

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut adalah penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi bahan acuan perancangan ini:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwi Songgo Panggayudi pada tahun 2015 dengan judul *Study Design Of Electrical Building Distribution*. Dijelaskan bahwa “Dalam melakukan analisis perhitungan kebutuhan beban listrik pada suatu bangunan, alangkah baiknya untuk mengetahui spesifikasi bangunannya terlebih dahulu”.
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hariansyah pada tahun 2015 dengan judul **Perancangan dan Pemasangan Instalasi Listrik Penerangan dan Tenaga di Gedung Workshop PT. Basuh Power Electric**. Dijelaskan bahwa “Kebutuhan jumlah lampu yang digunakan sangat ditentukan oleh kuat penerangan cahaya, factor rugi-rugi cahaya akibat posisi benda yang berada terhadap tinggi lampu, dan faktor penggunaan yang dipengaruhi oleh kondisi didalam ruangan seperti warna cat, tembok, lantai dan langit-langit”.
3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ezar Kuntoro Khairy pada tahun 2016 dengan judul **Perancangan Instalasi Listrik Gedung Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya**. Dijelaskan bahwa “Pertimbangan pemilihan MCCB yaitu berdasarkan besar arus pada beban ditambah dengan asumsi spare beban jika pada masa mendatang akan ditambah beban listrik”.
4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rafiah Ma'rifatul Al-Kamil pada tahun 2016 dengan judul **Perancangan Sistem Instalasi Listrik Royal Sanur Hospital Bali**. Dijelaskan bahwa “Perlunya membuat suatu perancangan sistem instalasi listrik untuk menghindari terjadinya kelebihan beban pada gedung bertingkat agar memenuhi nilai yang akurat”.

5. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Ilayasa tahun 2018 dengan judul **Perancangan Sistem dan Instalasi Listrik Rumah Sakit Queen Latifa Yogyakarta**. Dijelaskan bahwa “Drop tegangan berbanding lurus dengan panjang saluran dan berbanding terbalik dengan luas penampang”

## 2.2 Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)

Pada tahun 1964 PUIL dikenal dengan Peraturan Umum Instalasi Listrik, kemudian pada tahun 2000 PUIL dikenal dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik maupun Standar PLN atau disebut SPLN. Instalasi listrik adalah sebuah sistem yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan manusia dalam kehidupannya. Instalasi daya listrik merupakan perancangan dan pemasangan suplai kebutuhan listrik yang bertujuan untuk menyalurkan daya listrik menuju beban-beban yang telah terpasang pada suatu bangunan melalui proses analisis perhitungan kebutuhan beban yang akurat sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Ketentuan mengenai komponen-komponen instalasi listrik sudah terangkum dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan ketentuan-ketentuan lain sebagai berikut:

1. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2016 Tentang Persyaratan Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit.
2. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia Pedoman-Pedoman Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit Tahun 2014.
3. SNI 03-6197-2011, Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan.
4. SNI 03-0711-2004, Keselamatan pada Bangunan Fasilitas Kesehatan.
5. SNI 04-7018-2004, Sistem Pasokan Daya Listrik Darurat dan Siaga.
6. SNI 03-7015-2004, Sistem Proteksi Petir.
7. SNI 03-6572-2001, Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara.
8. SNI 03-6575-2001, Sistem Pencahayaan Buatan.

## 2.3 Perancangan Instalasi Penerangan

### 2.3.1 Prinsip Dasar Perancangan Instalasi Penerangan

Produk	Nomor SNI	Penjelasan	Regulasi pemberlakuan wajib
Saklar	SNI IEC 60669-1:2013 Bagian 1	Saklar untuk instalasi listrik tetap rumah tangga dan sejenisnya - bagian 1: persyaratan umum	Peraturan Menteri ESDM No. 2/2018
Penerangan	SNI 03-6575-2001	Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung - bagian 4: kriteria perancangan - 4.2. tingkat pencahayaan - 4.1.1 perhitungan tingkat pencahayaan	Peraturan Menteri Kesehatan No. 70/2016 Peraturan Menteri Kesehatan No. 1204/SK.10/2004
Tusuk kontak dan Kotak-kontak	SNI 04-3892.-2006 SNI IEC 60884-1;2009	Tusuk-kontak dan kotak-kontak untuk keperluan rumah tangga dan sejenisnya - Bagian 1: Persyaratan umum.	Per-Men. ESDM No. 012 Tahun 2007 (untuk SNI tahun 2006)
	SNI 04-3892.1.1-2003	Tusuk-kontak dan kotak-kontak untuk keperluan rumah tangga dan sejenisnya - Bagian 1-1: Persyaratan umum - Bentuk dan ukuran.	Belum diwajibkan

Sumber: Data BSN

Perancangan instalasi penerangan didasarkan oleh persyaratan yang mengacu pada *SNI 03-6575-2001*. Persyaratan atau petunjuk teknis melalui SNI tersebut dimaksudkan bagi para perancang maupun pelaksana pembangunan gedung dalam merancang sistem instalasi penerangan buatan dan sebagai pedoman/pegangan bagi pemilik gedung dalam memelihara maupun mengoperasikan sistem penerangan buatan ini.

