

ANALISIS SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV RSUP DR. KARIADI SEMARANG

Alfi Yahya Sunardi^{1*)}, Karnoto², Darjat³, dan Mustaghfiri⁴

¹²³⁴Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*) Email: alfiyahyasunardi@students.undip.ac.id

Abstrak

Topologi *ring* merupakan gabungan dari dua jaringan *radial* yang memungkinkan suplai cadangan ketika terjadi gangguan pada sistem. Pada JTM 20 kV RSUP Dr. Kariadi Semarang akan dibuat jaringan topologi *ring* dengan pola operasi *open-ring* atau *radial* dua arah dan dua manuver operasi yaitu Manuver 1 (CB *Outgoing* dan *Incoming* Gardu 2, *Outgoing* dan *Incoming* Gardu 4 dibuka) dan Manuver 2 (CB *Outgoing* dan *Incoming* Gardu 1, Ring G3-G4, Ring G4-G3 dibuka). Koordinasi proteksi akan diatur berdasarkan pola koordinasi proteksi jaringan radial menggunakan rele arus lebih berarah dan rele gangguan tanah berarah. Pada saat terjadi gangguan di Gardu *Service* manuver 1 rele arus lebih beroperasi berurutan dari lokasi gangguan menuju sumber yaitu *Relay* A3, *Relay* A2, *Relay* A1, *Relay* A dengan waktu *trip* masing-masing 0,109 s, 0,416 s, 0,732 s, dan 1,03 s (*grading time* 0,3-0,5 s sesuai IEC 60255), arus *pickup* masing-masing 10,125 A, 22,35 A, 41 A, dan 95,875 A, sedangkan rele gangguan tanah juga beroperasi berurutan yaitu *Relay* A3, *Relay* A2, *Relay* A1, *Relay* A dengan waktu *trip* masing-masing 0,063 s, 0,369 s, 0,686 s, dan 1,01 s dengan (*grading time* 0,3-0,5 detik sesuai IEC 60255), arus *pickup* masing-masing 1232,9 A, 1295,8 A, 1312,4 A, dan 1388,1 A.

Kata Kunci: JTM, Ring, Radial, Proteksi, Trip, Grading Time, IEC 60255

Abstract

Ring topology is a combination of two radial networks that allow backup supply in the event of a system disturbance. At JTM 20 kV RSUP Dr. Kariadi Semarang will build a ring topology network with an open-ring or two-way radial operation pattern and two operating maneuvers, Maneuver 1 (CB Outgoing and Incoming Substation 2, Outgoing and Incoming Substation 4 open) and Maneuver 2 (CB Outgoing and Incoming Substation 1, Ring G3-G4, Ring G4-G3 opened). Protection coordination will be regulated based on the radial network protection coordination pattern using directional overcurrent relays and directional ground fault relays. When a disturbance occurs at the Service Substation, the overcurrent relay operates sequentially from the fault location to the source, Relay A3, Relay A2, Relay A1, Relay A with trip times of 0.109 s, 0.416 s, 0.732 s, and 1.03 s. respectively (grading time 0.3-0.5 s according to IEC 60255), the pickup currents are 10.125 A, 22.35 A, 41 A, and 95.875 A, while the ground fault relay operates sequentially, Relay A3, Relay A2, Relay A1, Relay A with trip times of 0.063 s, 0.369 s, 0.686 s, and 1.01 s (grading time 0.3-0.5 seconds according to IEC 60255), the pickup current is 1232 A, 1295.8A, 1312.4A, and 1388.1A.

Keywords: Ring, Radial, Protection, Trip, Grading Time, IEC 60255

1. Pendahuluan

Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Kariadi Semarang (RSUP Dr. Kariadi Semarang) merupakan salah satu rumah sakit umum pusat di Kota Semarang yang beralamat di Jl. Dr. Sutomo No.16, Kelurahan Randusari, Kecamatan Semarang Selatan, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50244. RSUP Dr. Kariadi Semarang sebagai rumah sakit umum rujukan, dituntut untuk menjaga kontinuitas pelayanan kepada masyarakat. Sebagian besar peralatan penunjang operasional rumah sakit beroperasi menggunakan tenaga listrik, dimana dalam hal ini kontinuitas suplai tenaga

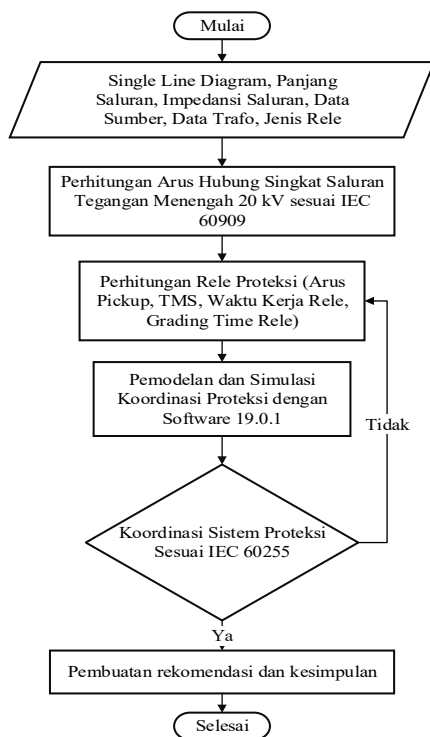
listrik menjadi sangat vital. Saat ini, RSUP Dr. Kariadi Semarang merupakan pelanggan tegangan menengah 20 kV PLN yang disuplai melalui Gardu Induk Kalisari. Untuk memenuhi kebutuhan listrik di setiap gedung, digunakan 8 (delapan) buah gardu distribusi tegangan menengah 20/0,4 kV untuk masing-masing gedung yang terdiri dari Paviliun Garuda, Gedung Kasuari, Gedung Elang, Gedung Merpati, Gedung Cendrawasih, Instalasi Rawat Inap Kelas III dan Unit Stroke, dan Gedung Penunjang. Suplai tenaga listrik dari GI Kalisari terhubung langsung dengan Gardu Onkologi yang kemudian terhubung secara radial ke gardu lainnya. Penggunaan

