

ANALISIS ARUS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM CATU DAYA LISTRIK IRADIATOR GAMMA

Tukiman, Khairul Handono, Ari Satmoko
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN

ABSTRAK

ANALISIS ARUS HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM CATU DAYA LISTRIK IRADIATOR GAMMA. Telah dilakukan analisis arus hubung singkat pada system catu daya listrik irradiator gamma. Arus hubung singkat adalah arus lebih yang dihasilkan oleh gangguan dengan mengabaikan impedansi antara titik-titik pada potensial yang berbeda, dalam kondisi layanan normal. Perhitungan arus hubung singkat dilakukan dalam perancangan panel hubung agar peralatan tersebut bisa menahan arus hubung singkat yang besar. Perhitungan ini menggunakan metode impedansi. Perhitungan meliputi Impedansi sumber, Impedansi saluran, Impedansi transformator. Transformator yang dipasang dengan daya 630 kVA, 20 kV/400 V, 3 fasa, 50 hz, delta star ditanahkan. Digunakan kabel NYY 4 x 400 mm² untuk menghubungkan transformator menuju ke panel hubung bagi tegangan rendah (PHBTR). Dari hasil perhitungan didapat hasil : Impedansi sumber : 0,635 Ω , Impedansi saluran : $1,421 \times 10^{-3} \Omega$, Impedansi transformator : $3,546 \times 10^{-3} \Omega$ dan besarnya arus hubung singkat I_{sc} : 45, 51 kA.

Kata kunci : analisis arus hubung singkat, power supply, irradiator gamma.

ABSTRACT

CALCULATION OF FLOW CIRCUIT CONNECTION ON HIGH VOLTAGE RELATIONS INSTALLATION OF GAMMA IRADIATOR. A short-circuit current has been performed on the low-voltage link panel of the gamma irradiator installation. The short circuit is the overcurrent generated by the interference by ignoring the impedance between the points at different potentials, under normal service conditions. The calculation of the short circuit current is carried out in the design of the connecting panel so that the apparatus can withstand large short circuit current. This calculation uses impedance method. Calculations include source impedance, channel impedance, impedance transformer. Transformers powered 630 kVA, 20 kV / 400 V, 3 phase, 50 hz, delta star earthed. Used NYY 4 x 400 mm² cable to connect the transformer to the low voltage (PHBTR) switch panel. From the calculation results obtained: Source impedance: 0.635 Ω , channel impedance: $1.421 \times 10^{-3} \Omega$, Impedance of transformer: $3,546 \times 10^{-3} \Omega$ and the amount of short circuit current I_{sc} : 45, 51 kA.

Key word : Short circuit analysis, power supply, irradiator gamma.

1.PENDAHULUAN

Irradiator adalah suatu instalasi nuklir yang digunakan dalam proses pengawetan suatu produk seperti hasil pertanian dan hasil olahannya, *sterilisasi* alat-alat kedokteran dan lain-lain^[1]. Ada beberapa jenis atau tipe irradiator yang dipakai untuk pengawetan produk berdasarkan sumber radiasi yang digunakan yaitu irradiator gamma, irradiator sinar-x (*bremstrahlung*) dan dengan pemercepat Electron. Pada instalasi irradiator gamma juga dikenal 4 kategori irradiator gamma, yaitu kategori I, II, III dan IV yang dikategorikan Berdasarkan batasan volume

iradiasi, tipe basah dan atau tipe kering. Penggunaan teknologi nuklir yaitu dengan menggunakan iradiasi sinar gamma sudah banyak digunakan untuk pengawetan hasil pertanian dan hasil olahannya dalam hal, membunuh bakteri pembusuk atau mikroba patogen, membunuh serangga serta dapat menghambat pematangan. Kemampuan sinar gamma berenergi tinggi Untuk menerobos masuk ke dalam materi memungkinkan dapat dimanfaatkan untuk tujuan pengawetan hasil pertanian, *pasteurisasi* dan *sterilisasi* melalui proses *ionisasi* atom-atom materi. Karena itu, radiasi sinar-gamma disebut juga radiasi pengion. Ion-ion bermuatan hasil proses ionisasi dapat merusak molekul-molekul sel memutuskan ikatan DNA, dan membunuh atau membuat ketidakmampuan bakteri patogen dan serangga untuk bereplikasi. Pada Irradiator gammadigunakan sumber radiasi Cobalt 60 (Co-60) karena mempunyai karakter Pancaran energy yang relative besar 1,17 Mev dan 1,33 Mev sehingga daya tembus pada Material yang diiradiasi juga lebih besar ^[2] .