Agar perancangan instalasi penerangan ini memenuhi syarat kenyamanan, kesehatan, keamanan, dan memenuhi standar yang berlaku untuk suatu bangunan gedung maka perlu adanya kriteria perancangan. Kriteria perancangan instalasi penerangan terdiri dari:

a) Tingkat Pencahayaan Rata-rata ( $E_{rata-rata}$ )

Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan pada umumnya didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Yang dimaksud dengan bidang kerja ialah bidang horisontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan.

Tingkat Pencahayaan Rata-rata  $E_{rata-rata}$  (lux), dapat dianalisis dengan persamaan:

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times K_p \times K_d}{A} \quad (\text{rumus 2.1})$$

Dimana :

$E_{rata-rata}$  = Tingkat pencahayaan rata-rata (lux)

$A$  = Luas ruangan (m<sup>2</sup>)

$F_{total}$  = Jumlah armature yang terpasang

$K_p$  = Koefisien Penggunaan

$K_d$  = Koefisien Depresiasi

b) Koefisien Penggunaan ( $K_p$ )

Koefisien penggunaan sebagian cahaya yang mengalami penyerapan akibat pancaran penerangan ke segala arah. Koefisien penggunaan ini didefinisikan sebagai perbandingan antara fluks luminous yang sampai di bidang kerja terhadap lingkungan di sekitar pancaran cahaya penerangan. Besarnya koefisien penggunaan ini dipengaruhi beberapa factor antara lain sebagai berikut:

- 1) Distribusi intensitas cahaya dari armature
- 2) Reflektansi cahaya terhadap dimensi ruang dari dinding, lantai, dan langit-langit.

Besarnya koefisien penggunaan untuk sebuah armature diberikan dalam bentuk tabel yang dikeluarkan oleh pabrik produsennya berdasarkan hasil pengujian dari instansi terkait. Adapun tabel persentase nilai koefisien penggunaan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan perancangan penerangan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai koefisien penggunaan

▪ $K_p = 1$ ; jika ruangan berwarna cerah (putih) semua.
▪ $K_p = 0.8 - 0.9$ ; jika ruangan berwarna 80-90% berwarna cerah
▪ $K_p = 0.3 - 0.7$ ; jika ruangan berwarna didominasi gelap (hitam, coklat, biru, merah tua, coklat tua) maka

c) Koefisien Depresiasi/Penyusutan ( $K_d$ )

Koefisien depresiasi atau sering disebut sebagai koefisien rugi-rugi cahaya didefinisikan sebagai perbandingan antara tingkat pencahayaan setelah jangka waktu tertentu digunakan terhadap tingkat pencahayaan pada instalasi baru. Besarnya koefisien depresiasi dipengaruhi beberapa factor antara lain sebagai berikut:

- 1) Kebersihan dari lampu dan armature
- 2) Kebersihan dan permukaan ruangan
- 3) Penurunan keluaran cahaya lampu

Koefisien depresiasi biasanya ditentukan berdasarkan nilai estimasi. Pada umumnya apabila ruangan dan armature dengan pemeliharaan yang baik maka nilai koefisien depresiasi diambil sebesar 80% atau 0,8 (*SNI 03-6575-2001 hal 3*). Adapun persentase nilai koefisien penggunaan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan perancangan penerangan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Nilai koefisien depresiasi

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kd = 100%; jika benda tegak lurus terhadap sinar datang cahaya lampu, pada ketinggian 1m dari posisi lampu.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kd = 80%; jika posisi benda tidak diketahui terhadap titik sinar lampu, sinar lampu mengenai benda dengan kondisi sinar langsung.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kd = 70%; jika posisi benda berada 45° terhadap titik sinar lampu.</li> </ul>

#### d) Titik Lampu

Dalam menghitung jumlah kebutuhan titik armature, terlebih dahulu menghitung fluks luminous total yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat pencahayaan yang direncanakan, dengan persamaan:

$$F_{total} = \frac{E \times A}{Kp \times Kd} \quad (\text{rumus 2.2})$$

Kemudian persamaan jumlah titik armature dihitung dengan persamaan:

$$N_{total} = \frac{F_{total}}{F_1 \times n} \quad (\text{rumus 2.3})$$

Dimana:

