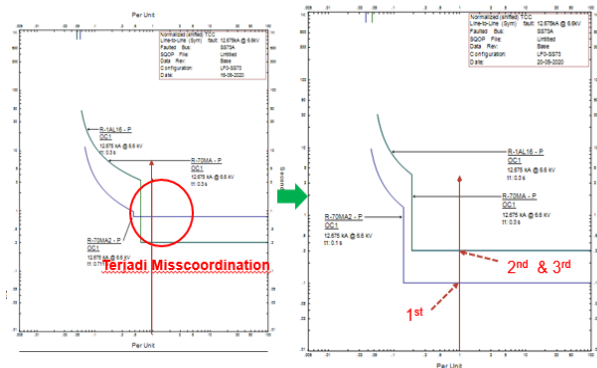


Rele Diferensial

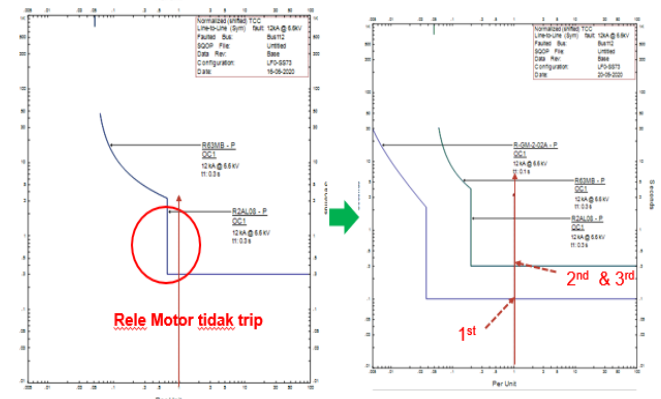


B. TCC Existing dan Resetting Rele Arus Lebih gangguan fasa

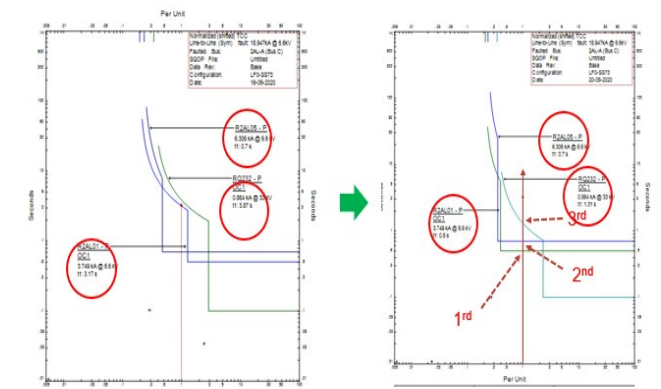
Tipikal 1



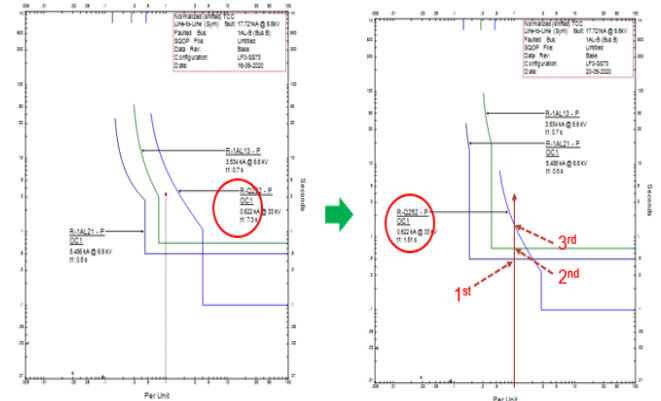
Tipikal 2



Tipikal 3

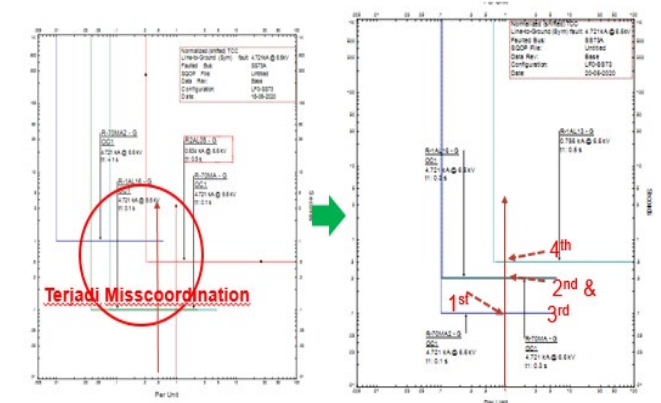


Tipikal 4

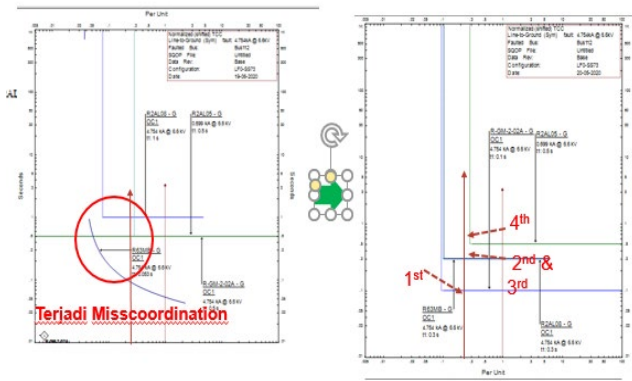


C. TCC Existing dan Resetting Rele Gangguan Tanah

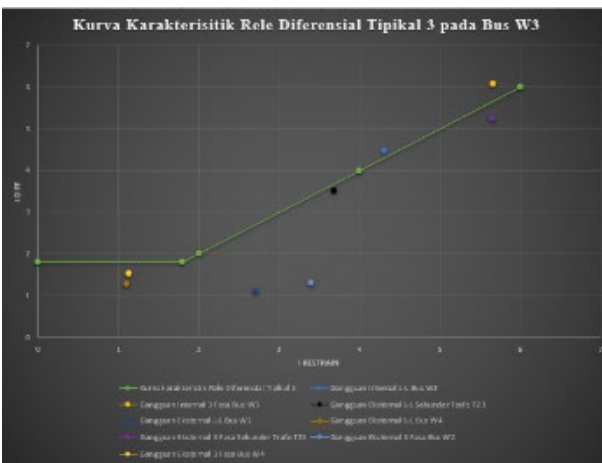
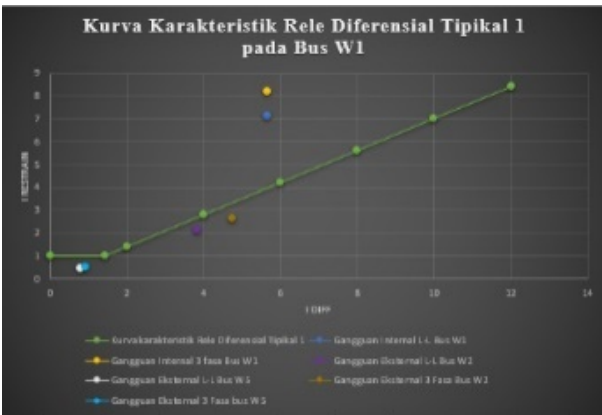
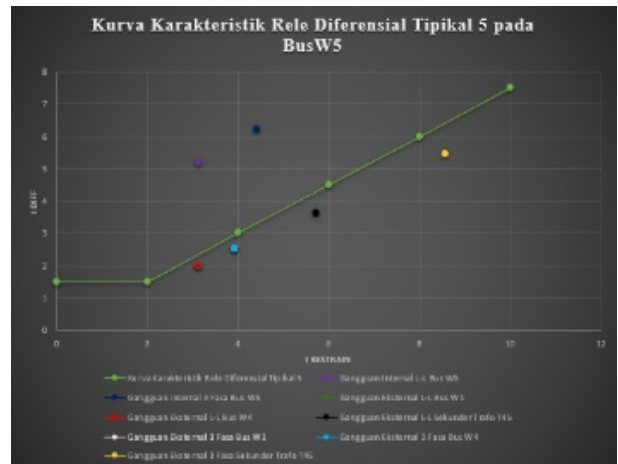
Tipikal 1



Tipikal 2



D. Kurva Karakteristik Rele Diferensial



DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Anderson, *Power System Protection*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [2] A. Prayuga, A. R. Prayuga, M. Pujiantara, and I. S. Hernanda, "Analisa pengaruh koordinasi peralatan proteksi terhadap karakteristik voltage sag di PT. Pupuk Kaltim (PKT) Bontang," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. B22–B27, 2012.
- [3] T. Gönen, *Modern Power System Analysis*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.
- [4] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, *Power System Analysis and Design*, 5th ed. Stamford, USA: Cengage Learning, 2012.
- [5] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*, 3rd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2006.
- [6] M. Pujiantara and N. Adi Brahmantia Putra, "Evaluasi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan integrasi PLN," *SinarFe7*, vol. 2, no. 1, pp. 509–515, 2019.