

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

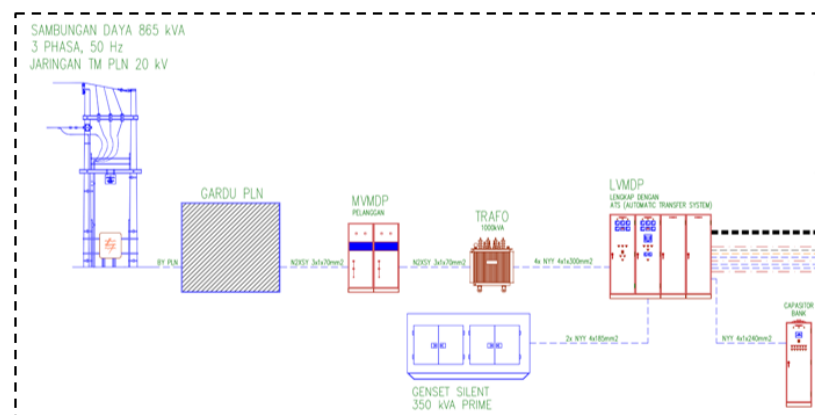
Berdasarkan judul tugas akhir yang penulis ambil, subbab ini merupakan referensi-referensi yang penulis gunakan sebagai bahan acuan yang diambil dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan, yaitu sebagai berikut:

1. Ezar Kuntoro Khairy, Fakultas Teknik UMY, 2016. Skripsi: *Perancangan Instalasi Listrik Gedung Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya*. Menjelaskan tentang proses perhitungan total daya, kapasitas trafo, kapasitans kapasitor bank, kapasitas trafo dan *Generator-Set*.
2. Rafi'ah Ma'rifatul Muslimah Al-Kamil, Fakultas Teknik UMY, 2016. Skripsi: *Perancangan Sistem Instalasi Listrik Royal Sanur Hospital Bali*. Menjelaskan tentang perancangan sebuah sistem instalasi listrik rumah sakit dengan menghitung beban listrik rumah sakit secara rinci dan akurat sehingga dapat menentukan kapasitas daya tersambung dari PLN, kapasitas *Generator-Set* dan kapasitas trafo.
3. Muhamad Cholil Nurrochman, Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Perancangan Instalasi Listrik Gedung Central Rumah Sakit Cahaya Panorama Husada Boyolali*. Menjelaskan tentang perencanaan instalasi listrik rumah sakit untuk mengetahui kapasitas total daya aktif dan daya semu, *breaking capacity*, jatuh daya kabel (*drop line power*), *Generator-Set*, trafo dan penyalur petir.
4. Muhammad Ilyasa', Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Perancangan Sistem dan Instalasi Listrik Rumah Sakit Queen Latifa Yogyakarta*. Menjelaskan tentang perancangan instalasi listrik gedung rumah sakit untuk mengetahui total beban listrik yang terpasang, kapasitas trafo dan *Generator-Set*, daya listrik PLN yang dipasang, besaran jatuh tegangan (*Drop Voltage*), arus hubung singkat (*breaking capacity*) dan penangkal petir yang digunakan.

5. Slamet Supriyo Nugroho, Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Analisis Harmonik Arus dan Tegangan Pada Gedung AR Fakhruddin B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Menjelaskan tentang audit energi Gedung AR Fakhruddin B UMY dengan memperhatikan pengaruh harmonisa dan melakukan perancangan pemasangan filter harmonisa.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Distribusi Listrik Pada Gedung

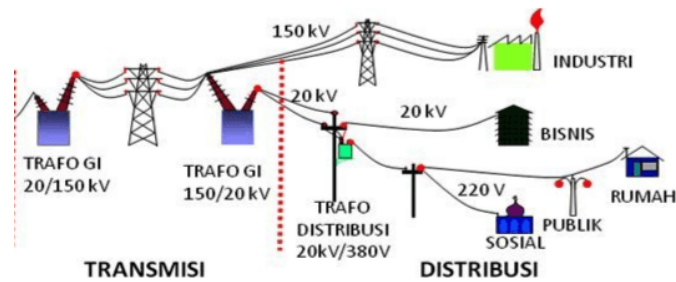


**Gambar 1.** Sistem Distribusi Pada Gedung

(Sumber: PPT MEP Instalasi Listrik Gedung Bertingkat)

#### a. Jaringan Tegangan Menengah PLN 20 KV

Saluran Udara Tegangan menengah (SUTM) adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan tenaga listrik dari jaringan transmisi (Trafo GI 150KV/20KV) ke jaringan distribusi (Trafo Distribusi 20KV/380KV). Dari jaringan distribusi tenaga listrik dapat langsung disalurkan ke beban yang membutuhkan tegangan 20KV dengan tanpa melalui trafo distribusi, biasanya digunakan untuk di bidang bisnis. Selain itu, jaringan distribusi dengan melalui trafo distribusi dapat disalurkan ke beban yang membutuhkan tegangan 380KV, biasanya digunakan untuk skala bidang sosial, publik dan rumah.



**Gambar 2.** Jaringan Transmisi-Distribusi

(Sumber: <https://www.warriormux.com/>)

b. Gardu Listrik Tegangan Menengah PLN 20 KV

Gardu Listrik Tegangan Menengah PLN 20 KV adalah alat kelistrikan yang digunakan untuk menerima tenaga listrik dari jaringan transmisi sebagai sambungan listrik PLN. Gardu Listrik ini memiliki panel yang berfungsi sebagai terminal PLN 20 KV yang dihubungkan ke terminal 20KV pada panel gedung.



**Gambar 3.** Gardu Jaringan Tegangan Menengah

(Sumber: *Pedoman Pemetaan Geospasial Jaringan Listrik 20 KV*)

c. MVMDP (*Medium Voltage Main Distribution Panel*)

MVMDP (*Medium Voltage Main Distribution Panel*) adalah alat distribusi listrik berupa panel *bus incoming* dan *bus outgoing*. MVDP ini berfungsi untuk membagi jaringan incoming yang memiliki tegangan sebesar 20 KV menjadi beberapa jaringan *outgoing* dengan tegangan yang sama. Selain itu MVDP juga memiliki fungsi langsung sebagai alat penghubung dan pemutus antara tegangan menengah (TM atau arus yang masuk ke trafo (gardu yang lain).



**Gambar 4.** Medium Voltage Main Distribution Panel

(Sumber: <http://sainstek.com/>)

d. *Transformator Step Down*

*Transformator Step Down* adalah transformator yang memiliki perbandingan tegangan input yang lebih besar dari pada tegangan output yang disebabkan karena jumlah lilitan sekunder lebih kecil/sedikit dibandingkan dengan sisi primer. Berikut ini adalah perbandingan antara tegangan dan jumlah lilitan pada transformator:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

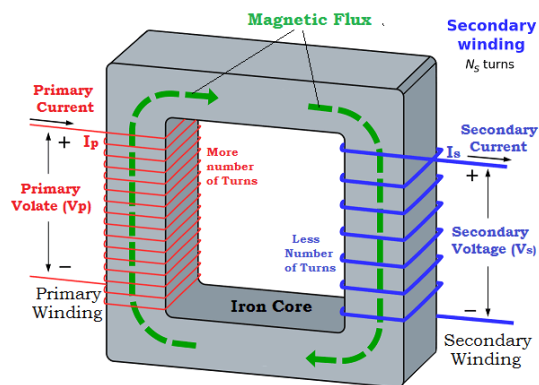
Keterangan :

$N_p$  = Jumlah Lilitan Primer

$N_s$  = Jumlah Lilitan Sekunder

$V_p$  = Jumlah Lilitan Primer

$V_s$  = Jumlah Lilitan Sekunder



**Gambar 5.** *Transformator Step Down*

(Sumber: <https://electricalfundablog.com/step-down-transformer/>)

Adapun kapasitas trafo yang harus diperhatikan supaya dapat menyuplai beban yang terpasang pada suatu instalasi. Ketika suatu instalasi harus dipasok langsung dari transformator MV/LV dan pemuatan daya semu maksimum dari instalasi yang telah ditentukan, maka peringkat yang sesuai untuk transformator dapat ditentukan (Mischler, 2016). Penentuan kapasitas dari sebuah transformator harus berdasarkan beban yang dilayani dimana persentase pembebanan transformator harus mendekati 80% kapasitas transformator (Warman, 2004). Berikut rumus yang digunakan untuk menentukan kapasitas transformator dengan pembebanan 80%:

$$\text{Kapasitas Transformator} = \frac{\text{Daya Total Beban (kVA)}}{80\%}$$

e. LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*)

LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) adalah alat kelistrikan berupa panel distribusi induk tegangan rendah yang menerima tegangan *output transformer step down* dengan tegangan 220KV/380KV yang dibagi menjadi beberapa saluran yang kemudian didistribusikan ke seluruh beban instalasi listrik pada gedung. LVMDP juga memiliki fungsi sebagai penghubung dan pemutus tegangan rendah melalui circuit breaker dan pemantau tegangan dan arus.