$F_1$  = fluks luminous satu buah lampu

$n$  = jumlah lampu dalam satu armatur

Maka perhitungan titik lampu pada suatu ruangan menggunakan persamaan antara lain sebagai berikut:

$$N = \frac{E \times A}{\phi \times Kp \times Kd} \quad (\text{rumus 2.4})$$

Keterangan:

$N$  = Jumlah titik lampu

$E$  = Lux minimal ruangan sesuai SNI

$A$  = Luas ruangan ( $m^2$ )

$\phi$  = Fluks luminus lampu (lumen)

$Kd$  = Koefisien Depresiasi (asumsi 80% = 0,8 )

$Kp$  = Koefisien Penggunaan (asumsi 100% = 1)

Sebagai standar pemasangan instalasi penerangan, maka data tingkat pencahayaan minimum dan renderasi warna berdasarkan pada *SNI 03-6575-2001* halaman 5 pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.3. Tingkat Pencahayaan Rekomendasi SNI

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna	Keterangan
<b>Rumah Tinggal</b>			
Teras	60	1 atau 2	
Ruang Tamu	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Makan	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Kerja	120 ~ 250	1	
Kamar Tidur	120 ~ 250	1 atau 2	
Kamar Mandi	250	1 atau 2	
Dapur	250	1 atau 2	
Garasi	60		
<b>Perkantoran</b>			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	
Ruang Komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor.

Ruang Rapat	300	1 atau 2	
Ruang Gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang Arsip	150	3 atau 4	
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2	
<b>Lembaga Pendidikan</b>			
Ruang Kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Laboratorium	500	1	
Ruang Gambar	750	1	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Kantin	200	1	
<b>Hotel dan Restaurant</b>			
Lobby, Koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana/kesan ruang yang baik.
Ballroom/Ruang Sidang	200	1	Sistem pencahayaan harus dirancang untuk menciptakan suasana yang sesuai. Sistem pengendalian "switching" dan "dimming" dapat digunakan untuk memperoleh beberapa efek pencahayaan.
Ruang Makan	250	1	
Cafeteria	250	1	
Kamar Tidur	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala tempat tidur dan cermin.
Dapur	300	1	
<b>Rumah Sakit/Balai Pengobatan</b>			
Ruang Rawat Inap	250	1 atau 2	
Ruang Operasi,Ruang Bersalin	300		
Laboratorium	500	1 atau 2	
Ruang Rekreasi dan Rehabilitasi	250		

<b>Pertokoan/Ruang Pameran500</b>			
Ruang Pamer dengan obyek berukuran besar (misal: mobil)	250	1	Tingkat pencahayaan ini harus dipenuhi pada lantai. Untuk beberapa produk tingkat pencahayaan pada bidang vertikal juga penting.
Toko kue dan makanan	300	1	
Toko Buku dan Alat Tulis/Gambar	500	1	
Toko Perhiasan, Arloji	500	1	
Toko Barang Kulit dan Sepatu	500	1	
Toko Pakaian	500	1	
Pasar Swalayan	500	1 atau 2	Pencahayaan pada bidang vertikal pada rak barang.
Toko Alat Listrik (TV, Radio, Mesin Cuci, dan lain-lain)	250	1 atau 2	
<b>STRI (Umum)</b>			
Ruang Parkir	50	3	
Gudang	100	3	
Pekerjaan Kasar	100 ~ 200	2 atau 3	
Pekerjaan Sedang	200 ~ 500	1 atau 2	
Pekerjaan Halus	500 ~ 1000	1	
Pekerjaan Amat Halus	1000 ~ 2000	1	
Pemeriksaan Warna	750	1	
<b>Rumah Ibadah</b>			
Masjid	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat.
Gereja	200	1 atau 2	
Vihara	200	1 atau 2	

e) Jenis Lampu

Pada SNI 03-6575-2001 jenis lampu dibagi menjadi dua golongan, yaitu: lampu pijar dan lampu pelepasan gas. Jenis lampu listrik dibedakan menjadi dua yaitu lampu pijar dan lampu pelepasan gas (SNI 03-6575-2001).

## 1) Lampu Pijar

Lampu pijar menghasilkan cahayanya dengan pemanasan listrik dari kawat filamennya pada temperatur yang tinggi. Temperatur ini memberi radiasi dalam daerah tampak dari spektrum radiasi yang dihasilkan. Komponen utama lampu pijar terdiri dari : filamen, bola lampu, gas pengisi dan kaki lampu (fitting).