konfigurasi jaringan radial pada sistem kelistrikan di RSUP Dr. Kariadi Semarang memiliki banyak kekurangan untuk menyuplai sumber listrik secara kontinu, hal ini dikarenakan jika terjadi gangguan di salah satu gardu, maka gardu lain akan terganggu. Gawai hubung-buka di RSUP Dr. Kariadi sebagian masih menggunakan LBS (*Load Break Switch*) sehingga ketika terjadi gangguan maka proses penanganan akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Untuk itu, dalam perancangan sistem proteksi pada penelitian ini, gawai hubung buka akan sepenuhnya menggunakan CB (*Circuit Breaker*). Perancangan sistem proteksi saluran jaringan tegangan menengah 20 kV RSUP Dr. Kariadi Semarang akan dilakukan dengan topologi ring, dengan manuver operasi radial 2 arah. Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan impedansi sistem, arus hubung singkat, arus *pickup*, TMS (*Time Multiplier Setting*), pengaturan parameter gawai proteksi, pembuatan *single line diagram* dan simulasi koordinasi proteksi menggunakan *software* ETAP 19.0.1. dengan acuan standar IEC60255[1].

2. Metode

2.1 Metode Penelitian

Berikut merupakan bentuk diagram alir yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir yang merupakan alur pengerjaan dari penelitian ini yang berjudul

“Koordinasi Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV RSUP Dr. Kariadi Semarang”. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

2.2 Pengumpulan Data

2.2.1 Lokasi Perancangan Konstruksi JTM

Lokasi perencanaan konstruksi Vjaringan tegangan menengah 20 kV akan dilaksanakan di RSUP Dr. Kariadi Semarang (Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Kariadi Semarang). RSUP Dr. Kariadi beralamat di Jl. Dr. Sutomo No.16, Randusari, Kecamatan Semarang Selatan, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50244. Sebagai gambaran fisik dari lokasi tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2, dimana gambar tersebut diambil melalui aplikasi *Google Earth Pro*. Tabel 1. Merupakan data geografis RSUP Dr. Kariadi Semarang.



Gambar 2. Lokasi Perancangan JTM 20 kV

Tabel 1. Data Geografis RSUP Dr. Kariadi Semarang

No.	Subjek	Keterangan
1.	Tipe Tanah	Tanah Keras
2.	Suhu Lokasi	22°C - 35°C
3.	Luas Area	193.410 m ²

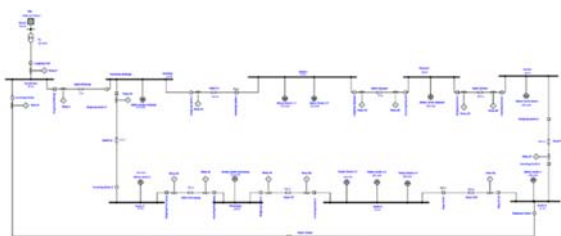
2.2.2 Siteplan JTM 20 kV



Gambar 3. Siteplan Perencanaan Saluran Tegangan Menengah 20 kV

Gambar 3. Merupakan siteplan JTM 20 kV pada perencanaan saluran tegangan menengah di RSUP Dr. Kariadi Semarang.

2.2.3 Single Line Diagram Sistem Proteksi



Gambar 4. Single Line Diagram Sistem Proteksi

Gambar 4. Merupakan single line diagram perencanaan sistem proteksi JTM 20 kV di RSUP Dr. Kariadi Semarang.

2.2.4 Data Sumber 150 kV

Data Sumber 150 kV diperoleh dari data PLN UP3 Semarang pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sumber 150 kV

Gardu Induk	Kalisari
MVAhs 3 fasa	5588,462
MVAhs 1 fasa	5406,596
Ihs 3 fasa (kA)	21,51
Ihs 1 fasa (kA)	20,81

2.2.5 Data Transformator 60 MVA GI Kalisari

Data transformator 60 MVA GI Kalisari diperoleh dari data PLN UP3 Semarang seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Transformator 60 MVA GI Kalisari

Spesifikasi Transformator GI Kalisari	
Merk	Xian
Kapasitas	60 MVA
Vektor Grup	YNyn0(d)
Impedansi	12,5%
Rating Tegangan	150/20 kV

Data transformator 60 MVA GI Kalisari diperoleh dari data PLN UP3 Semarang seperti pada Tabel 3

2.2.6 Data Panjang Saluran

Panjang saluran dalam perencanaan sistem proteksi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Panjang Saluran

Saluran	Panjang (meter)
PLN-Onkologi	5
Onkologi-G1	330
G1-Rajawali	75

Tabel 4. (lanjutan)

Saluran	Panjang (meter)
Rajawali-Service	505
Service-G4	330
Penunjang-G2	535
G4-G3	80
G3-Penunjang	315
Penunjang-G2	5
G2-PLN	330
PLN-G4	805
Kalisari-Onkologi	150

2.2.7 Data Kabel

Data kabel yang digunakan pada perencanaan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Kabel

Data Kabel	
Penampang nominal (mm ²)	240
Jari-jari (mm)	8,7386
Jenis Inti	Inti 3
Impedansi Urutan Positif (Ω/km)	0,098 + j0,098
Impedansi Urutan Nol (Ω/km)	0,483 + j0,245

2.2.8 Data Beban RSUP Dr. Kariadi

Data beban RSUP Dr. Kariadi diperoleh melalui survei dan dirangkum pada Tabel 6.