**Gambar 6.** *Low Voltage Main Distribution Panel*

(Sumber: <http://www.tempongsondigdaya.com/product/panel-lvmdp-p67629.aspx>)

f. Generator-Set

Generator Set (GenSet) adalah alat kelistrikan yang mengubah energi primer menjadi energi listrik. Generator Set berfungsi sebagai penyuplai

tenaga listrik cadangan pada gedung jika penyuplai utama (PLN) terjadi mati listrik.

Generator Set akan menyuplai tenaga listrik secara otomatis karena generator set dilengkapi dengan AMF (*Automatic Main Failur*) yang berfungsi sebagai menyalakan genset dengan selang beberapa detik jika terjadi pemadaman listrik PLN dan ATS (*Automatics Transfer Switch*) yang berfungsi sebagai saklar otomatis penghubung dan pemutus antar genset dan jaringan distribusi listrik.



**Gambar 7.** Generator Set

(Sumbser: <http://dunia-listrik.blogspot.com>)

Menentukan daya nyata generator tergantung pada kebutuhan daya pemasangan beban yang akan diberikan. Untuk menentukan kapasitas generator set sejalan dengan kriteria yang sama seperti menentukan kapasitas transformator (Mischler, 2016). Pembebanan transformator harus mendekati 80% kapasitas transformator, sehingga rumus yang digunakan yaitu sama dengan menentukan kapasitas transformator yaitu:

$$\text{Kapasitas Generator Set} = \frac{\text{Daya Total Beban}(kVA)}{80\%}$$

g. *Uninterruptible Power Supply* (UPS) / Catau Daya Pengganti Khusus (CDPK)

UPS adalah alat kelistrikan yang berfungsi sebagai suplai daya darurat yang bersifat sementara jika terjadi sumber listrik utama terjadi kegagalan atau pemadaman. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi dalam pemasangan UPS yaitu: (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2011)

1. UPS harus terjamin kerjanya sekurang-kurangnya selama 3 jam.
2. UPS harus secara otomatis mengambil alih beban bila voltase jaringan umum turun lebih dari 10% dan voltase pada PHBK hilang, paling sedikit pada satu konduktor fase.
3. Proteksi terhadap sentuh tak langsung harus tetap dilaksanakan, bila menggunakan CDPK.
4. Bekerjanya CDPK dalam setiap ruang/kelompok ruang harus disertai isyarat yang mudah terlibat.
5. Pembangkit tenaga listrik harus dipasang diluar ruang pelayanan kesehatan, kecuali pembangkit tenaga listrik pengganti rendah.
6. Bila UPS harus melayani lebih dari satu sirkit, selektivitas proteksi arus lebih harus terjamin bila terjadi hubung pendek.
7. Bila menggunakan UPS, perubahan voltase yang lebih besar dari  $\pm 10\%$  voltase nominal pada titik sambung dengan perlengkapan pakai hanya diizinkan bila berlangsung tidak lebih dari waktu alih beban.
8. UPS dapat menyuplai pembebanan sekurang-kurangnya 50% daya nominal selama 15 menit untuk catu daya statis dan konverter dan 60 menit untuk catu daya dinamis.



**Gambar 8.** *Uninterruptible Power Supply (UPS)*

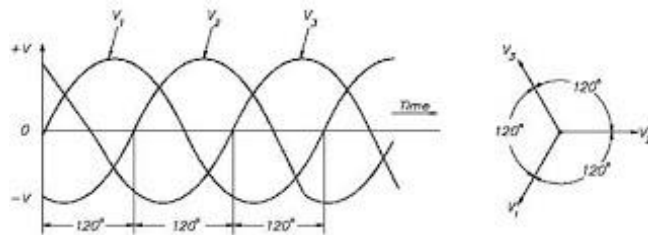
(Sumber: <https://www.nesabamedia.com/>)

### **2.2.2 Instalasi Listrik**

#### **a. Listrik 3 Fasa**

Instalasi listrik gedung bertingkat termasuk instalasi listrik yang memiliki beban yang sangat besar sehingga dalam instalasi listrik gedung membutuhkan suplai daya yang sangat besar. Untuk menjaga kestabilan

dalam distribusi listrik maka di butuhnya suplai daya listrik tegangan menengah 3 fasa dari PLN. Listrik 3 fasa itu sendiri merupakan rangkaian listrik yang memiliki keluaran simetris yang memiliki perbedaan sudut dari masing masing fasa sebesar  $120^0$ . Berikut ini merupakan gambar gelombang listrik 3 fasa:



**Gambar 9.** Gelombang 3 Fasa

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

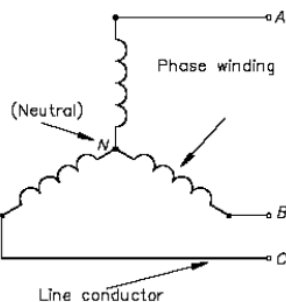
Dari gambar diatas terlihat bahwa setiap fasa memiliki perbedaan sudut dan didapat hubungan tegangan untuk masing-masing fasa yaitu sebagai berikut:

$$V_1 = V_m \text{ sudut } 0^0$$

$$V_2 = V_m \text{ sudut } -120^0$$

$$V_3 = V_m \text{ sudut } -240^0$$

Listrik 3 fasa dibagi menjadi 2 jenis rangkaian yaitu rangkaian hubung bintang (*Star*) dan rangkaian hubung segitiga (*Delta*). Pada rangkain listrik 3 fasa hubungan bintang (*Star*, wye, Y), merupakan rangkaian dengan salah satu ujung setiap fasa dihubungkan menjadi satu menjadi titik netral atau titik bintang. Berikut ini merupakan rangkaian listrik 3 fasa hubung bintang:



**Gambar 10.** Rangkaian Hubung Bintang (*Star*)

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/sistem-3-fasa.html>)



Dapat dilihat pada gambar di atas, rangkaian bintang dapat dikatakan bahwa hanya memiliki satu titik netral yang digunakan untuk 3 fasa sekaligus. Hal ini menyebabkan rangkaian bintang membentuk sistem tegangan 3 fasa yang seimbang dengan magnitudenya sehingga menghasilkan:

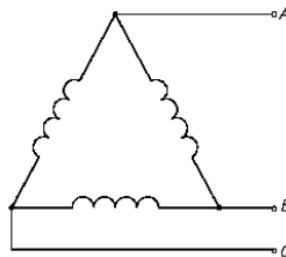
$$V_{\text{line}} = \sqrt{3} V_{\text{fase}}$$

Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase mempunyai nilai yang sama, yaitu:

$$I_{\text{line}} = I_{\text{fase}}$$

$$I_a = I_b = I_c$$

Pada rangkaian listrik 3 fasa hubungan segitiga (*Delta*,  $D$ ,  $\Delta$ ), merupakan rangkaian yang menggabungkan setiap ujung fasa yang satu dengan ujung fasa yang lainnya sehingga membentuk hubungan segitiga. Berikut ini merupakan rangkain listrik 3 fasa hubung delta:



**Gambar 11.** Rangkaian Hubung Segitiga (Delta)

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

Dapat dilihat pada gambar diatas, rangkaian hubung delta tidak memiliki titik netral. Hal tersebut menyebabkan tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama karena tegangan saluran dihitung antar fasa, maka:

$$V_{\text{line}} = V_{\text{fase}}$$

Sedangkan untuk arus saluran dan arus fasa yang mengalir pada rangkaian hubung delta di peroleh menggunakan Hukum Kirchoff 1 hal ini di sebabkan karena arus saluran dan arus fasa tidak sama. Sehingga diperoleh rumus:

$$I_{\text{line}} = \sqrt{3} I_{\text{fase}}$$

b. Jenis Beban

1) Beban Resistif (R)

Beban Resistif (R) adalah beban yang terdiri dari tahanan ohm saja (*Resistanse*) / resistansi murni. Contoh dari jenis beban resistif yaitu lampu dan pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Sifat dari beban resistif yaitu tegangan dan arus berada pada satu fase / fase yang sama.

Secara matematis dapat dinyatakan:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dimana:

R = Hambatan / Resistansi (Ohm)

V = Tegangan (volt)

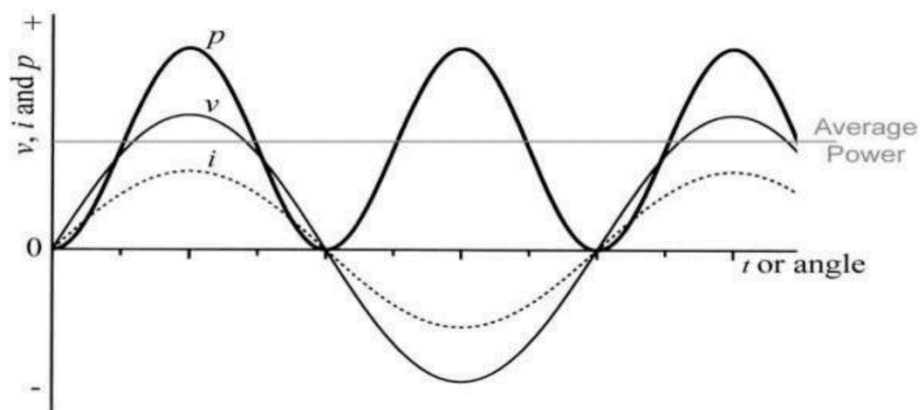
I = Kuat Arus ( ampere)

Persamaan dayanya sebagai berikut:

$$P = I \times V$$

Dimana:

P = Daya Aktif yang diserap beban (Watt)



**Gambar 12.** Gelombang Hubungan Tegangan, Arus dan Daya Pada Beban Resistif

(Sumber: [www.eprints.polsri.ac.id](http://www.eprints.polsri.ac.id))

2) Beban Induktif (L)

Beban Induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti besi. Contoh beban induktif yaitu coil,

motor-motor listrik, transformator, dan selenoida. Beban jenis ini menyebabkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini di sebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan arus bergeser dan menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menggunakan daya aktif dan daya reaktif.

Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \text{Cos}\Phi$$

Dimana :

P = Daya Aktif yang diserap oleh beban (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos  $\phi$  = Sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif ( $X_L$ ), secara matematis dinyatakan:

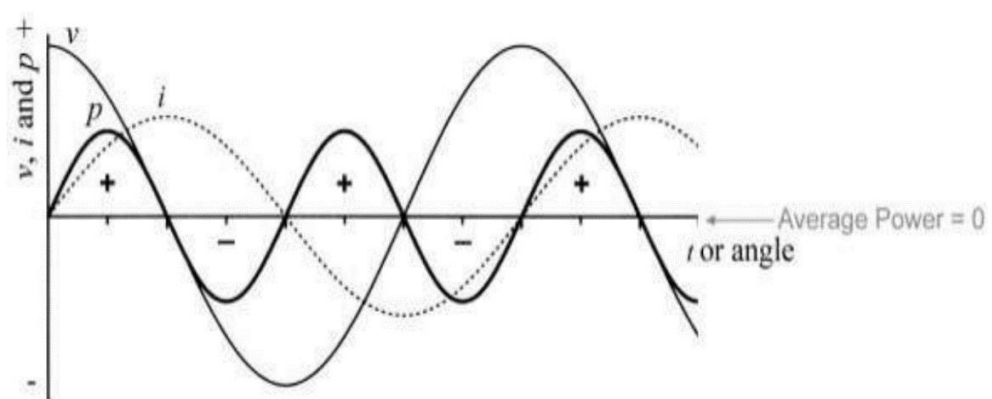
$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Dimana:

$X_L$  = Reaktansi Induktif (Ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)



**Gambar 13.** Gelombang Hubungan Tegangan, Arus, dan Daya Pada Beban Induktif

(Sumber: [www.eprints.polsri.ac.id](http://www.eprints.polsri.ac.id))

### 3) Beban Kapasitif (C)

Beban Kapasitif (C) adalah beban yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian dielektrik pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus mendahului tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.

Persamaan daya aktif untuk beban kapasitif adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Dimana :

P = Daya Aktif yang diserap oleh beban (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos  $\phi$  = Sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), secara matematis dinyatakan:

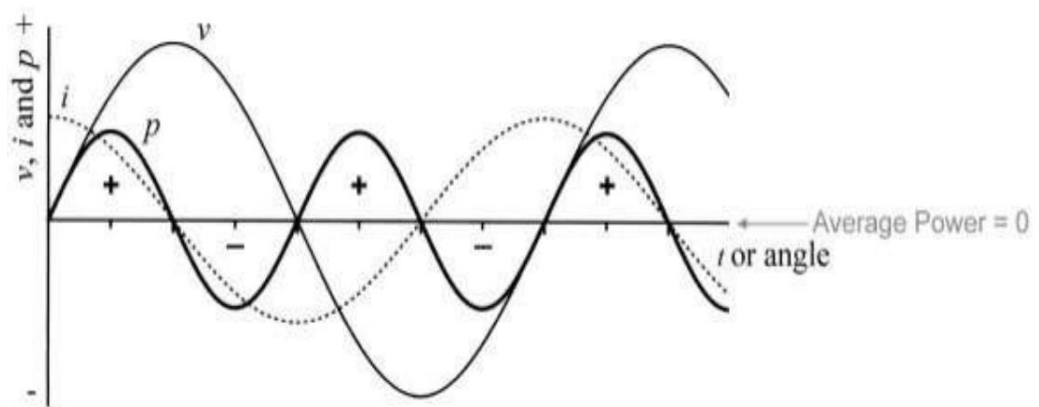
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Dimana:

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

f = Frekuensi (F)

C = Kapasitas Kapasitor (farad)



**Gambar 14.** Gelombang Hubungan Tegangan, Arus, dan Daya Pada Beban Induktif

(Sumber: [www.eprints.polsri.ac.id](http://www.eprints.polsri.ac.id))

### c. Pencahayaan

Pencahayaan buatan adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya buatan manusia (selain dari cahaya alami). Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami atau saat kebutuhan pencahayaan alami tidak mencukupi untuk menerangi sebuah ruangan (Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan, 2011).

Illuminasi (Tingkat Pencahayaan) adalah jumlah fluks cahaya yang menerangi suatu bidang dengan satuan lux. Fluks itu sendiri merupakan jumlah cahaya yang dipancarkan dari suatu sumber cahaya dengan satuan lumen. Illuminasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{F}{A}$$

Dimana :

E = Illuminasi / Intensitas Penerangan / Kekuatan Penerangan / Tingkat Pencahayaan (lux)

F = fluks cahaya (lumen)

A = luas permukaan bidang (m<sup>2</sup>)

Pencahayaan dapat dipengaruhi oleh jarak sumber cahaya. Semakin jauh jarak dengan sumber cahaya, maka tingkat pencahayaan akan semakin rendah. Hal tersebut di buktikan melalui rumus berikut ini:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

Dimana:

E = Illuminasi (lux)

I = Intensitas penerangan (cd)

r = jarak dari sumber cahaya ke bidang (m)

Untuk memenuhi iluminasi pada suatu ruangan maka juga dapat dilakukan perhitungannya jumlah titik lampu yang di butuhkan. Tujuan dengan adanya pembagian menjadi beberapa jumlah titik lampu yaitu terciptanya iluminasi ruangan yang rata. Jumlah titik lampu dapat dihitung dengan rumus:

$$N = \frac{E \times L \times W}{\phi \times LLF \times CU \times n}$$

Dimana:

N = jumlah titik lampu

E = Kuat Penerangan / target kuat peneranganyang akan dicapai (Lux)

L = Panjang Ruangan (meter)

W = Lebar Ruangan (meter)

$\phi$  = Total Lumen Lampu ( Lamp Luminous Flux)

LLF = Light Loss Factor / Faktor Cahaya Rugi (0,7-0,8)

CU = Coeffesien of Utilization / Faktor Pemanfaatan (50% - 100%)

n = Jumlah Lampu dalam 1 titik Lampu

Selain iluminasi, indeks renderasi warna juga penting dalam pencahayaan buatan. Indek renderasi warna merupakan nilai dari kemampuan sumber cahaya untuk dapat mendefinisaikan warna sebenarnya dari suatu objek atau benda. Nilai indek ini berkisaran dari 0-100. Semakin tinggi nilai suati indeks renderasi warna maka akan semakin baik kemampuan sumber cahaya tersebut untuk menunjukan warna sebenarnya dari suatu objek (Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayan, 2011).

Berikut ini merupakan tabel SNI 6197:2011 untuk tingkat pencahayaan yang direkomendasikan.