Instalasi utama dan utilitas gedung iradiator terdapat sistem kelistrikan yang merupakan sistem yang sangat penting dalam berlangsungnya operasi iradiator gamma. Pada sistem kelistrikan perlu desain instalasi listrik yang bisa menahan arus hubung singkat yang besar. Arus hubung singkat adalah arus lebih yang dihasilkan oleh gangguan dengan mengabaikan impedansi antara titik-titik pada potensial yang berbeda dalam kondisi layanan normal^[3]. Hubung singkat dapat terjadi pada suatu sistem tenaga listrik. Analisis dan Perhitungan arus hubung singkat (*short circuit*) harus dilakukan untuk : Menentukan besarnya arus hubung singkat yang dapat timbul pada suatu jaringan sehingga dapat ditentukan rating ketahanan peralatan yang akan dipasang/terpasang pada sistim tersebut, mengidentifikasi potensi masalah pada suatu sistem sehingga membantu dalam perencanaan sebuah sistim. Menentukan sistem proteksi untuk pengaturan koordinasi proteksi pada sistim tenaga listrik tersebut ^[3] .

2. TEORI

Arus hubung singkat adalah arus lebih yang dihasilkan oleh gangguan dengan mengabaikan impedansi antara titik-titik pada potensial yang berbeda dalam kondisi layanan normal^[3,4]. Hubung singkat dapat terjadi pada suatu sistem tenaga listrik. Analisis dan Perhitungan arus hubung singkat (*short circuit*) harus dilakukan untuk :

Menentukan besarnya arus hubung singkat yang dapat timbul pada suatu jaringan sehingga dapat ditentukan rating ketahanan peralatan yang akan dipasang/terpasang pada sistim tersebut, mengidentifikasi potensi masalah pada suatu sistem sehingga membantu dalam perencanaan sebuah sistim. Menentukan sistem proteksi untuk pengaturan koordinasi proteksi pada sistim tenaga listrik tersebut ^[3] .

Pada awal perencanaan, perhitungan arus hubung singkat (*short circuit calculation*) dilakukan setelah disain awal sebuah sistim tersebut selesai dengan beberapa dokumen yang telah tersedia, sbb ^[1] :

- *Single Line Diagram* (Diagram Satu Garis) dari sistim tersebut
- Peralatan listrik utama yang akan dipasang (*Transformer, Generator* dll)
- Ukuran penghantar (ukuran kabel)

Setelah seluruh data dan dokumen telah lengkap, perhitungan arus hubung singkat dapat dilakukan, dengan menggunakan salah satunya dengan metoda impedansi. Pada perhitungan dengan metode ini, tahapan-tahapan utama untuk melakukan perhitungannya adalah sbb :

- Membuat model sistem dan mengumpulkan parameter peralatan yang terpasang

- Membuat gambar *single line diagram* yang memperlihatkan sistem secara keseluruhan
- Tentukan base daya dan base tegangan, biasanya menggunakan nilai tegangan pada transformator
- Hitung nilai *resistansi* (R) dan *reaktansi* (X) dari peralatan (kabel, trafo dll)
- Hitung nilai *impedansi* (Z) dari masing-masing komponen peralatan.
- Hitung arus hubung singkat (I_{sc})

Dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat persamaan yang dipakai adalah :

$$I_{3phase} = \frac{E_{phase}}{Z_{ekivalen}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana =

- I_{3phase} = Besar arus hubung singkat 3 phase dalam Ampere
- E_{phase} = Besar tegangan phase terhadap netral system dalam Volt
- $Z_{ekivalen}$ = Impedansi urutan positif dari seluruh rangkaian dalam Ohm

Untuk menghitung impedansi (Z) :

$$Z = \frac{E^2}{P} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana =

- Z = Besar impedansi dalam Ohm
- E = Tegangan dasar dalam Volt
- P = Daya sumber dalam MVA