### a. Filamen

Makin tinggi temperatur filamen, makin besar energi yang jatuh pada spektrum radiasi tampak dan makin besar efikasi dari lampu. Pada saat ini jenis filamen yang dipakai adalah tungsten.

### b. Bola Lampu

Filamen suatu lampu pijar ditutup rapat dengan selubung gelas yang dinamakan bola lampu. Bentuk bola lampu bermacam-macam dan juga warna gelasnya. Bentuk bola (bentuk A), jamur (bentuk E), bentuk lilin dan lustre dengan bola lampu bening, susu atau buram dan dengan warna merah, hijau, biru atau kuning (SNI No. 04-1704-1989 ).

### c. Gas Pengisi

Penguapan filamen dikurangi dengan diisinya bola lampu dengan gas inert. Gas yang umumnya dipakai adalah Nitrogen dan Argon.

### d. Kaki Lampu

Untuk pemakaian umum, tersedia dua jenis yaitu: kaki lampu berulir dan kaki lampu bayonet, yang diidentifikasi dengan huruf E (edison) dan B (Bayonet), selanjutnya diikuti dengan angka yang menyatakan diameter kaki lampu dalam milimeter

(E27, E14 dan lain-lain). Bahan kaki lampu dari alumunium atau kuningan.

Terdapat dua jenis lampu pijar khusus yaitu lampu reflektor dan lampu halogen:

i. Lampu Reflektor

Lampu pijar yang mempunyai reflektor yang terbuat dari lapisan metal tipis pada permukaan dalam dari bola lampu yang memberikan arah intensitas cahaya yang dipilih. Reflektor dalam tidak boleh rusak, korosi atau terkontaminasi. Ada dua jenis lampu berreflektor yaitu jenis Pressed glass dan jenis Blown bulb, yaitu:

- Lampu Pressed glass, adalah lampu yang kokoh dan gelas tahan panas. Gelas depan mempunyai beberapa jenis pancaran cahaya seperti spot, flood, wide flood. Lampu ini dapat dipasang langsung sebagai pasangan instalasi luar, tahan terhadap cuaca.
- Lampu Blown bulb, menyerupai lampu pressed glass, tetapi lampu ini hanya dipasang di dalam ruangan.

ii. Lampu Halogen

Lampu Halogen adalah Lampu pijar biasa yang mempunyai filamen temperatur tinggi dan menyebabkan partikel tungsten akan menguap serta berkondensasi pada dinding bola lampu yang selanjutnya mengakibatkan penghitaman. Lampu halogen berisi gas halogen (iodine, chlorine, chromine) yang dapat mencegah penghitaman lampu.

## 2) Lampu Pelepasan Gas

Lampu ini bekerja berdasarkan pelepasan elektron secara terus menerus di dalam uap yang diionisasi. Kadang juga dikombinasikan dengan fosfor yang dapat berpendar. Pada umumnya lampu ini tidak dapat bekerja tanpa balast sebagai pembatas arus pada sirkit lampu.

Lampu pelepasan gas mempunyai tekanan gas tinggi atau tekanan gas rendah. Gas yang dipakai adalah merkuri atau natrium. Salah satu lampu pelepasan gas tekanan rendah dan memakai merkuri adalah lampu fluoresen tabung atau disebut TL (Tube Lamp). Pada lampu fluoresen tabung, sebagian besar cahayanya dihasilkan oleh bubuk fluoresen pada dinding bola lampu yang diaktifkan oleh energi ultraviolet dari pelepasan energi elektron. Umumnya lampu ini berbentuk panjang yang mempunyai elektroda pada kedua ujungnya, berisi uap merkuri pada tekanan rendah dengan gas inert untuk penyalanya.

Jenis fosfor pada permukaan bagian dalam tabung lampu menentukan jumlah dan warna cahaya yang dihasilkan. Lampu fluoresen mempunyai diameter antara lain 26 mm dan 38 mm, mempunyai bermacam-macam warna; merah, kuning, hijau, putih, daylight dan lain-lain serta tersedia dalam bentuk bulat (TLE).

Bentuk lampu fluoresen dapat berbentuk miniatur dan ada yang dilengkapi dengan balast dan starter dalam satu selungkup gelas dan kaki lampunya sesuai dengan kaki lampu pijar. Lampu ini memakai balast elektronik atau balast konvensional dan disebut lampu fluoresen kompak. Lampu ini mengkonsumsi hanya 25% energi dibandingkan dengan lampu pijar untuk fluks luminus yang sama serta umurnya lebih panjang.