**Tabel 1. Tingkat Pencahayaan Rata-rata, Renderansi dan Temperatur Warna Yang Direkomendasikan**

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)	Kelompok renderansi warna	Temperatur warna		
			Warm <3300 Kelvin	Warm white 3300Kelvin ~5300Kelvin	Cool Daylight > 5300Kelvin
<b>Rumah tinggal :</b>					
Teras	60	1 atau 2	♦	♦	
Ruang tamu	150	1 atau 2		♦	
Ruang makan	250	1 atau 2	♦		
Ruang kerja	300	1		♦	♦
Kamar tidur	250	1 atau 2	♦	♦	
Kamar mandi	250	1 atau 2		♦	♦
Dapur	250	1 atau 2	♦	♦	
Garasi	60	3 atau 4		♦	♦
<b>Perkantoran :</b>					
Ruang resepsionis.	300	1 atau 2	♦	♦	
Ruang direktur	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang kerja	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang komputer	350	1 atau 2		♦	♦
Ruang rapat	300	1	♦	♦	
Ruang gambar	750	1 atau 2		♦	♦
Gudang arsip	150	1 atau 2		♦	♦
Ruang arsip aktif	300	1 atau 2		♦	♦
Ruang tangga darurat	150	1 atau 2			♦
Ruang parkir	100	3 atau 4			♦
<b>Lembaga pendidikan :</b>					
Ruang kelas	350	1 atau 2		♦	♦
Perpustakaan	300	1 atau 2		♦	♦
Laboratorium	500	1		♦	♦
Ruang praktek komputer.	500	1 atau 2		♦	♦
Ruang laboratorium bahasa.	300	1 atau 2		♦	♦
Ruang guru	300	1 atau 2		♦	♦
Ruang olahraga	300	2 atau 3		♦	♦
Ruang gambar	750	1		♦	♦
Kantin	200	1	♦	♦	
<b>Hotel dan restoran :</b>					
Ruang resepsionis dan kasir	300	1 atau 2	♦	♦	
Lobi	350	1	♦	♦	
Ruang serba guna	200	1	♦	♦	
Ruang rapat	300	1	♦	♦	
Ruang makan	250	1	♦	♦	
Kafeteria	200	1	♦	♦	
Kamar tidur	150	1 atau 2	♦		
Koridor	100	1	♦	♦	
Dapur	300	1	♦	♦	
<b>Rumah sakit/balai pengobatan</b>					
Ruang tunggu	200	1 atau 2	♦	♦	
Ruang rawat inap	250	1 atau 2		♦	♦
Ruang operasi, ruang bersalin	300	1		♦	♦
Laboratorium	500	1 atau 2		♦	♦
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	1	♦	♦	
Ruang koridor siang hari	200	1 atau 2		♦	♦
Ruang koridor malam hari	50	1 atau 2		♦	♦
Ruang kantor staff	350	1 atau 2		♦	♦
Kamar mandi & toilet pasien	200	2		♦	♦
<b>Pertokoan/ruang pamer :</b>					
Ruang pamer dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	1	♦	♦	♦
Area penjualan kecil	300	1 atau 2		♦	♦
Area penjualan besar	500	1 atau 2		♦	♦
Area kasir	500	1 atau 2		♦	♦
Toko kue dan makanan.	250	1	♦	♦	
Toko bunga	250	1		♦	♦
Toko buku dan alat tulis/ gambar	300	1	♦	♦	♦
Toko perhiasan, arloji	500	1	♦	♦	♦
Toko barang kulit dan sepatu	500	1	♦	♦	
Toko pakaian	500	1	♦	♦	
Pasar swalayan	500	1 atau 2	♦	♦	♦
Toko mainan	500	1	♦	♦	
Toko alat listrik (TV, radio/tape, mesin cuci dan lain-lain)	250	1 atau 2	♦	♦	♦
Toko alat musik dan olahraga	250	1	♦	♦	♦
<b>Industri (umum) :</b>					
Gudang	100	3		♦	♦
Pekerjaan kasar	200	2 atau 3		♦	♦
Pekerjaan menengah	500	1 atau 2		♦	♦
Pekerjaan halus	1000	1		♦	♦
Pekerjaan amat halus	2000	1		♦	♦
Pemeriksaan warna	750	1		♦	♦
<b>Rumah ibadah :</b>					
Masjid	200	1 atau 2		♦	
Gereja	200	1 atau 2		♦	
Vihara	200	1 atau 2		♦	

#### d. Efikasi Lampu

Efikasi lampu adalah perbandingan lumen yang dipancarkan oleh lampu terhadap konsumsi daya listrik (watt). Setiap jenis lampu memiliki efikasi lampu yang berbeda-beda. Berikut ini merupakan tabel efikasi lampu berdasarkan jenis lampu menurut SNI 6197:2011.

**Tabel 2.** Perbandingan Efikasi Luminus Dari Lampu Umum

Jenis lampu	Lumen/Watt	Umur rata-rata. (Jam operasi)
Incandescent ( pijar)	12 ~ 15	1.000
Halogen.	15 ~ 25	2.000 ~ 5.000
Merkuri	30 ~ 50	24.000
Fluoresen kompak	40 ~ 80	8.000 ~ 12.000
Fluoresen tabung	50 ~ 100	10.000 ~ 15.000
Fluoresen tabung "T8"	90	12.000
Fluoresen tabung "T5"	105	17.000
Sodium tekanan tinggi	60 ~ 110	24.000
Sodium tekanan rendah	70 ~ 180	18.000
LED ( <i>Light Emitting Diode</i> )	70	40.000

Jenis-jenis lampu dan deskripsinya berdasarakan SNI 6197:2011 yaitu sebagai berikut:

##### 1) Lampu Pijar (Incandescent)

Suatu filamen yang dipanaskan oleh arus listrik menghasilkan cahaya. Lampu ini jenis lampu yang tidak efisien, yang mana 95% listriknya dirubah menjadi panas. Lampu pijar mempunyai masa pakai yang pendek (kira kira 1000 jam), sementara itu biaya awalnya rendah dan indek renderingnya (Ra) optimal.

##### 2) Lampu Halogen

Lampu Halogen adalah lampu incandescent yang ditambahkan gas halogen (iodine, klorine, bromide). Karena panas yang tinggi dari filament yang berpijar maka halogen dengan prinsip siklus regeneratif mencegah penghitaman lampu. Lampu halogen mempunyai umur lebih panjang dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan lampu pijar (+20%~50%).

##### 3) Lampu Fluoresen

Lampu fluoresen terdiri dari tabung kaca yang tersekat, dilapisi warna putih didalamnya dan diisi dengan gas inert dan sedikit mercury. Jenis ini yang umum adalah lampu fluoresen dan lampu fluoresen kompak.



Semua lampu fluoresen membutuhkan ballast untuk menyalakan (dan mengontrol proses pencahayaan).

Efisiensi lampu fluoresen melebihi lampu pijar 5 sampai 8 kali, tergantung pada sistem pencahayaan. Lampu fluoreses membutuhkan investasi tinggi ( sampai 10 kali), tetapi umur pemakaiannya 10 sampai 15 kali lebih lama. Lampu fluoresen memberikan indeks Renderisasi (Ra) mulai 60% sampai 85%. Lampu fluoresen cocok digunakan untuk perkantoran dan area komersial.

#### 4) Lampu Pelepasan Gas Lain

Lampu pelepasan gas lainnya merupakan pilihan untuk pencahayaan yang efisien. Lampu ini mempunyai banyak jenis yang berbeda, beragam harganya, umur pemakaian, warna dan kualitas cahaya. Oleh karena itu disarankan untuk mengikutsertakan ahli pencahayaan dalam perencanaan.

Lampu pelepasan gas lainnya umumnya terbatas untuk tujuan khusus, seperti pencahayaan ruangan produksi (contoh lampu mercury vapour), pencahayaan jalanan umum (contoh lampu sodium vapour), dan lain-lain. Efisiensi lampu ini umumnya diluar lampu biasa, yaitu sebesar lebih dari 10 kali. Semua lampu pelepasan gas membutuhkan ballast.

#### 5) Lampu LED

Lampu LED menghasilkan lebih banyak cahaya per watt dibandingkan lampu incandescent. Efisiensi tidak dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran seperti lampu fluoresen. LED dapat mempunyai umur relatif panjang dalam penggunaannya. Estimasi umur LED 35.000-50.000 jam.

#### e. Saklar

Saklar adalah alat kelistrikan yang berfungsi sebagai penghubung dan pemutus aliran listrik. Saklar memiliki standar operasi yang berlaku. Tercantum pada standar PUIL 2011 (SNI 0225:2011) dimana di jelaskan bahwa kemampuan menyambung dan memutus, setiap sakelar atau pemutus sirkit harus menyambung dan memutus arus yang dapat mengalir dalam

keadaan penggunaan alat tersebut dan harus berfungsi sedemikian hingga tidak membahayakan operator (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2011).

f. Kotak Kontak

Kotak kontak / stop kontak adalah alat kelistrikan yang digunakan pada instalasi listrik yang merupakan titik terakhir pembebanan dari instalasi listrik selain pencahayaan. Kotak kontak dalam instalasi listrik gedung rumah sakit memiliki standar/ketentuan yang berlaku dimana tercantum dalam PERMENKES No. 2 tahun 2019. Berikut ini merupakan jumlah titik kotak kontak yang direkomendasikan (PERMENKES NO.2 TAHUN 2019, 2019):

**Tabel 3.** Rekomendasi Jumlah Kotak Kontak Pada Rumah Sakit

NAMA RUANGAN	NAMA SUB-RUANGAN	KOTAK KONTAK	KETERANGAN
Ruangan Resusitasi		9 titik	
Ruangan Observasi		4 titik	
Ruangan Tindakan	Tindakan Kebidanan	9 titik	
	Tindakan Bedah		
	Tindakan Anak		
	Tindakan non-Bedah		
Ruang Operasi Cito	Ruangan ganti petugas	16 titik	
	Ruang alat steril		
	Ruangan Premedikasi,		
	Scrub Station		
	Ruangan Bedah		
	Ruangan Pemulihan		
	<i>Dirty Corridor</i>		
	<i>Spoelhoek</i>		
	Ruang Persiapan Pasien/Premedikasi	4 titik	> 2 titik tersambung genset
	Ruang <i>Recovery</i> /pemulihan	6 titik	tersambung genset dan UPS

**Lanjutan Tabel 3.** Rekomendasi Jumlah Kotak Kontak Pada Rumah Sakit

<b>NAMA RUANGAN</b>	<b>NAMA SUB-RUANGAN</b>	<b>KOTAK KONTAK</b>	<b>KETERANGAN</b>
Zona Steril Tinggi	Ruang Operasi	1 titik	tiap sisi dinding (cadangan)
		> 6 titik	tiap titik pengaman arus berbeda
Zona Steril Sangat Tinggi	Ruang Area Meja Operasi	1 titik	tiap sisi dinding (cadangan)
		> 6 titik	tiap titik pengaman arus berbeda
	Ceiling Pendant Ruang Operasi	16 titik	tiap titik tersambung genset dan UPS
	Wall Outlet (cadangan)		
<i>Nurse Station</i>		6-16 titik / TT	
Gudang Alat Medik			
Ruang Linen Bersih			
<i>Dirty Utility/Spoelhoek</i>			
Ruang Petugas			
Ruang Administrasi			
Depo Farmasi			
Ruang dokter			
Ruang Tunggu + Toilet			
Janitor			
Nurse Station		6-16 titik / TT	
Gudang Alat Medik			
Ruang Linen Bersih			
<i>Dirty Utility/Spoelhoek</i>			
Ruang Petugas			
Ruang Administrasi			
Depo Farmasi			
Ruang Dokter			
Ruang Tunggu + Toilet			
Janitor.			