Bila dalam rangkaian yang terpasang tersebut merupakan peralatan atau bahan dari fabrikasi misalnya transformator, kabel penghantar untuk incoming dan out going misal kabel NYY, maka untuk menghitung impedansi digunakan persamaan berikut :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ arc tg } \frac{X}{R} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana =

- Z = Impedansi dalam Ohm
- R = Resistansi dalam Ohm
- X = Reaktansi dalam Ohm

Reaktansi bisa berupa beban induktif atau beban kapasitif, maka beban inductor harus dijadikan satuan Ohm, begitu juga beban kapasitor. Untuk merubahnya digunakan persamaan berikut .

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (4)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana =

- X_L = Reaktansi Induktif dalam Ohm
- X_C = Reaktansi kapasitif dalam Ohm

Untuk menghitung resistansi dan reaktansi trafo menggunakan persamaan berikut :

$$R_{trafo} = \frac{W_c \times U^2}{S^2} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana =

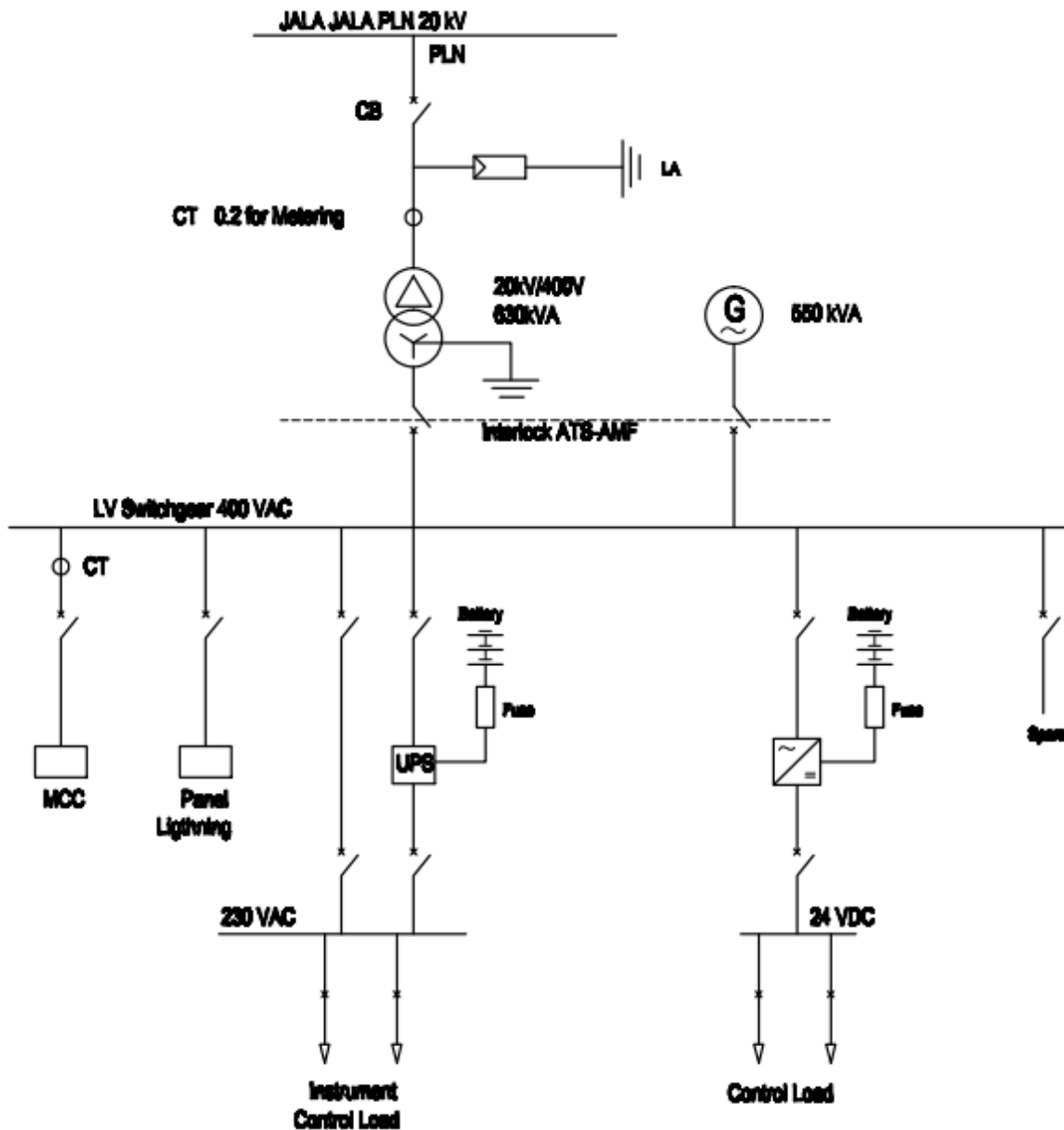
- U = Tegangan dalam volt
- S = Daya transformator dalam kVA