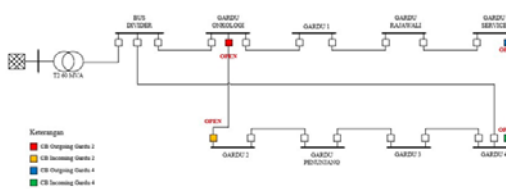
Tabel 6. Data Beban RSUP Dr. Kariadi

Beban RSUP Dr. Kariadi	
Beban	Daya (kVA)
Trafo Onkologi	473
Trafo Gardu 1-1	371
Trafo 1-2	152
Trafo Rajawali	339
Trafo Service	281
Trafo Gardu 2	354
Trafo Penunjang	83.4
Trafo Gardu 4	205
Trafo Gardu 3-1	649
Trafo Gardu 3-2	811
Transformator Gardu 3-3	339

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Manuver Operasi

3.1.1 Manuver Operasi 1



Gambar 5. Manuver Operasi 1

Manuver operasi 1 ditunjukkan oleh Gambar 5 dimana CB Outgoing Gardu 2, Incoming Gardu 2, Outgoing Gardu 4, Incoming Gardu 4 dibuka. Gardu Onkologi, Gardu 1, Gardu Rajawali, dan Gardu Service disuplai melalui Kabel Onkologi. Gardu 4, Gardu 3, Gardu Penunjang, dan Gardu 2 disuplai melalui Kabel Feeder.

3.1.2 Manuver Operasi 2



Gambar 6. Manuver Operasi 2

Manuver operasi 2 ditunjukkan oleh Gambar 6 dimana CB Outgoing Gardu 1, Incoming Gardu 1, Ring G3-G4, Ring G4-G3 dibuka. Gardu 1, Gardu Rajawali, Gardu Service, dan Gardu 4 disuplai melalui Kabel Feeder. Gardu Onkologi, Gardu 2, Gardu Penunjang, dan Gardu 3 disuplai melalui Kabel Feeder.

3.2 Analisis Hubung Singkat

3.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber dapat dilihat pada persamaan berikut.[1]

3.2.1.1 Perhitungan MVA Hubung Singkat 150 kV

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times kV_{ll} \times I_{hs} \quad (1)$$

$$MVA_{hs} = \sqrt{3} \times 150 \times 21,51 \text{ MVA}$$

$$MVA_{hs} = 5588,462 \text{ MVA}$$

3.2.1.2 Perhitungan Impedansi Sumber Sisi Primer

$$X_{sc} 150 \text{ kV} = \frac{kV^2}{MVA} \quad (2)$$

$$X_{sc} 150 \text{ kV} = \frac{150^2}{5588,462} = j4,0261 \Omega$$

3.2.1.3 Perhitungan Impedansi Sumber Sisi Primer

$$X_{sc} 20kV = \frac{kV \text{ (sisi sekunder trafo)}^2}{kV \text{ (sisi primer trafo)}^2} \times X_{sc} \text{ sisi Primer} \quad (3)$$

$$X_{sc} 20kV = \frac{20^2}{150^2} \times j4,0261 = j0,0715 \Omega$$

3.2.2 Perhitungan Impedansi Trafo

Perhitungan impedansi trafo dapat dilihat pada persamaan berikut.

3.2.2.1 Perhitungan Reaktansi Trafo 100%

$$X_{T(100\%)} = \frac{kV^2}{MVA_{Base}} \quad (4)$$

$$X_{T(100\%)} = \frac{20^2}{60} = j6,67 \Omega$$

3.2.2.2 Perhitungan Reaktansi Trafo 12,5%

$$X_T = X_{T(\%)} \times X_{T(100\%)} \quad (5)$$

$$X_t = 12,5\% \times X_{T(100\%)}$$

$$X_t = 12,5\% \times j6,67 \Omega$$

$$X_t = j0,83 \Omega$$

$$Z_t = j0,83 \Omega$$

3.2.3 Perhitungan Impedansi Saluran

Penulis mengambil contoh perhitungan impedansi pada saluran menuju Gardu 1. Perhitungan impedansi saluran dapat dilihat pada persamaan berikut[6]

3.2.3.1 Perhitungan Impedansi Saluran Urutan Positif dan Negatif

$$Z_{L1} = l \times Z \quad (6)$$

$$Z_{L1} = (0,33 \text{ km}) \times (0,098 + j0,098) \Omega/\text{km}$$

$$Z_{L1} = 0,03234 + j0,03234 \Omega$$

$$Z_{L1} = Z_{L2} = 0,03234 + j0,03234 \Omega$$

3.2.3.2 Perhitungan Impedansi Saluran Urutan Nol

$$Z_{L0} = l \times Z \quad (7)$$

$$Z_{L0} = (0,33 \text{ km}) \times (0,483 + j0,483) \Omega/\text{km}$$

$$Z_{L0} = 0,15939 + j0,08085 \Omega$$

Hasil perhitungan impedansi saluran dirangkum pada Tabel 7 untuk impedansi saluran urutan positif/negatif, dan Tabel 8. Untuk impedansi urutan nol.