**Lanjutan Tabel 3.** Rekomendasi Jumlah Kotak Kontak Pada Rumah Sakit

<b>NAMA RUANGAN</b>	<b>NAMA SUB-RUANGAN</b>	<b>KOTAK KONTAK</b>	<b>KETERANGAN</b>
Nurse Station		6-16 titik / TT	
Gudang Alat Medik			
Ruang Linen Bersih			
<i>Dirty Utility/Spoelhoek</i>			
Ruang Petugas			
Ruang Administrasi			
Depo Farmasi			
Ruang Dokter			
Ruang Tunggu + Toilet			
Janitor.			
Nurse Station		6-16 titik / TT	
Gudang Alat Medik			
Ruang Linen Bersih			
<i>Dirty Utility/Spoelhoek</i>			
Ruang Petugas			
Ruang Administrasi			
Depo Farmasi			
Ruang Dokter			
Ruang Tunggu + Toilet			
Janitor.			
Ruang Perawatan VIP : 1 TT/kamar		2-4 titik / TT	
Ruang Perawatan kelas 1 : 2 TT/kamar		2-4 titik / TT	
Ruang Perawatan kelas 2 : 3-4 TT/kamar		2-4 titik / TT	
Ruang Perawatan kelas 3 : 5-6 TT/kamar		2-4 titik / TT	
Ruang Administrasi		1 titik	untuk peralatan kompatibel
Ruang Tunggu			

**Lanjutan Tabel 3.** Rekomendasi Jumlah Kotak Kontak Pada Rumah Sakit

<b>NAMA RUANGAN</b>	<b>NAMA SUB-RUANGAN</b>	<b>KOTAK KONTAK</b>	<b>KETERANGAN</b>
Ruang General X-Ray	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
	Ruang Operator,	2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
	Ruang Mesin	1 titik	untuk peralatan kompatibel
	Ruang Ganti.		
Ruang Fluoroskopi	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
	Ruang Operator	2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
	Ruang Mesin	1 titik	untuk peralatan kompatibel
	Ruang Ganti		
	Toilet		
Ruang Ultrasonografi (USG)	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
		2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
		1 titik	untuk peralatan kompatibel
Ruang Mammografi	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
	Ruang Ganti	2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
		1 titik	untuk peralatan kompatibel

**Lanjutan Tabel 3.** Rekomendasi Jumlah Kotak Kontak Pada Rumah Sakit

<b>NAMA RUANGAN</b>	<b>NAMA SUB-RUANGAN</b>	<b>KOTAK KONTAK</b>	<b>KETERANGAN</b>
Ruang Digital Panoramic		6 titik (3 fasa)	
		2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
		1 titik	untuk peralatan kompatibel
Ruang Magnetic Resonance Imaging (MRI)	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
	Ruang Operator	2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
	Ruang Mesin	1 titik	untuk peralatan kompatibel
	Toilet		
Ruang Computed Tomography Scan (CT-Scan)	Ruang Pemeriksaan	6 titik (3 fasa)	
	Ruang Operator	2 titik (3 fasa)	tidak boleh menggunakan percabangan
	Roilet,	1 titik	untuk peralatan kompatibel
	Ruang Mesin		
	Ruang CT Scan, dilengkapi ruang operator	sesuai kebutuhan	KK 3 fasa
	Ruang Penyinaran Radiasi Eksternal	sesuai kebutuhan	KK 3 fasa
	Ruang CT Scan	sesuai kebutuhan	KK 3 fasa

g. Sarana Pemutus (*Circuit Breaker*)

Sarana Pemutus (*Circuit Breaker*) adalah alat kelistrikan yang tergolong dalam sistem proteksi atau pengaman suatu rangkaian listrik pada sistem tenaga listrik. *Circuit breaker* akan bekerja secara otomatis jika terjadi adanya arus hubung singkat, beban berlebih, dan lain-lain. Adapun syarat yang harus dipenuhi, salah satunya yaitu sarana pemutus harus mempunyai kemampuan sekurang-kurangnya 115% dari arus beban penuh (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2011).

h. Kabel Penghantar (*Feeder*)

Kabel listrik adalah penghantar listrik yang terbuat dari bahan konduktor sebagai media penghantar. Kabel listrik yang sering digunakan umumnya berbahan tembaga karena memiliki nilai tahanan jenis tergolong sangat kecil yaitu 0,0185 Ohm mm<sup>2</sup>/m dengan tegangan tarik putus kurang dari 41 kg/mm<sup>2</sup>. Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam menentukan kabel tenaga/penghantar, salah satunya yaitu konduktor sirkit akhir yang menyuplai beban tidak boleh mempunyai KHA (Kuat Hantar Arus) kurang dari 125% (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2011). Berikut ini merupakan jenis kabel yang biasa dipakai dalam instalasi listrik:

1) Kabel NYA

Kabel NYA memiliki inti tunggal yang dilapisi bahan isolasi PVC dan biasa digunakan untuk instalasi luar atau kabel udara. Lapisan isolasi hanya terdapat satu lapis sehingga rawan cacat, dan digigit tikus bahkan tidak tahan terhadap air. Untuk mengatasi hal tersebut instalasi kabel ini harus menggunakan isolasi tambahan berupa pipa kabel PVC sehingga saluran tertutup.

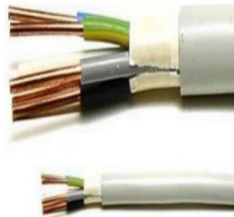


**Gambar 15.** Kabel NYA

(Sumber: <https://staff.uny.ac.id/> Materi Instalasi Listrik)

## 2) Kabel NYM

Kabel NYM memiliki inti sebanyak 2 – 3 inti kabel yang dilapisi isolator berbahan PVC sebanyak 2 lapis biasanya lapisan luar menggunakan warna putih/abu-abu dan lapisan dalam melapisi masing masing inti dengan warna berbeda. Kabel jenis ini dapat digunakan dilingkungan kering dan basah namun tidak boleh ditanam. Jika ditanam maka harus menggunakan isolasi tambahan berupa pipa PVC.



**Gambar 16.** Kabel NYM

(Sumber: <https://staff.uny.ac.id/> Materi Instalasi Listrik)

## 3) Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan kabel yang memiliki fleksibilitas yang tinggi karena kabel jenis ini memiliki penghantar tembaga serabut. Kabel ini juga dilapisi dengan isolasi berbahan PVC sebanyak satu lapis. Kabel ini biasa digunakan untuk instalasi pada panel yang membutuhkan kabel fleksibel yang tinggi.



**Gambar 17.** Kabel NYAF

(Sumber: <https://staff.uny.ac.id/> Materi Instalasi Listrik)



#### 4) Kabel NYY

Kabel NYY memiliki 2 – 4 inti kabel yang di lapiasi dengan isolasi PVC dan terbuat dari bahan yang tidak disukai oleh tikus. Kabel jenis ini memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari bahan isolasi kabel NYM sehingga kabel jenis ini dapat digunakan untuk instalasi tertanam atau kabel tanah.



**Gambar 18.** Kabel NYY

(Sumber: <https://staff.uny.ac.id/> Materi Instalasi Listrik)

#### 5) Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY memiliki 2 – 4 inti kabel yang di lapiasi dengan PVC sebanyak 3 lapis. Kabel jenis ini biasanya digunakan untuk instalasi bawah tanah, ruangan saluran dalam dan tempat terbuka. Kabel jenis ini juga membutuhkan perlindungan mekanis pada bagian isolasi dengan menggunakan lapisan baja untuk melindungi kabel dari tekanan rentangan yang tinggi baik selama pemasangan maupu saat pengoperasian.