Wc = rugi tembaga dalam watt

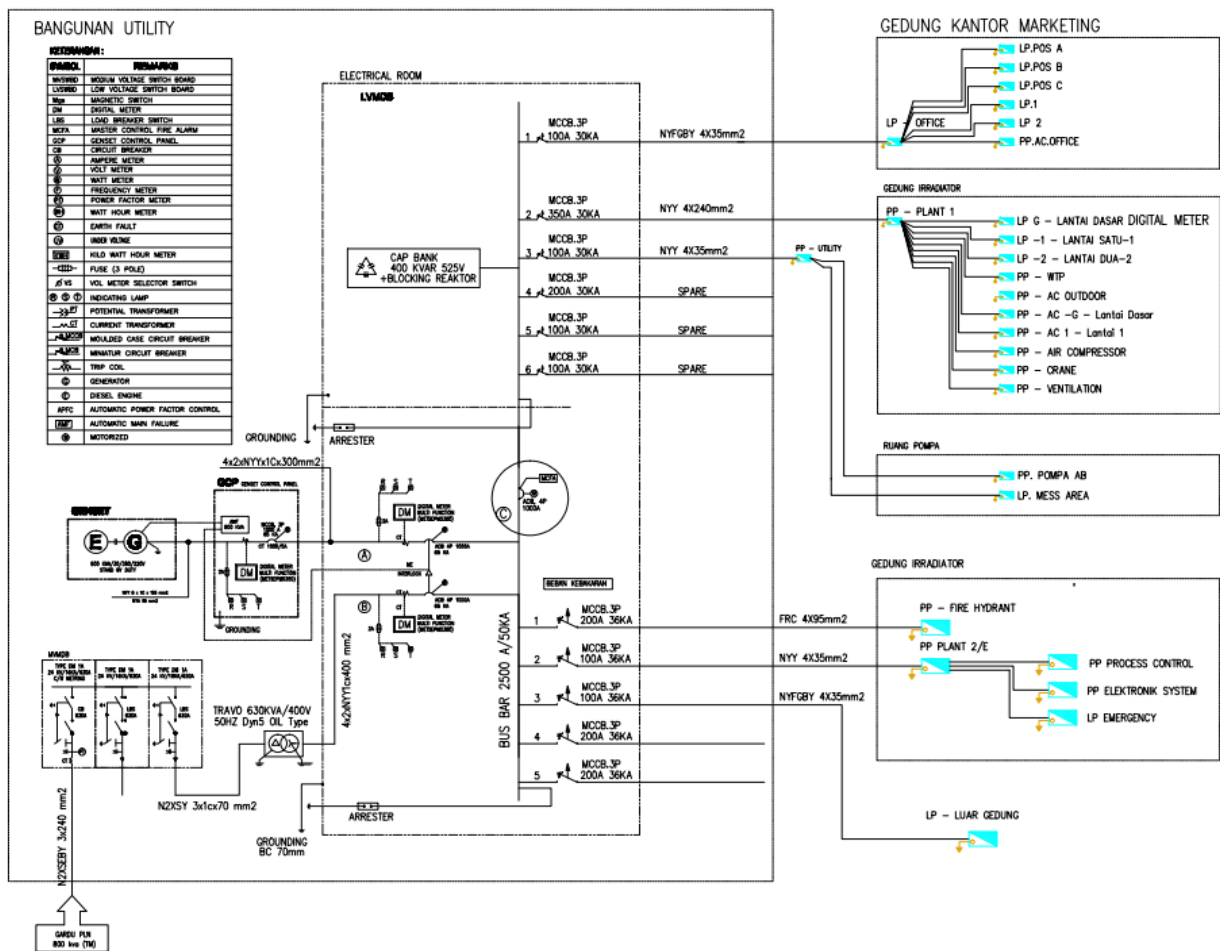
Macam-macam arus hubung singkat yang terjadi antara lain :