## 2.4 Perancangan Instalasi Pendingin Ruangan

### 2.4.1 Prinsip Dasar Perancangan Instalasi Pendingin Ruangan

Produk	Nomor SNI	Penjelasan	Regulasi pemberlakuan wajib
Tata Udara (AC)	SNI-03-6390-2000	Konservasi Energi Sistem Tata Udara	Peraturan Menteri PU No. 29/PRT/2006
	SNI-03-6572-2001	Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi danPengkondisian Udara pada Bangunan Gedung.	

Sumber: Data BSN

Penentuan hasil kebutuhan beban AC melalui analisis perhitungan yang tepat sangat penting dalam perancangan pendingin ruangan untuk menciptakan suasana yang nyaman dan menghemat energi. Pemilihan kebutuhan AC juga harus mempertimbangkan optimalisasi penggunaan energi melalui faktor keadaan ruangan yang dipengaruhi oleh lokasi ruang, lantai dasar atau lantai atas, arah sinar matahari dan tingkat kebutuhan suhu pada ruangan tersebut.

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, dalam memperoleh kenyamanan dan keamanan bagi pengguna dan penghuni ruangan yang berada maupun yang menempati gedung tersebut maka perlunya perencanaan pemasangan instalasi yang sesuai standar. Standar tersebut berlaku terhadap kinerja peralatan dan komponen sesuai kriteria penggunaan energi yang efektif. Kebutuhan kapasitas penggunaan AC ditentukan dengan perhitungan BTU (British Thermal Unit).

Kebutuhan kapasitas penggunaan AC ditentukan dengan perhitungan BTU (British Thermal Unit), namun secara umum kebutuhan beban AC dikenal melalui angka PK (Paard Kracht/Daya Kuda/Horse Power). Sebenarnya PK bukan merupakan satuan

kebutuhan daya pada AC, melainkan satuan daya pada compressor AC. Namun besaran PK lebih dikenal ketimbang Btu/hr secara umum oleh masyarakat awam. Berdasarkan hal tersebut maka untuk menghitung dan menyesuaikan daya pendingin AC maka perlu dilakukan konversi Btu/hr – PK. Berikut dibawah ini persamaan konversi Btu/hr – PK:

$$\text{Konversi PK} = \frac{\text{Total Btu/h}}{9000} \quad (\text{rumus 2.5})$$

Adapun perhitungan Kebutuhan kapasitas penggunaan AC dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Total Btu/h} = A \times k \quad (\text{rumus 2.6})$$

Dimana :

Btu/h = Kebutuhan kapasitas penggunaan AC

A = Luas ruangan (m<sup>2</sup>)

k = Ketetapan keadaan ruang (btu)

Ketetapan keadaan ruang dipengaruhi oleh faktor lokasi ruang, lantai dasar atau lantai atas, arah sinar matahari dan tingkat keinginan suhu. Berikut dibawah ini nilai ketetapan keadaan ruang (btu) serta penjelasannya:

Tabel 2.4. Ketetapan Keadaan Ruang Kapasitas Penggunaan AC

Ketetapan Keadaan Ruang	Keterangan
k = 500 btu	AC dipasang hanya untuk koridor kantor, koridor lift, dan tempat yang tidak membutuhkan suhu ruangan dingin, suhu yang diinginkan sekitar 26-27 <sup>0</sup> C
k = 600 btu	<p>Keadaan ruang terkena sinar matahari langsung dilantai dasar atau tidak terkena sinar matahari langsung dilantai atas, ruangan ditempati oleh maksimal 2 orang dewasa, suhu ruangan yang diinginkan sekitar 24-25<sup>0</sup>C.</p> <p>Berdasarkan PMK-No.24-2016 hal 128 bahwa salah satu ruangan fasilitas kesehatan ruang fisioterapi dan kebutuhan terapi lainnya memiliki standar temperature minimal sekitar 24-27<sup>0</sup>C.</p> <p>Berdasarkan PMK-No.24-2016 hal 170 dan 175 bahwa salah satu ruangan fasilitas kesehatan ruang penyimpanan obat dan <i>clean room</i> lainnya memiliki standar temperature minimal sekitar 24-27<sup>0</sup>C.</p>
k = 700 btu	Ruangan dilantai dasar tapi ada jendela besar, banyak jendela, dan tembok terkena sinar matahari secara langsung saat siang/sore, kamar terletak dilantai atas terkena sinar matahari, ruangan ditempati oleh lebih dari 2 orang dewasa, suhu ruangan yang diinginkan sekitar 22-23 <sup>0</sup> C.
k = 800 btu	<p>Ruangan memiliki atap berupa beton atau bahan asbes dengan kondisi panas saat siang hari, suhu ruangan yang diinginkan sekitar 21-24<sup>0</sup>C.</p> <p>Berdasarkan PMK-No.24-2016 hal 75 dan 93 bahwa ruangan fasilitas kesehatan bagi pasien Operasi dan Bersalin memiliki standar temperature minimal sekitar 19-24<sup>0</sup>C.</p>
k = 1000 btu	Ruangan terkena sinar matahari secara langsung, suhu ruangan yang diinginkan sekitar lebih dari 21 <sup>0</sup> C.