**Gambar 19.** Kabel NYFGbY

(Sumber: <https://staff.uny.ac.id/> Materi Instalasi Listrik)

i. Kabel Pembumian (*Grounding*)

Kabel pembumian (*Grounding*) adalah alat kelistrikan yang berfungsi sebagai sistem proteksi kelistrikan yang bertujuan untuk menyalurkan arus berlebih ke bumi sehingga dapat memberi proteksi terhadap manusia dari arus kejut dan mengamankan komponen instalasi litrik dari tegangan dan arus asing. Luas penampang konduktor proteksi harus memenuhi kondisi untuk diskoneksi otomatis suplai yang disyaratkan sehingga mampu menahan arus gangguan prospektif (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2011). Luas penampang konduktor proteksi dapat ditentukan melalui konduktor tenaga yang digunakan dengan melihat tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.** Konduktor Proteksi Yang Dianjurkan Pada PUIL 2011 (SNI 0225:2011)

Luas penampang konduktor lin S mm <sup>2</sup>	Luas penampang minimum konduktor proteksi terkait mm <sup>2</sup>
	Jika konduktor proteksi berbahan sama seperti konduktor saluran
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

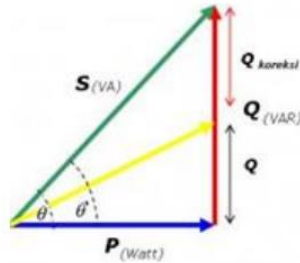
### 2.2.3 Perbaikan Instalasi dan Sistem Proteksi

a. Faktor Daya

Faktor daya adalah indikator kualitas desain dan manajemen pada instalasi listrik. Faktor daya bergantung pada dua gagasan yang sangat mendasar yaitu daya aktif (W) dan daya semu/daya nyata (VA). Besar kecilnya faktor daya di pengaruhi oleh nilai dari daya reaktif (VAR).

Faktor daya memiliki nilai 0 sampai dengan 1. Faktor daya dapat dikatakan baik jika nilai faktor daya mendekati 1 karena daya nyata/daya semu dan daya reaktif yang digunakan semakin kecil dengan daya aktif yang tetap. Faktor daya dikatakan buruk jika nilai faktor daya mendekati 0 karena daya semu/daya nyata dan daya reaktif akan semakin besar dengan daya aktif

yang tetap. Keadaan tersebut dapat dibuktikan dengan segitiga daya di bawah ini:



**Gambar 20.** Segitiga Daya

(Sumber: Skripsi *Perancangan Sistem dan Instalasi Listrik Rumah Sakit Queen Latifa Yogyakarta*)

Dari segitiga daya diatas didapat rumus untuk perhitungan faktor daya dan daya, yaitu sebagai berikut:

$$\cos \Phi = \frac{P}{S}$$

$$S = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos \Phi$$

$$Q = V \times I \times \sin \Phi$$

Keterangan:

S= Daya Semu/Nyata (VA)

P= Daya Aktif (W)

Q= Daya Reaktif (VAR)

$\Phi$  = Sudut (...<sup>0</sup>)

$\cos \Phi$  = Faktor Daya

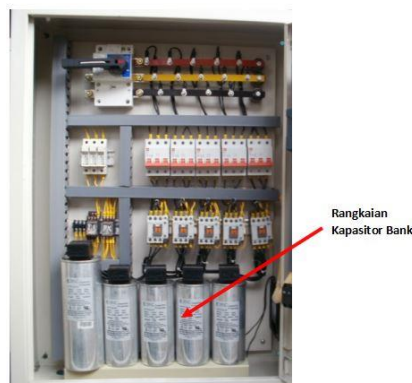
Adapun faktor daya yang akan digunakan dalam perhitungan beban pada gedung rumah sakit ini yaitu:

- Lampu LED > 0,90 (yang digunakan 0,95) (kapasitif). (Mischler, 2016)
- Motor Daya/AC/Kotak Kontak = 0,8 (Induktif). (Mischler, 2016)

### b. *Capasitor Bank*

Capasitor Bank adalah alat kelistrikan yang memiliki sifat kapasitif dan berfungsi sebagai penyeimbang beban induktif pada rangkaian sistem tenaga listrik. Beban kapasitif dan beban induktif memiliki reaktansi ( $X$ ) yang saling berlawanan.

Beban pada suatu instalasi listrik memiliki nilai impedansi ( $Z$ ) atau sering di sebut sebagai hambatan dalam. Impedansi terdiri dari hambatan beban ( $R$ ) dan hambatan imajiner ( $jX$ ), dimana nilai  $X$  pada hambatan imajiner merupakan selisih antara nilai reaktansi beban induktif dengan reaktansi beban kapasitif. Jika beban induktif besar maka nilai reaktansi induktif juga akan besar sehingga mengakibatkan nilai faktor daya menjadi besar begitu juga pada daya semu yang nilainya akan besar dengan nilai daya aktif tetap. Oleh karena itu untuk memperbaiki keadaan tersebut maka dibutuhkannya kapasitor bank, dimana kapasitor bank ini memiliki sifat kapasitif sehingga nilai reaktansi kapasitif dapat menekan nilai impedansi karena nilai  $X$  pada impedansi akan mendekati nol.



**Gambar 21.** Kapasitor Bank

(Sumber: <https://panduanteknisi.com/>)

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menghitung menentukan kapasitas kapasitor bank: (Mischler, 2016)

1. Langkah pertama untuk melakukan perbaikan daya dengan menggunakan kapasitor bank yaitu menghitung daya reaktif ( $Q$ ) sebelum perbaikan daya.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- Langkah kedua yaitu menghitung  $\text{Cos } \Phi$  sebelum perbaikan.

$$\text{Cos } \Phi = \frac{P}{S}$$

- Langkah ketiga yaitu menghitung daya semu ( $S$ ) dengan  $\text{Cos } \Phi$  yang diinginkan.

$$S' = \frac{P}{\text{Cos } \Phi}$$

- Langkah keempat yaitu menghitung daya reaktif perbaikan ( $Q'$ ) dengan menggunakan daya semu perbaikan ( $S'$ ).

$$Q' = \sqrt{(S')^2 - (P)^2}$$

- Langkah kelima yaitu menghitung kapasitas kapasitor bank ( $C$ ) yang dibutuhkan untuk mencapai  $\text{Cos } \Phi$  sebesar 0,90.

$$C = Q - Q'$$

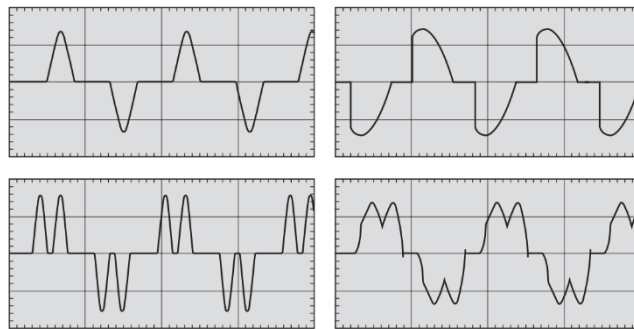
### c. Filter Harmonisa

Harmonisa terjadi dalam sistem kelistrikan disebabkan karena terdapat arus dan tegangan yang terdistorsi dan menyimpang dari bentuk gelombang sinusoidal. Arus harmonisa disebabkan oleh beban non-linear yang terhubung ke sistem distribusi listrik. Suatu beban dikatakan non-linear ketika arus yang mengalir tidak memiliki bentuk gelombang yang sama dengan tegangan suplai. Arus harmonisa mengalir melalui impedansi sistem sehingga akan menciptakan harmonisa tegangan yang dapat mendistorsi tegangan suplai (Mischler, 2016).

Harmonisa merupakan salah satu gangguan yang dapat terjadi pada jaringan distribusi listrik. Harmonisa dapat menyebabkan kualitas daya listrik efisiensi sistem menurun. Harmonisa menyebabkan beberapa gangguan yang dapat ditimbulkan yaitu:

- 1) Kelebihan beban jaringan distribusi karena peningkatan arus r.m.s ( $I_{\text{rms}}$ );
- 2) Kelebihan beban konduktor netral, arus dapat melebihi fasa yang seharusnya;

- 3) Kelebihan beban, getaran dan mengurangi usia generator, transformator, dan motor serta peningkatan transformator hum;
- 4) Kelebihan beban dan mengurangi usia kapasitor bank;
- 5) Distorsi tegangan suplai yang dapat mengganggu beban yang sensitif; dan
- 6) Gangguan dalam jaringan komunikasi dan saluran telfon.



**Gambar 22.** Gelombang Harmonisa Distorsi Arus

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

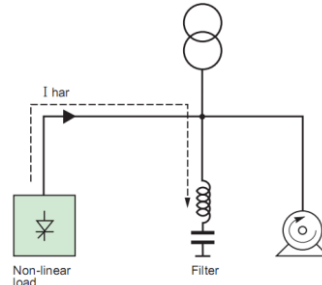
Untuk mengatasi dan mengantisipasi terjadinya harmonisa pada instalasi listrik maka di butuhnya perngkat tambahan yaitu Filter Harmonisa. Sistm filter harmonisa dibagi menjadi tiga jenis filter yaitu:

#### 1) Filter Pasif

Filter pasif merupakan tipe filter yang dapat digunakan pada instalasi insdustri yang memiliki seperangkat beban non-linear lebih dari 500kVA; instalasi yang memerlukan koreksi faktor daya; instalasi yang memerlukan pengurangan distorsi tegangan untuk menghindari gangguan pada beban sensitif; dan instalasi yang memerlukan pengurangan distorsi arus untuk menghindari kelebihan beban.