- Arus hubung singkat 3 fasa
- Arus hubung singkat antar fasa (fasa –fasa)
- Arus hubung singkat fasa – netral
- Arus hubung singkat fasa-ground

3. METODOLOGI



Gambar 1. Konsep single line diagram



Gambar 2. Single line diagram terbangun [5].

4.HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Sebelum menghitung arus hubung singkat, terlebih dahulu dipersiapkan data beban terpasang, kVA penyedia daya, reaktansi transformator dan generator, kVA dasar sebagai acuan perhitungan. Untuk menghitung besarnya arus hubung singkat, diperlukan data – data

1. Tahanan saluran dalam hal ini adalah kabel penghantar yang meliputi panjang, diameter, nilai *Resistansi (R)* dan nilai *reakstansi (X)*.
2. Data Transformator yang meliputi tegangan primer, tegangan sekunder, daya transformator, rugi tembaga dan *impedansi (Z)* dari transformator.
3. Menentukan kVA dasar dan V dasar

Untuk menghitung arus hubung singkat dan rasio hubung singkat diperlukan data impedansi. Impedansi sistem terdiri dari impedansi saluran dan impedansi transformator, jika impedansi peralatan diberikan dalam satuan ohm, maka semua impedansi dalam sistem harus dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah. Dalam perhitungan ini semua impedansi dinyatakan terhadap sisi tegangan rendah 400 volt.

Berikut adalah data beban terpasang pada instalasi irradiator gamma .

Daya lampu terpasang adalah : 20584 VA

Beban campuran : 32000 VA

Daya motor 3 fasa /1 fasa (*induction motor* terdiri dari : motor blower, Crane, kompresor, dll) : 124540 VA

AC split : 30240 VA
 Trafo step down terpasang : 630 kVA , 20kV/400 VAC, 50 Hz, delta star ditanahkan .
 Reaktansi trafo : 4 % = 0,04 pu
 kVA dasar : 630 kVA
 V dasar : 20 kV tegangan tinggi
 V dasar : 400 V tegangan rendah

Tabel 1. Tabel Resistansi dan Reaktansi dari kabel jenis NYY^[5].

Nom Cross sect. (mm ²)	Conductor		Inductance (mH/km)	Current –Carrying Capacity at.30°C		Short circuit current at 1 sec.
	DC Resistance at 20° C Max (Ω/km)	AC Resistance at 70° C Max (Ω/km)		In air Max (A)	In ground Max (A)	
						Max (kA)
1,5	12,1	14,478	0,328	22	27	0,12
2,5	7,41	8,866	0,304	29	35	0,29
4	4,61	5,516	0,303	39	46	0,46
6	3,08	3,685	0,288	50	57	0,69
10	1,83	2,190	0,269	69	77	1,15
16	1,15	1,376	0,256	90	99	1,64
25	0,727	0,870	0,255	121	128	2,88
35	0,524	0,627	0,246	149	154	4,09
50	0,387	0,464	0,247	173	173	5,75
70	0,268	0,321	0,238	215	212	8,05
95	0,193	0,232	0,238	266	255	10,93
120	0,153	0,184	0,233	308	289	13,80
150	0,124	0,150	0,233	357	327	17,25
185	0,0991	0,121	0,233	405	366	21,28
240	0,0754	0,093	0,232	482	425	27,60
300	0,0601	0,075	0,231	552	479	34,50
400	0,0470	0,060	0,229	643	545	41,20

Impedansi Sumber

$$XS \text{ primer} = \frac{kV^2}{kVA} = \frac{20^2}{630} = 0,635 \Omega$$

$$XS \text{ sekunder } 400 V = \frac{kV^2}{kVA} = \frac{0,4^2}{630} = 2,539 \times 10^{-4} \Omega$$