Tabel 7. Impedansi Saluran Urutan Positif/Negatif

Nama Saluran	Impedansi Saluran Urutan Positif/Negatif
	(Z _{L1} /Z _{L2})
Kabel Kalisari	0,01470 + j0,01470
Nama Saluran	Impedansi Saluran Urutan Positif/Negatif
	(Z _{L1} /Z _{L2})
Kabel Onkologi	0,00049 + j0,00049
Kabel G1	0,03234 + j0,03234
Kabel Rajawali	0,00735 + j0,00735
Kabel Service	0,02891 + j0,02891
Kabel G4	0,04949 + j0,04949

Kabel G34	0,03234 + j0,03234
Kabel G3	0,05243 + j0,05243
Kabel Penunjang	0,00784 + j0,00784
Kabel G2	0,03087 + j0,03087
Kabel Feeder	0,07889 + j0,07889

Tabel 8. Impedansi Saluran Urutan Nol

Nama Saluran	Impedansi Saluran Urutan Nol (Z_{L0})
Kabel Kalisari	0,07245 + j0,03675
Kabel Onkologi	0,00242 + j0,00123
Kabel G1	0,15939 + j0,08085
Kabel Rajawali	0,03623 + j0,01838
Kabel Service	0,14249 + j0,07228
Kabel G4	0,24392 + j0,12373
Kabel G34	0,15939 + j0,08085
Kabel G3	0,25841 + j0,13108
Kabel Penunjang	0,03864 + j0,01960
Kabel G2	0,15215 + j0,07718
Kabel Feeder	0,38882 + j0,19723

3.2.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen

Penulis mengambil contoh perhitungan pada Bus Onkologi pada saat terjadi gangguan. Perhitungan impedansi saluran dapat dilihat pada persamaan berikut.

3.2.4.1 Perhitungan Impedansi Urutan Positif dan Negatif

$$\begin{aligned}
 Z_{1\text{ Eki}} &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1} \Omega & (7) \\
 Z_{1\text{ Eki}} &= Z_S + Z_{T1} + Z_{L1\text{ Kalisari}} + Z_{L1\text{ Onkologi}} \Omega \\
 Z_{1\text{ Eki}} &= j0,0715 + j0,83 + (0,01470 + j0,01470) + \\
 &\quad (0,00049 + j0,00049) \Omega \\
 Z_{1\text{ Eki}} &= 0,0152 + j0,9200993783 \Omega \\
 Z_{1\text{ Eki}} = Z_{2\text{ Eki}} &= 0,0152 + j0,9200993783 \Omega
 \end{aligned}$$

3.2.4.2 Perhitungan Impedansi Urutan Nol

$$\begin{aligned}
 Z_{0\text{ Eki}} &= Z_S + Z_{T0} + Z_{L0} \Omega & (8) \\
 Z_{0\text{ Eki}} &= Z_{T0} + Z_{L0\text{ Kalisari}} + Z_{L0\text{ Onkologi}} \Omega \\
 Z_{0\text{ Eki}} &= j0,83 + (0,07245 + j0,03675) + (0,00242 + \\
 &\quad j0,00123) \Omega \\
 Z_{0\text{ Eki}} &= 0,0749 + j0,871308333 \Omega
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan impedansi ekuivalen dirangkum pada Tabel 9 untuk impedansi ekuivalen urutan positif/negatif, dan Tabel 10 untuk impedansi urutan nol.

Tabel 9. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/Negatif

Bus Fault	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif/Negatif (Z_1/Z_2)
Onkologi	0,0152 + j0,9200993783
Gardu 1	0,0475 + j0,9524393783
Rajawali	0,0549 + j0,9597893783
Service	0,0838 + j0,9886993783
Gardu 4	0,0936 + j0,9984993783
Gardu 3	0,1259 + j1,0308393783
Penunjang	0,1784 + j1,0832693783
Gardu 2	0,1862 + j1,0911093783

Tabel 10. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol

Bus Fault	Impedansi Ekuivalen Urutan Nol (Z_0)
Onkologi	0,0152 + j0,9200993783
Gardu 1	0,0475 + j0,9524393783
Rajawali	0,0549 + j0,9597893783
Service	0,0838 + j0,9886993783
Gardu 4	0,0936 + j0,9984993783
Gardu 3	0,1259 + j1,0308393783
Penunjang	0,1784 + j1,0832693783
Gardu 2	0,1862 + j1,0911093783

3.2.5 Perhitungan dan Simulasi Arus Hubung Singkat

Penulis mengambil contoh perhitungan hubung singkat pada Bus Onkologi Manuver 1. Perhitungan arus hubung singkat dapat dilihat dari persamaan (9)-(12)[2].