## 2.5 Perancangan Instalasi Sistem Proteksi Petir

### 2.5.1 Prinsip Dasar Perancangan Instalasi Sistem Proteksi Petir

<b>Produk</b>	<b>Nomor SNI</b>	<b>Judul SNI</b>	<b>Regulasi pemberlakuan wajib</b>
Penangkal Petir	SNI-03-7015-2004	Sistem Proteksi Petir pada Bangunan	Permen-Tenaga Kerja No.02/1989
	IEC 1024-1-1	Persamaan Rumus: ( $N_d \leq N_c$ ); tidak perlu proteksi ( $N_d > N_c$ ); perlu proteksi	

Sumber: Data BSN

### 2.5.2 Sistem Proteksi Petir

Sistem Proteksi Petir (SPP) merupakan suatu sistem yang dirancang sesuai dengan standar yang berlaku, dimana SPP ini mempunyai fungsi pokok yaitu untuk memproteksi kehidupan, harta benda, dan peralatan dari kerusakan akibat petir. (SNI 03-7015 Tahun 2004). Pemasangan sistem proteksi petir yang mengacu pada SNI 03-7015 tahun 2004 tentang sistem proteksi pada bangunan gedung yaitu sistem EF. Pada Rumah Sakit Bhakti Asih Brebes proteksi petir yang akan dipasang adalah E.F Lightning Protection. Sistem E.F Lightning Protection adalah menggunakan struktur konduktor penangkal petir E.F memastikan proses perpindahan arus petir yang aman dari terminal menuju tanah tanpa “slideflashing” dan “skin effect” yang berbahaya bagi struktur yang akan dilindungi.

### 2.5.3 Pemilihan Tingkat Sistem Proteksi Petir

Pemilihan tingkat sistem proteksi petir bertujuan untuk mengurangi resiko kerusakan akibat sambaran petir langsung ke gedung. Tingkat proteksi yang mencukupi untuk SPP adalah dengan dasar frekuensi sambaran petir langsung daerah setempat ( $N_d$ ) yang diperkirakan ke bangunan gedung yang akan di proteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang dibolehkan ( $N_c$ ). Adapun perkiraan frekuensi sambaran petir langsung berdasarkan (IEC 1024-1-1) dengan persamaan sebagai berikut:

$$Nd = Ng \times Ae \times 10^{-6} \text{ (rumus 2.7)}$$

$$Ng = 4 \times 10^{-2} \times T_d^{1,26} \text{ (rumus 2.8)}$$

$$Ae = ab + 6h(a+b) + 9 \pi h^2 \text{ (rumus 2.9)}$$

Keterangan:

Ng = densitas sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan, samabaran petir per kilometer persegi dalam satu tahun, dalam daerah setempat

Ae = Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung

Td = Hari guruh rata-rata pertahun daerah setempat

a = Panjang atap gedung (m)

b = Lebar atap gedung (m)

h = Tinggi atap gedung (m)

Tahap pertama dalam prosedur pemilihan SPP adalah dengan melakukan pertimbangan sesuai rancangan, dengan mengetahui terlebih dahulu data dimensi bangunan gedung dan penempatan, aktifitas badai Guntur (Ng) didaerah yang dipertimbangkan, dan harus menentukan klasifikasi bangunan gedung. Setelah semua data telah didapat, maka analisis efisiensi SPP dapat ditentukan dan tingkat proteksi yang dibutuhkan dapat diketahui. Adapun pertimbangan penentuan perlu atau tidaknya SPP pada suatu bangunan melalui perbandingan sebagai berikut:

- 1) Jika,  $Nd \leq Nc$ , maka tidak diperlukan SPP.
- 2) Jika,  $Nd > Nc$ , maka SPP dengan efisiensi  $E = 1 - (Nc/Nd)$

$$E \geq 1 - \frac{Nc}{Nd} \text{ (rumus 2.10)}$$

Berikut tabel hubungan Efisiensi dan Tingkat Proteksi:

Tabel 2.5 Tingkat Proteksi SPP  
Sumber: SNI 03-7015-20014 tab. 5.4.4.