Impedansi Saluran

Untuk perhitungan impedansi saluran diperlukan data besarnya diameter kabel, jenis kabel, resistansi kabel dan reaktansi kabel. Dari Resistansi dan reaktansi tersebut dihitung besarnya impedansi. Dengan melihat tabel 1, untuk kabel NYY diameter 400 mm² mempunyai nilai resistansi R = 60 mΩ/km, Induktansi L = 0,229 mH/km.

$$R = 60 \times 10^{-3} = 0,06 \Omega/km$$

$$XL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,229 = 71,906 \text{ m}\Omega \text{ atau } 71,906 \times 10^{-3} = 0,071 \Omega/km$$

Panjang kabel NYY 4 x 400 mm² antara ruang transformator dengan ruangan PHBTR adalah 15 m. maka nilai R = 0,9 x 10⁻³ Ω dan nilai XL = 1,1 x 10⁻³ Ω

$$Z = \sqrt{0,9^2 + 1,1^2} = 1,421 \times 10^{-3} \Omega$$

Impedansi Transformator

Data transformator 630 kVA , 20kV/400 VAC, 50 Hz, delta star ditanahkan, Reaktansi trafo = 4 % , rugi tembaga = 8800 watt, kVA dasar = 630 kVA, V dasar = 20 kV tegangan tinggi, V dasar : 400 V tegangan rendah^[6] ,

$$R \text{ trafo} = \frac{8800 \times 400^2}{630^2} 10^{-3} = 3,547 \times 10^{-3} \Omega$$

Sebagai dasar perhitungan X trafo = 4 % atau 0,04 pu, nilai dasar impedansi =

$$X \text{ trafo} = \frac{V^2}{VA} = \frac{400^2}{630.000} = 0,253 \Omega$$

Maka nilai reaktansi transformator Xt = 0,04 x 0,253 = 0,0101 Ω, sehingga impedansinya =

$$Z = \sqrt{3,547^2 + 0,0101^2} = 3,546 \times 10^{-3} \Omega$$

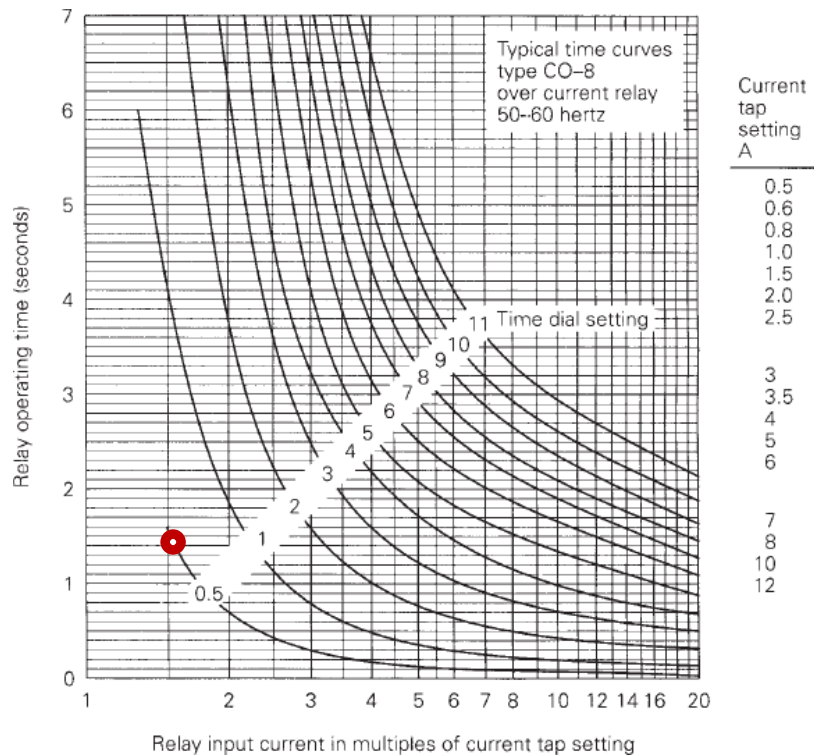
Dari perhitungan tersebut, maka :