3.2.5.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

$$I_{sc3ph} = \frac{c \times V_{ln}}{Z_{1eki}} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 I_{sc3ph} &= \frac{1,1 \times \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)}{0,0152 + j0,9200993783} \\
 I_{sc3ph} &= 13803,830 \angle -89,087^\circ \text{ A} \\
 I_{sc3ph} &= 13,803 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3.2.5.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat 2 Fasa

$$\begin{aligned}
 I_{sc2ph} &= \frac{c \times V_{ll}}{Z_{1eki} + Z_{2eki}} & (10) \\
 I_{sc2ph} &= \frac{1,1 \times 20000}{(0,0152 + j0,9200993783) + (0,0152 + j0,9200993783)} \\
 I_{sc2ph} &= 11953,601 \angle -89,056^\circ \text{ A} \\
 I_{sc2ph} &= 11,953 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3.2.5.3 Arus Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

$$\begin{aligned}
 I_{sc1ph-G} &= \frac{3 \times V_{ln} \times c}{Z_{0eki} + Z_{1eki} + Z_{2eki}} & (11) \\
 I_{sc1ph-G} &= \frac{3 \times V_{ln} \times c}{Z_{0eki} + (2 \times Z_{1eki})} \\
 I_{sc1ph-G} &= \frac{3 \times \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) \times 1,1}{(0,0749 + j0,871308333) + (2 \times (0,0152 + j0,9200993783))} \\
 I_{sc1ph-G} &= 14042,540 \angle -87,777^\circ \text{ A} \\
 I_{sc1ph-G} &= 14,043 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3.2.5.4 Arus Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

$$I_{sc2ph-g} = \frac{3 \times c \times V_{ln} \times Z_{2eki}}{Z_{0eki}Z_{1eki} + Z_{0eki}Z_{2eki} + Z_{1eki}Z_{2eki}} \quad (12)$$

$$Z_{0eki}Z_{1eki} = (0,0749 + j0,8713083333)(0,0152 + j0,9200993783)$$

$$Z_{0eki}Z_{1eki} = -0,80055 + j0,082118 \Omega$$

$$Z_{1eki}Z_{2eki} = (0,0152 + j0,9200993783)(0,0152 + j0,9200993783)$$

$$Z_{1eki}Z_{2eki} = -0,846352 + j0,0279526 \Omega$$

$$I_{sc2ph-g} = \frac{3 \times 1,1 \times \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right) \times (0,0152 + j0,9200993783)}{(-0,80055 + j0,082118) + (-0,80055 + j0,082118) + (-0,846352 + j0,0279526)}$$

$$I_{sc2ph-g} = 14283,250 \angle -86,456 \text{ A}$$

$$I_{sc2ph-g} = 14,283 \text{ kA}$$

Hasil perhitungan arus hubung singkat ditunjukkan oleh Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Arus Hubung Singkat 3 Fasa dan 1 Fasa -Tanah Manuver 1

Bus Gangguan	3 Fasa (kA)	1 Fasa-Tanah (kA)
Divider	13,810	14,055
Onkologi	13,803	14,043
Gardu 1	13,319	13,250
Rajawali	13,212	13,072
Service	12,801	12,390
Gardu 4	12,665	12,166
Gardu 3	12,231	11,456
Penunjang	11,570	10,409
Gardu 2	11,475	10,264

Tabel 12. Arus Hubung Singkat 2 Fasa dan 2 Fasa -Tanah Manuver 1

Bus Gangguan	2 Fasa (kA)	2 Fasa-Tanah (kA)
Divider	11,960	14,301
Onkologi	11,954	14,283
Gardu 1	11,535	13,126
Rajawali	11,442	12,867
Service	11,086	11,885
Gardu 4	10,968	11,569
Gardu 3	10,592	10,593
Penunjang	10,020	9,239
Gardu 2	9,938	9,059

3.2.5.5 Simulasi Arus Hubung Singkat dengan ETAP 19.0.1

Hasil simulasi arus hubung singkat ditunjukkan oleh Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13. Arus Hubung Singkat 3 Fasa dan 1 Fasa -Tanah Manuver 1

Bus Gangguan	3 Fasa (kA)	1 Fasa-Tanah (kA)
Divider	14,056	13,893
Onkologi	14,048	13,881
Gardu 1	13,549	13,124
Rajawali	13,440	12,958
Service	13,022	12,329

Gardu 4	12,885	12,124
Gardu 3	12,449	11,479
Penunjang	11,791	10,533
Gardu 2	11,698	10,402

Tabel 14. Arus Hubung Singkat 2 Fasa dan 2 Fasa -Tanah Manuver 1

Bus Gangguan	2 Fasa (kA)	2 Fasa-Tanah (kA)
Divider	12,173	13,668
Onkologi	12,166	13,652
Gardu 1	11,734	12,686
Rajawali	11,639	12,490
Service	11,277	11,789
Gardu 4	11,159	11,574
Gardu 3	10,781	10,933
Penunjang	10,211	10,073
Gardu 2	10,130	9,958

3.3 Setting Peralatan Proteksi

3.3.1 Penentuan Arah Rele Direksional

Penentuan arah rele berdasarkan arah arus saat dilakukan perubahan manuver, dimana rele direksional hanya akan bekerja ketika arah arus gangguan sesuai dengan arah *settingnya*[3].