Tingkat proteksi	Efisiensi SPP <i>E</i>
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Tabel 2.6 Tingkat Isokeraunik Indonesia  
Sumber: Data BMG, 1999

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Banyuwangi	101	27.56	Sedang
2.	Bawean	141	38.68	Sedang
3.	Bogor	201	55.15	Tinggi
4.	Cilacap	85	23.29	Rendah
5.	Citeko	227	62.30	Tinggi
6.	Curug	220	60.22	Tinggi
7.	Indramayu	187	51.23	Tinggi
8.	Jakarta	193	52.88	Tinggi
9.	Jatiwangi	189	51.78	Tinggi
10.	Kalianget	166	45.45	Sedang
11.	Lembang	132	36.05	Sedang
12.	Semarang	148	40.63	Sedang
13.	Serang	112	30.61	Sedang
12.	Surabaya	159	43.56	Sedang
15.	Tegal	198	54.34	Tinggi

Untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi, maka tulisan ini menggunakan metode-metode yang terdapat didalam SNI 03-7015-2004, yaitu :

1. Metode sudut proteksi (Protective Angle Method)
2. Metode bola bergulir (Rolling Sphere Method)
3. Metode jala (Mesh Sized Method)

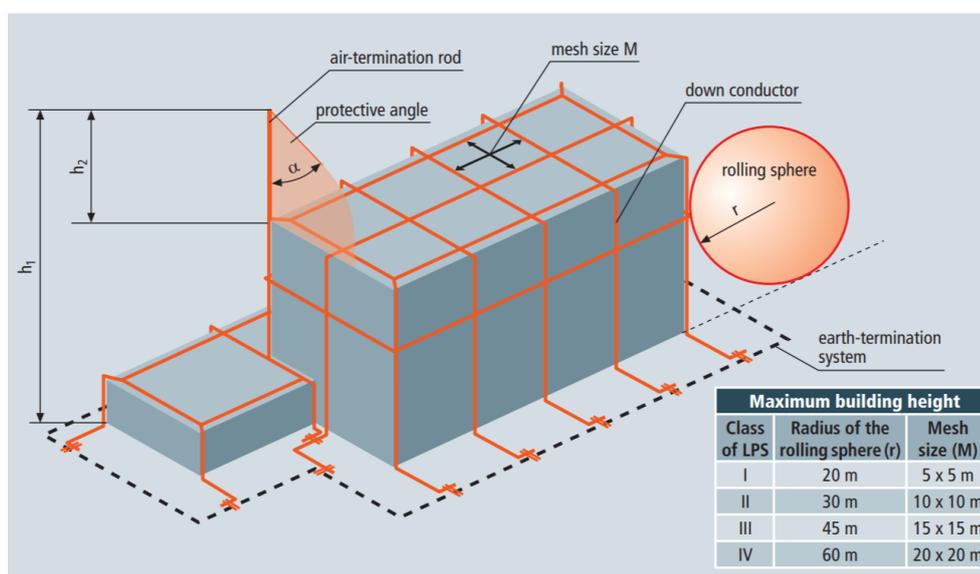
Metode proteksi sebaiknya dipilih oleh perancang proteksi petir dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a) Metode sudut proteksi (Protective Angle Method) cocok untuk bangunan gedung atau bagian kecil dari bangunan gedung yang lebih besar. Metode ini tidak cocok untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang sesuai dengan tingkat proteksi sistem proteksi petir (SPP) yang dipilih.

- b) Metode bola gulir (Rolling Sphere Method) cocok untuk bentuk bangunan gedung yang rumit.
- c) Metode jala (Mesh Sized Method) dipakai untuk keperluan umum dan khususnya cocok untuk proteksi struktur dengan permukaan datar.

Dilihat dari ketiga metode diatas, maka dalam perencanaan terminasi udara pada bangunan, ketiga metode diatas dapat dikombinasikan untuk membentuk zonaproteksi dan meyakinkan bahwa bangunan tersebut terproteksi seluruhnya

Berikut dibawah ini perbedaan dari metode-metode proteksi penangkal petir:



Gambar 2.1 Metode Sistem Proteksi Petir Gedung Bertingkat  
(Sumber: [www.dehn-international.com/lightning-protection-guide-63](http://www.dehn-international.com/lightning-protection-guide-63))

Dari ketiga metode berdasarkan penjelasan gambar tersebut, pemilihan metode rolling sphere menjadi pilihan dalam menghitung radius proteksi/zona proteksi. Metode rolling sphere atau bola bergulir (model elektrojeometris) dengan pertimbangan metode ini dapat melindungi tidak hanya bangunannya saja akan tetapi seolah-olah bola dengan radius yang bergulir diatas permukaan sekeliling struktur bangunan dan diatas struktur bangunan ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau permukaan yang berhubungan langsung dengan bumi.