Impedansi saluran + impedansi trafo = (1,421 + 3,546) mΩ = 4,967 x 10⁻³ Ω

Maka besarnya Arus Hubung Singkat =

$$I_{sc} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 4,967 \times 10^{-3}} = 45,51 \text{ kA}$$

besarnya arus hubung singkat diperlukan dalam perancangan busbar pada panel hubung bagi, sehingga dapat di buat peralatan hubung bagi dan peralatan pendukung lainnya yang bisa tahan terhadap arus hubung singkat secara mekanis. Dapat dibuat busbar dan panel hubung yang tahan terhadap arus hubung singkat awal selama 1,5 cycle. Untuk membuat kinerja system agar lebih aman, juga dipasang system proteksi yang baik yang mampu memutus arus pada 3,5 sampai 8 cycle setelah gangguan terjadi ^[7] . Hal tersebut berhubungan erat dengan besarnya *circuit breaker (CB)* yang akan dipasang. Dalam desain peralatan dibuat panel hubung bagi dan busbar dengan kekuatan sanggup menahan arus hubung singkat sebesar 50 kA. Dari perhitungan tersebut, maka dipasang peralatan panel dan *Circuit Breaker* yang mampu menahan tekanan mekanis dan panas akibat arus hubung singkat yang besar, selama 1,5 cycle dan memutus aliran secara cepat. Berikut ini adalah grafik karakteristik dari sebuah relay untuk system proteksi.



Gambar 3. Karakteristik relay arus lebih untuk waktu berbalik^[8].

Akibat dari arus hubung singkat, adalah adanya busur api listrik yang dapat menyebabkan : Kerusakan isolasi, melelehnya penghantar, perubahan bentuk busbar, terputusnya kabel, busur api yang dapat menyebabkan kebakaran dan rusaknya peralatan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil rancangan dan perhitungan yang telah diuraikan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perhitungan ini menggunakan metode impedansi yang meliputi perhitungan Impedansi sumber, Impedansi saluran, Impedansi transformator.
2. Transformator yang dipasang dengan daya 630 kVA, 20 kV/400 V, 3 fasa, 50 hz, delta star ditanahkan.
3. Digunakan kabel NYY 4 x 400 mm² untuk menghubungkan transformator menuju ke panel hubung bagi tegangan rendah (PHBTR).
4. Hasil perhitungan didapat hasil : Impedansi sumber : 0,635 Ω , Impedansi saluran : $1,421 \times 10^{-3} \Omega$, Impedansi transformator : $3,546 \times 10^{-3} \Omega$.
5. Besarnya arus hubung singkat I_{sc} : 45, 51 kA.
6. Dalam desain peralatan dibuat panel hubung bagi dan busbar dengan kekuatan mampu menahan tekanan mekanis dan panas akibat arus hubung singkat yang besar, arus hubung singkat sebesar 50 kA, yang dilengkapi dengan system proteksi dan relay arus lebih.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. MAHA, M., Prospek Penggunaan Tenaga Kerja Nuklir dalam Bidang Teknologi Pangan, Buletin, Batan, P. 19-28, Jakarta, 1985.
2. S. Budihardjo', Dian F. Atmoko', dkk. "Disain Konsep Rancang Bangun Iradiator Gamma untuk Pengawetan hasil pertanian" Proseding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN-BATAN, 30 November 2010.
3. <https://direktori listrik.blogspot.co.id/2013/03/panduan-menghitung-arus-hubung> . Html Direktori listrik , 2013, di unduh tgl 21 Agustus 2017.
4. Zuhal, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya" Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 2000.
5. IEC 60502-1, Standard specification NYY 4 x (1,5-400) mm² 600/1000 volt . tahun 2009.
6. Anonym "Technical Spesifications Transformator 630 kVA" Unindo Jakarta – Indonesia 2016. di unduh tgl 21 Agustus 2017.
7. Edison Sitorus "Studi Pengaruh arus hubung singkat terhadap pengaman transformator" studi kasus pada PT PLN Persero. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan 2010.
8. M.Taqiyuddin alawiy" Proteksi Sistem Tenaga Listrik seri Relay Elektromagnetis" Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang 2006.