Tabel 15. Arah Rele Direksional

Rele	Arah	Rele	Arah
Relay A	Non-Directional	Relay B	Non-Directional
Relay A1	Forward	Relay B1	Forward
Relay A2	Forward	Relay B2	Forward
Relay A3	Forward	Relay B3	Forward
Relay A4	Reverse	Relay B4	Reverse
Relay A5	Reverse	Relay B5	Reverse
Relay A6	Reverse	Relay B6	Reverse

3.3.2 Perhitungan Full Load Ampere

Penulis mengambil contoh perhitungan pada Gardu Onkologi. Perhitungan *Full Load Ampere* dapat dilihat pada persamaan berikut[4].

$$FLA = \frac{kVA}{V_{in}} \quad (13)$$

$$FLA = \frac{1616}{\frac{20000}{\sqrt{3}}} \text{ A}$$

$$FLA = 46 \text{ A}$$

Hasil perhitungan *Full Load Ampere* pada setiap gardu dirangkum pada Tabel 16.

Tabel 16. Full Load Ampere

Bus	FLA	
	Manuver 1	Manuver 2
Onkologi	46	76,7
Gardu 1	32,4	14,9
Rajawali	17,6	24,5
Service	8,1	32,5
Gardu 4	70,1	38,3
Gardu 3	64,2	50,8
Penunjang	12,6	53,2

3.3.3 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih (OCR)

Penulis mengambil contoh perhitungan setting rele pada rele A. Perhitungan *setting* rele proteksi dilakukan menggunakan persamaan (14).

- Jenis Rele = Areva P141
- Karakteristik = IEC Standard Inverse
- Full Load Ampere = 76,7 A
- Rasio CT = 200/5
- $I_{SC\ 3\ Fasa}$ = 14048 A
- I_{Set} = $1,25 \times 76,7$
- I_{Set} = 95,875 A
- I_{Set} = 95,875
- Pickup rele = $\frac{200}{95,875}$
- Pickup rele = 0,479
- t_{op} = 0,695 s

Dengan menggunakan kurva IEC standard inverse, maka TMS dapat ditentukan sebagai berikut[5].

$$TMS = \frac{t \times \left[\left(\frac{I_f}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \quad (14)$$

$$TMS = 0,975 \times \frac{\left(\frac{14048}{0,479} \right)^{0,02}}{0,14}$$

$$TMS = 0,52$$

3.3.4 Setting Rele Gangguan Tanah (GFR)

Perhitungan setting rele diambil contoh perhitungan pada rele A

- Jenis Rele = Areva P141
- Rasio CT = 200/5
- $I_{SC\ 1F-G}$ = 13881 A
- I_{Set} = $10\% \times I_{SC\ 1F-G}$
- I_{Set} = 1388,1 A
- t_{op} = 1,2 s

Dengan menggunakan kurva IEC standard inverse, maka TMS dapat ditentukan sebagai berikut.

$$TMS = 1,2 \times \frac{\left(\frac{13881}{1388,1} \right)^{0,02}}{0,14}$$

$$TMS = 0,404$$

Hasil *setting* rele OCR dirangkum pada Tabel 17 dan rele GFR dirangkum pada Tabel 18.

Tabel 17. Pickup dan TMS OCR

Rele	Arah	Pickup (A)	TMS
Relay A	Non-Directional	95,875	0,520
Relay A1	Forward	41	0,369
Relay A2	Forward	22,25	0,209
Relay A3	Forward	10,125	0,054
Relay A4	Reverse	79	0,352
Relay A5	Reverse	66,5	0,200
Relay A6	Reverse	63,5	0,039
Relay B	Non-Directional	87,625	0,510
Relay B1	Forward	80,25	0,360
Relay B2	Forward	15,75	0,206
Relay B3	Forward	12,75	0,052
Relay B4	Reverse	40,625	0,481
Relay B5	Reverse	30,625	0,262
Relay B6	Reverse	18,625	0,049

Tabel 18. Pickup dan TMS GFR

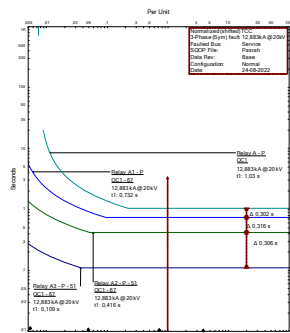
Rele	Arah	Pickup (A)	TMS
Relay A	Non-Directional	1388,1	0,404
Relay A1	Forward	1312,4	0,273
Relay A2	Forward	1295,8	0,147
Relay A3	Forward	1232,9	0,017
Relay A4	Reverse	1315,8	0,273
Relay A5	Reverse	1298	0,147
Relay A6	Reverse	1186,4	0,017
Relay B	Non-Directional	1212,4	0,404
Relay B1	Forward	1147,9	0,273
Relay B2	Forward	1053,3	0,147
Relay B3	Forward	1040,2	0,017
Relay B4	Reverse	1115,6	0,273
Relay B5	Reverse	1064,2	0,147
Relay B6	Reverse	1051,7	0,017

3.4 Analisis Koordianasi Sistem Proteksi

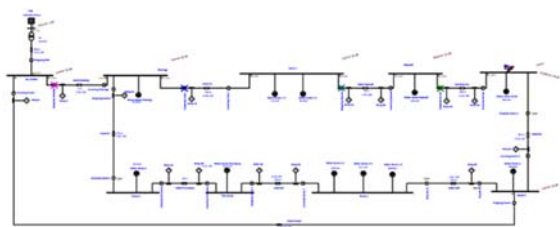
3.4.1 Koordinasi OCR

Koordinasi perangkat proteksi disimulasikan untuk gangguan paling jauh dari sumber untuk melihat urutan kerja rele secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan memberi arus gangguan 3 fasa, 2 Fasa, 1 Fasa ke Tanah, dan 2 Fasa ke Tanah.