Prinsip kerja filter pasif yaitu sirkuit LC (induktor dan kapasitor) yang disetel ke setiap tatanan harmonisa yang akan difilter dipasang secara paralel dengan beban non-linear. Sirkuit bypass ini menyerap harmonisa sehingga menghindari aliran harmonisa dalm jaringan distribusi. Secara umum, filter pasif disetel ke urutan harmonisa yang dekat dengan urutan yang akan dihilangkan. Beberapa cabang filter yang

terhubung paralel dapat digunakan jika diperlukan pengurangan distorsi yang signifikan dari sejumlah harmonisa.



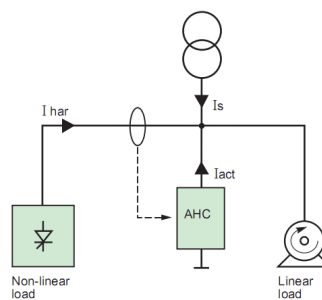
**Gambar 23.** Filter Pasif

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

## 2) Filter Aktif

Filter aktif merupakan tipe filter yang dapat digunakan pada instalasi listrik komersil dengan serangkaian beban non-linear yang mewakili kurang dari 500 kVA dan pada instalasi yang memerlukan pengurangan distorsi arus untuk menghindari kelebihan beban.

Prinsip kerja sistem filter aktif yaitu filter ini terdiri dari perangkat elektronika daya yang dipasang secara seri atau paralel dengan beban non-linear sehingga mengkompensasi arus harmonik atau tegangan yang ditarik oleh beban. Seperti yang terlihat pada gambar (Gambar 23.) di bawah ini, filter aktif menunjukkan kondisioner harmonisa aktif yang terhubung paralel (AHC) mengkompensasi arus harmonik ( $I_{har} = -I_{akt}$ ). AHC sendiri menyuntikan harmonisa pada fase berlawanan yang ditarik oleh beban non-linear, sehingga arus jalur tetap sinusoidal.



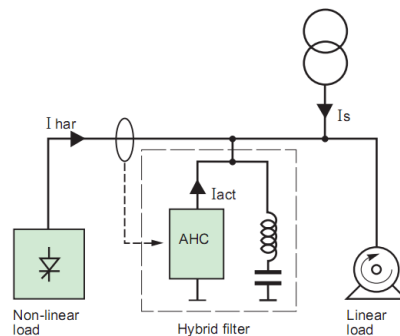
**Gambar 24.** Filter Aktif

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

### 3) Filter Hybrid

Filter hybrid merupakan filter yang dapat digunakan pada instalasi industri dengan seperangkat beban non-linear yang mewakili lebih dari 500 kVA; instalasi yang memerlukan koreksi faktor daya; instalasi yang memerlukan pengurangan distorsi tegangan untuk menghindari gangguan pada beban sensitif; instalasi yang memerlukan pengurangan distorsi arus untuk menghindari kelebihan beban; dan instalasi yang terbatas pada emisi harmonik yang harus terpenuhi.

Prinsip kerja filter hybrid yaitu filter pasif dan filter aktif digabungkan dalam satu sistem untuk membentuk filter hybrid. Solusi penyaringan baru ini menawarkan keunggulan dari kedua jenis filter dan mencakup berbagai tingkat daya dan kinerja.



**Gambar 25.** Filter Hybrid

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

#### d. Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan (*Drop Voltage*) adalah penurunan tegangan yang terjadi pada saluran instalasi listrik yang menyebabkan terjadinya perbedaan tegangan antara tegangan source ( $V_S$ ) dengan tegangan *receive* ( $V_R$ ). Tegangan *source* memiliki nilai yang lebih besar dari tegangan *receive* ( $V_S > V_R$ ).

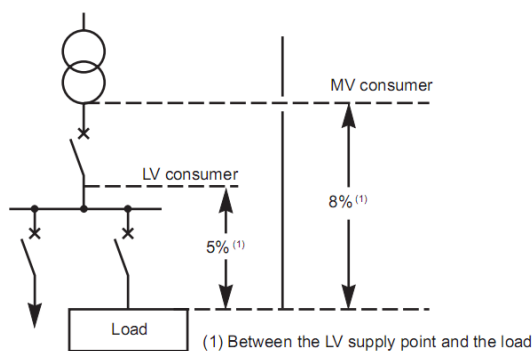
Jatuh tegangan dapat disebabkan karena kabel dan beban yang digunakan. Kabel memiliki sifat resistif sehingga kabel memiliki nilai impedansi ( $Z$ ) yang akan berpengaruh pada besar kecilnya tegangan jatuh. Pada suatu rangkaian instalasi listrik kemungkinan besar pasti terjadi dan itu



diperbolehkan namun masih dalam batas wajar. Berdasarkan peraturan IEC60364-5-52 memiliki batas maksimal berikut:

**Tabel 5.** Batas Maksimum Tegangan Jatuh yang Diizinkan

Type of installations	Lighting circuits	Other uses (heating and power)
A low-voltage service connection from a LV public power distribution network	3 %	5 %
Consumers MV/LV substation supplied from a public distribution MV system	6 %	8 %



**Gambar 26.** Maksimum Voltage Drop

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

Tegangan jatuh dapat di hitung pada keadaan beban stabil. Berikut ini merupakan tabel rumus-rumus yang biasa digunakan untuk menghitung penurunan tegangan pada rangkaian listrik per kilometer panjang kabel (kabel tembaga dengan insulasi XLPE):

**Tabel 6.** Rumus Jatuh Tegangan

Circuit	Voltage drop ( $\Delta U$ )	
	in volts	in %
Phase/phase	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Phase/neutral	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
Balanced 3-phase: 3 phases (with or without neutral)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Berdasarkan tabel rumus di atas maka rumus tegangan jatuh dapat di identifikasikan sebagai berikut: (Mischler, 2016)

- 1)  $I_B$  merupakan arus pada saat kondisi beban penuh (ampere).
- 2)  $L$  merupakan panjang kabel yang digunakan pada instalasi listrik (kilometer).

3) R merupakan resistansi yang terdapat pada kabel yang digunakan ( $\Omega/\text{km}$ ).

$$R_{\text{tembaga}} = \frac{23,7 \Omega\text{mm}^2/\text{km}}{S (\text{mm}^2)} \quad R_{\text{aluminium}} = \frac{37,6 \Omega\text{mm}^2/\text{km}}{S (\text{mm}^2)}$$

4) X merupakan reaktansi induktif pada konduktor ( $\Omega/\text{km}$ ). X memiliki nilai sebesar  $0,08 \Omega/\text{km}$ . Nilai X dapat diabaikan jika luas penampang kabel lebih kecil dari  $50 \text{ mm}^2$ .

5)  $\phi$  merupakan sudut fase antara tegangan dan arus dalam rangkaian yang dipertimbangkan. Secara umum:

**Tabel 7.** Nilai Sudut Fase

Jenis Beban	Cos $\phi$
Lampu pijar	1
Lampu LED	> 0,9
Lampu Fluorescent dengan ballast	> 0,9
Motor Power (At Start Up)	0,35
Motor Power (In Normal Service)	0,8

6)  $U_n$  merupakan nilai tegangan pada antar fase (*phase to phase*).

7)  $V_n$  merupakan nilai tegangan pada fase tunggal (*phase to netral*).

e. Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*) merupakan batas arus maksimal yang dapat mengalir ke seluruh jaringan instalasi listrik. Dengan mengetahui besarnya arus hubung singkat maka dapat menentukan *breaking capacitor* yang akan digunakan. Arus hubung singkat biasa terjadi pada terminal sekunder transformator distribusi dan pada instalasi distribusi.

1) Arus Hubung Singkat ( $I_{SC}$ ) pada Terminal Sekunder Transformator Distribusi (Mischler, 2016)

Arus hubung singkat pada terminal sekunder transformator distribusi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$I_{SC} = \frac{I_n \times 100}{U_{SC}} \quad I_n = \frac{S \times 10^3}{U_{20}\sqrt{3}}$$

Dimana:

$S$  = Kapasitas daya transformator (kVA)

$U_{20}$  = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

$I_n$  = Arus nominal trafo (ampere)

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (ampere)

$U_{SC}$  = Impedansi hubung singkat (%)

**Tabel 8.** Nilai USC

Transformer rating (kVA)	Usc in %	
	Oil-immersed	Cast-resin dry type
50 to 750	4	6
800 to 3200	6	6

2) Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ ) 3-phase pada Instalasi Distribusi (Mischler, 2016; Mischler, 2016)

Arus Hubung Singkat (ISC) pada instalasi distribusi dapat dihitung menggunakan rumus:

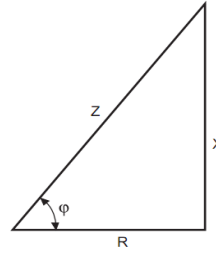
$$I_{SC} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

Dimana:

$U_{20}$  = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

$Z_T$  = total impedansi per fasa ( $\Omega$ )

Komponen pada instalasi listrik berkarakteristik memiliki nilai Impedansi ( $Z$ ) yang terdiri dari resistansi ( $R$ ), dan reaktansi induktif ( $X$ ). Namun memiliki kemungkinan bahwa reaktansi kapasitif tidak penting pada perhitungan arus hubung singkat. Nilai  $R$ ,  $X$ , dan  $Z$  dinyatakan dalam Ohm dan saling berhubungan pada segitiga siku-siku seperti pada gambar di bawah ini (Gambar 26.).