3.4.1.1 Gangguan pada Gardu Service Manuver 1



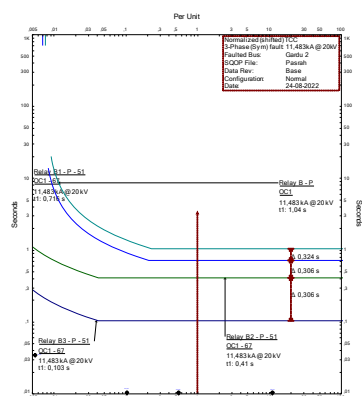
Gambar 7. Kurva TCC Gangguan 3 Fasa pada Gardu Service Manuver 1



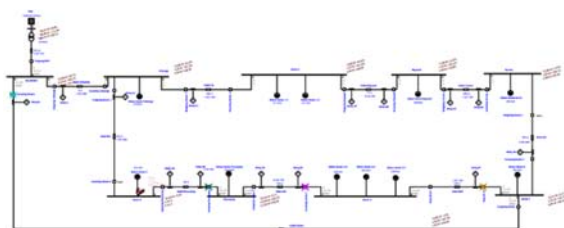
Gambar 8. Urutan Kerja Peralatan Proteksi daat Gangguan pada Gardu Service Manuver 1

Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan kurva TCC dan urutan kerja peralatan proteksi ketika terjadi gangguan 3 fasa pada gardu service Manuver 1 pada software ETAP 19.0.1.

3.4.1.2 Gangguan pada Gardu 2 Manuver 1



Gambar 9. Kurva TCC Gangguan 3 Fasa pada Gardu 2 Manuver 1



Gambar 10. Urutan Kerja Peralatan proteksi Saat Gangguan pada Gardu 2 Manuver 1

Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan kurva TCC dan urutan kerja peralatan proteksi ketika terjadi gangguan 3 fasa pada gardu 2 Manuver 1 pada software ETAP 19.0.1.

Berdasarkan Gambar 7 sampai Gambar 10, dapat dilihat ketika terjadi gangguan pada Gardu Service rele pengaman sudah bekerja dengan baik sesuai dengan urutannya. Relay A3 yang merupakan relay utama bekerja terlebih dahulu, sedangkan Relay A2, Relay A1, dan Relay A bertindak sebagai pengaman cadangan ketika Relay A3 gagal bekerja. Ketika terjadi gangguan pada Gardu 2, rele pengaman sudah bekerja dengan baik sesuai dengan urutannya. Relay B3 yang merupakan relay utama bekerja

terlebih dahulu, sedangkan Relay B2, Relay B1, dan Relay B bertindak sebagai pengaman cadangan ketika Relay B3 gagal bekerja. Hal ini berarti bahwa koordinasi sistem proteksi sudah memenuhi syarat proteksi yaitu reliability atau keandalan.

3.4.2 Waktu Kerja Rele

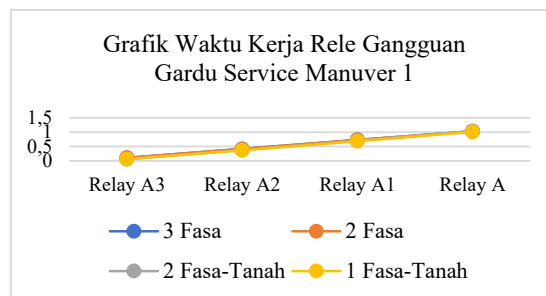
Berdasarkan kurva arus terhadap waktu, dapat dilihat waktu kerja rele gangguan arus lebih dan rele gangguan tanah setiap rele pada semua jenis gangguan pada Tabel 19 dan Tabel 20.

Tabel 19. Waktu Kerja Rele Saat Gangguan pada Gardu Service

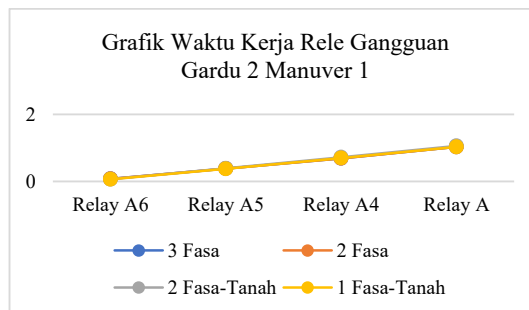
Gangguan	Relay A3	Relay A2	Relay A1	Relay A
3 Fasa	0,109	0,416	0,732	1,03
2 Fasa	0,109	0,416	0,732	1,03
2 Fasa-Tanah	0,0644	0,379	0,704	1,04
1 Fasa-Tanah	0,0628	0,369	0,686	1,01

Tabel 20. Waktu Kerja Rele Saat Gangguan pada Gardu 2

Gangguan	Relay A3	Relay A2	Relay A1	Relay A
3 Fasa	0,103	0,41	0,716	1,04
2 Fasa	0,103	0,41	0,716	1,04
2 Fasa-Tanah	0,0712	0,419	0,777	1,14
1 Fasa-Tanah	0,0675	0,329	0,737	1,08



Gambar 11. Grafik Waktu Kerja Rele Saat Gangguan pada Gardu Service Manuver 1



Gambar 12. Grafik Waktu Kerja Rele Saat Gangguan pada Gardu 2 Manuver 1

Berdasarkan grafik waktu kerja rele pada Gambar 11 dan Gambar 12, waktu kerja rele terhadap semua jenis gangguan relatif sama. Kondisi ini terjadi karena besarnya

arus gangguan 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah, dan 1 fasa ke tanah relatif tidak berbeda jauh. Ketika terjadi gangguan, rele yang beroperasi pertama kali adalah rele yang paling dekat dengan gangguan. Hal ini bertujuan agar rele dapat memproteksi gangguan hanya pada daerah pengamanannya saja.

3.4.3 Grading Time Rele

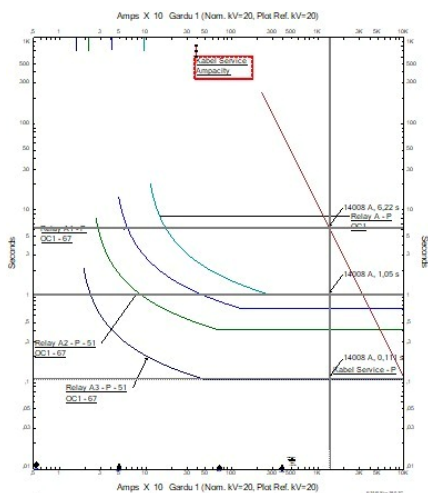
Standar IEC 60255 menerangkan bahwa *grading time* antar rele proteksi harus bernilai antara 0,3-0,5 detik.

Tabel 21. Grading Time Rele Saat Gangguan pada Gardu Service Manuver 1

Jenis Gangguan	Grading Time (s)		
	Relay A3- Relay A2	Relay A2- Relay A1	Relay A1- Relay A
3 Fasa	0,307	0,316	0,302
2 Fasa	0,307	0,316	0,302
2 Fasa- Tanah	0,3146	0,325	0,336
1 Fasa- Tanah	0,3062	0,317	0,324

Berdasarkan Tabel 21. nilai *grading time* antar rele sudah memenuhi standar IEC 60255 yaitu antara 0,3-0,5 detik.

3.4.4 Waktu Ketahanan Konduktor



Gambar 13. Kurva Waktu Ketahanan Konduktor Saluran 20 kV RSUP Dr. Kariadi

Berdasarkan Gambar 13 waktu ketahanan konduktor N2XSEBY yang digunakan pada saluran tegangan menengah RSUP Dr. Kariadi adalah 6,22 detik pada arus gangguan hubung singkat terbesar yaitu 14,008 kA. Waktu

kerja rele paling cepat adalah 0,111 detik dan waktu kerja rele paling lama adalah 1,04 detik. Berdasarkan data tersebut, dapat dinyatakan bahwa rele pengaman sudah bekerja dibawah batas waktu ketahanan konduktor dengan interval waktu 5,18 detik

4. Kesimpulan

Perencanaan sistem proteksi JTM 20 kV RSUP Dr. Kariadi dilakukan dengan sistem proteksi radial 2 arah menggunakan rele arus lebih berarah dan rele gangguan tanah berarah. Pada saat terjadi gangguan di Gardu Service pada manuver 1 rele arus lebih beroperasi berurutan dari lokasi gangguan menuju sumber yaitu Relay A3, Relay A2, Relay A1, Relay A dengan waktu trip masing-masing 0,109 detik, 0,416 detik, 0,732 detik, dan 1,03 detik dengan *grading time* 0,3-0,5 detik (sesuai IEC 60255) dengan arus pickup masing-masing 10,125 A, 22,35 A, 41 A, dan 95,875 A. Pada saat terjadi gangguan di Gardu Service pada manuver 1 rele gangguan tanah berurutan dari lokasi gangguan menuju sumber yaitu Relay A3, Relay A2, Relay A1, Relay A dengan waktu trip masing-masing 0,063 detik, 0,369 detik, 0,686 detik, dan 1,01 detik dengan *grading time* 0,3-0,5 detik (sesuai IEC 60255) dengan arus pickup masing-masing 1232,9 A, 1295,8 A, 1312,4 A, dan 1388,1 A.

Referensi

- [1] W. Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 1st ed. Depok: Garamond, 2012.
- [2] Ismail. Kasikci, *Short circuits in power systems : a practical guide to IEC 60 909*. Wiley-VCH, 2002.
- [3] J. M. Gers and E. J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks 3rd Edition*, 3rd ed. London: The Institution of Engineering and Technology, 2011.
- [4] E. Dermawan, H. Isyanto, and M. Mursid, "SUPPLY AC CONTROL MCWP (MAIN COOLING WATER PUMP)," *ELEKTUM*, vol. 12, no. 1, Apr. 2016, doi: <https://doi.org/10.24853/elektum.12.1.11-25>.
- [5] Y. F. Setiaji, H. Hermawan, and M. Facta, "ANALISIS DAN PENENTUAN KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH SISTEM TEGANGAN MENENGAH DAN TEGANGAN RENDAH DI AREA PEMBEBANAN SENDIRI PLTP DARAJAT," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 442–449, Sep. 2021, doi: 10.14710/transient.v10i3.442-449.
- [6] S. Suropto, *SISTEM TENAGA LISTRIK*. Yogyakarta: LP3M UMY, 2017.