**Gambar 27.** Diagram Impedansi

(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

Metode ini terdiri dari pembagian jaringan menjadi beberapa bagian untuk menghitung nilai R dan X. Dimana setiap bagian dihubungkan secara seri dalam jaringan, semua nilai resistansi dalam jaringan tersebut dijumlahkan ( $R_T$ ), demikian juga pada reaktansi ( $X_T$ ). Kemudian menghitung impedansi total ( $Z_T$ ) menggunakan rumus:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Berikut ini merupakan ketentuan perhitungan Impedansi pada komponen Instalasi Listrik:

- Jaringan Awal pada Tegangan Rendah/Tegangan Menengah Transformator

Untuk melakukan perhitungan impedansi pada jaringan awal maka di perlukannya rumus sebagai berikut:

$$Z_S = \frac{U_0^2}{P_{SC}}$$

Dimana:

$Z_S$  = Impedansi jaringan awal pada tegangan menengah ( $m\Omega$ )

$U_0$  = tegangan antar fase tanpa beban pada tegangan rendah (volt)

$P_{SC}$  = MV 3-phase short-circuit fault level (kVA)

**Tabel 9.** Impedansi Jaringan Awal

<b>Psc</b>	<b>Uo (V)</b>	<b>Ra (mΩ)</b>	<b>Xa (mΩ)</b>
250 MVA	420	0.07	0.7
500 MVA	420	0.035	0.351

Pada jaringan awal (Tegangan Menengah) nolai resistansi Ra dapat diabaikandibandingkan dengan Xa, yang terakhir kemudian di ambil sebagai nilai ohmik untuk Za. Jika diperlukan perhitungan yang lebih

akurat,  $X_a$  dapat dianggap sama dengan  $0,995 Z_a$  dan  $R_a$  dianggap sama dengan  $0,1 X_a$ .

- Transformator

Nilai Impedansi pada Transformator ( $Z_{tr}$ ), dapat dilihat pada terminal tegangan rendah (LV terminal), diberikan rumus:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Dimana:

$U_{20}$  = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

$S_n$  = Daya Transformator (VA)

$U_{sc}$  = Impedansi hubung singkat (%)

Resistansi lilitan trafo ( $R_{tr}$ ) dapat dihitung melalui total rugi-rugi daya, dengan menggunakan:

$$P_{cu} = 3 I_n^2 \times R_{tr} \qquad R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$$

Dimana:

$P_{cu}$  = Total rugi-rugi daya (watt)

$I_n$  = Arus nominal beban penuh (ampere)

$R_{tr}$  = Resistansi 1-phase pada trafo ( $m\Omega$ )

Berikut rumus impedansi pada trafo:

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Untuk perhitunga perkiraan, jika tidak adanya informasi yang lebih tepat tentang karakteristik transformer, maka Cenelec 50480 menyarankan untuk menggunakan pedoman jika  $U_{20}$  tidak diketahui maka dapat diasumsikan  $1,05 U_n$  dan jika tidak adanya informasi yang lebih tepat maka dapat menggunakan  $R_{tr} = 0,31 Z_{tr}$  dan  $X_{tr} = 0,95 Z_{tr}$ .

Berikut ini merupakan tabel nilai resistansi, reaktansi, dan impedansi tipe distribusi trafo 400V (tegangan tanpa beban = 420 V) dengan lilitan MV  $\leq 30$  kV :

**Tabel 10.** Nilai Resistansi, Reaktansi, dan Impedansi Pada Transformator

Rated Power (kVA)	Oil-immersed				Cast-resin			
	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)
100	4	37.9	59.5	70.6	6	37.0	99.1	105.8
160	4	16.2	41.0	44.1	6	18.6	63.5	66.2
200	4	11.9	33.2	35.3	6	14.1	51.0	52.9
250	4	9.2	26.7	28.2	6	10.7	41.0	42.3
315	4	6.2	21.5	22.4	6	8.0	32.6	33.6
400	4	5.1	16.9	17.6	6	6.1	25.8	26.5
500	4	3.8	13.6	14.1	6	4.6	20.7	21.2
630	4	2.9	10.8	11.2	6	3.5	16.4	16.8
800	6	2.9	12.9	13.2	6	2.6	13.0	13.2
1000	6	2.3	10.3	10.6	6	1.9	10.4	10.6
1250	6	1.8	8.3	8.5	6	1.5	8.3	8.5
1600	6	1.4	6.5	6.6	6	1.1	6.5	6.6
2000	6	1.1	5.2	5.3	6	0.9	5.2	5.3

- Busbar

Resistansi pada busbar umumnya diabaikan, sehingga impedansi semua reaktif memiliki nilai sekitar 0,15 mΩ/meter untuk sistem 50Hz dan 0,18 mΩ/meter untuk 60 Hz. Panjang untuk busbar LV menggangdakan jarak antar barr untuk meningkatkan reaktansi sekitar 10% saja. Dalam praktiknya, hampir tidak pernah untuk memperkirakan panajang busbar yang terkait dengan papan hubung short-circuit.

- Rangkaian Konduktor (Kabel)

Kabel merupakan konduktor yang memiliki resistansi yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Rc = \rho \frac{L}{S}$$

Dimana:

ρ = Masa Jenis Konduktor Kabel

L = Panjang kabel (m)

S = luas penampang kabel (mm<sup>2</sup>)

Nilai masa jenis konduktor dapat di pengaruhi oleh suhu sekitar. Berdasarkan standar IEC60909-0 dan Cenelec TR 50480 maasa jenis konduktor yang dipengaruhi oleh sekitar dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 11.** Massa Jenis Kabel Pengaruh Suhu dan Jenis Kabel

	20 °C	PR/XLPE 90 °C	PVC 70 °C
Copper	18.51	23.69	22.21
Alu	29.41	37.65	35.29

Nilai reaktansi kabel dapat diperoleh dari produsen. Untuk luas penampang kurang dari 50 mm<sup>2</sup> reaktansi dapat diabaikan. Jika tidak ada informasi lain maka dapat menggunakan nilai 0,08 mΩ/meter untuk sistem 50 Hz atau 0,096 mΩ/meter untuk sistem 60 Hz.

- Motor Induksi

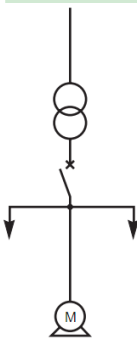
Pada saat terjadi arus hubung singkat, motor yang bekerja akan bertindak sebagai generator untuk periode yang singkat dan menimbulkan arus balik. Umumnya kontribusi arus gangguan tersebut akan diabaikan. Namun, jika total daya motor yang bekerja secara bersamaan lebih tinggi dari 25% dari total daya transformator, maka pengaruh motor harus diperhitungkan. Kontribusi total arus hubung singkat pada motor dapat diperkirakan dari rumus:

$$I_{scm} = 3,5 I_n$$

Dari masing-masing motor yaitu 3,5 mIn untuk m motor yang sama dan juga beroperasi secara bersamaan maka motor yang bersangkutan hanya akan menjadi motor 3 fase, kontribusi fase tunggal motor menjadi tidak signifikan.

Setelah dilakukan penjabaran perhitungan arus hubung singkat maka pada masing masing bagian yang terdapat pada instalasi listrik, dapat dilakukan rekapitulasi yaitu sebagai berikut:

**Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Arus Hubung Singkat**



Supply network Figure G34	$\frac{R_a}{X_a} = 0,1$	$X_a = 0,995 Z_a; Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$
Transformer Figure G35	$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$ where $I_n = \frac{S_n \times 10^3}{U_{20} \sqrt{3}}$  Rtr is often negligible compared to Xtr for transformers > 100 kVA	$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$  with $Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$
Circuit-breaker	Not considered in practice	
Busbars	Negligible for $S > 200 \text{ mm}^2$ in the formula: $R = \rho \frac{L^{(1)}}{S}$	$X_B = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$
Circuit conductors <sup>(2)</sup>	$R = \rho \frac{L^{(1)}}{S}$	Cables: $X_c = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$
Motors	See Sub-clause 4.2 Motors (often negligible at LV)	
<b>Three-phase maximum short circuit current in kA</b>		
$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$		

$U_{20}$ : Phase-to-phase no-load secondary voltage of MV/LV transformer (in volts).

$P_{sc}$ : 3-phase short-circuit power at MV terminals of the MV/LV transformers (in kVA).

$P_{cu}$ : 3-phase total losses of the MV/LV transformer (in watts).

$S_n$ : Rating of the MV/LV transformer (in kVA).

$U_{sc}$ : Short-circuit impedance voltage of the MV/LV transformer (in %).

$R_T$ : Total resistance.  $X_T$ : Total reactance

(1)  $\rho$  = resistivity at 20°C.

(2) If there are several conductors in parallel per phase, then divide the resistance of one conductor by the number of conductors. The reactance remains practically unchanged.