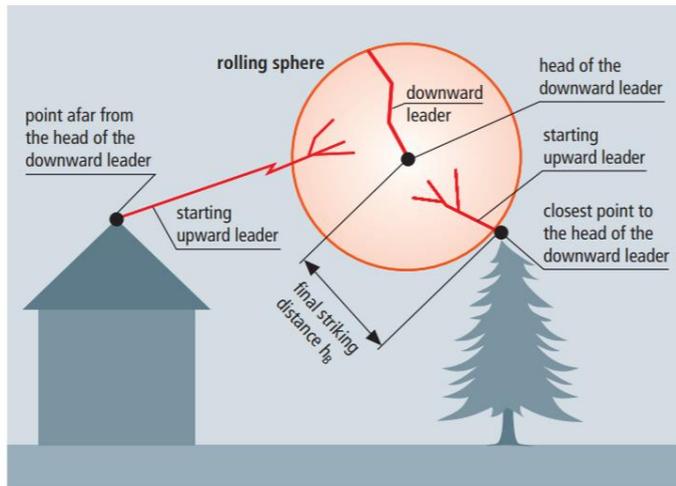


Figure 5.1.1.1 Starting upward leader defining the point of strike



Figure 5.1.1.2 Model of a rolling sphere;  
source: Prof. Dr. A. Kern, Aachen

### Gambar 2.2 Metode Bola Bergulir

(Sumber: [www.dehn-international.com/lightning\\_protection\\_guide\\_63](http://www.dehn-international.com/lightning_protection_guide_63))

Untuk metode bola bergulir sudah didapatkan dari gambar Metode Sistem Proteksi Petir Gedung Bertingkat, yaitu untuk tingkat proteksi level III radius proteksinya adalah sebesar 45 m. Maka untuk arus puncaknya ( $I$ ) dapat dicari melalui persamaan:

$$R (m) = 10 \times I^{0,65} \text{ (rumus 2.11)}$$

Keterangan:

R = Jari-jari bola gulir

I = Arus puncak petir

Adapun luas daerah proteksi/zona proteksi yang dapat dilindungi dapat diketahui melalui persamaan:

$$Ax = \pi \times R^2 \text{ (rumus 2.12)}$$

Keterangan:

R = Jari-jari bola gulir

Ax = Luas zona proteksi

$\pi = 3,14$

Dengan sudut lindung sebesar:

$$a^{\circ} = \text{Sin}^{-1} \left( 1 - \frac{h}{R} \right) \text{ (rumus 2.13)}$$

Keterangan:

R = Jari-jari bola gulir

$a^{\circ}$  = Sudut Lindung

$h$  = tinggi bangunan

Maka perbandingan luas daerah yang terproteksi adalah perbandingan dari luas zona proteksi ( $A_x$ ) dan luas bangunan ekivalen yang akan diproteksi ( $A_e$ ) Apabila persentase  $A_x < A_e$  maka untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, harus dipasang lagi dengan penyalur petir tambahan sebanyak:

$$\text{Kebutuhan jumlah SPP} = \left( \frac{\text{luas area } (A_e)}{\text{Luas daerah proteksi } (A_x)} \right) \text{ (rumus 2.14)}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan jarak antar terminasi dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2} \text{ (rumus 2.15)}$$

Keterangan:

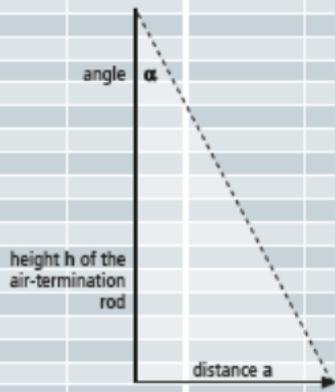
R = Jari-jari bola gulir

$d$  = Jarak antar terminasi udara

$p$  = Jarak puncak tertinggi terminasi udara dengan bola gulir

Berikut dibawah ini merupakan tabel persamaan sudut lindung dan tinggi terminasi udara berdasarkan tingkat proteksinya:

Height of the air-termination rod h in m	Class of LPS I		Class of LPS II		Class of LPS III		Class of LPS IV	
	Angle $\alpha$	Distance a in m	Angle $\alpha$	Distance a in m	Angle $\alpha$	Distance a in m	Angle $\alpha$	Distance a in m
1	71	2.90	74	3.49	77	4.33	79	5.14
2	71	5.81	74	6.97	77	8.66	79	10.29
3	66	6.74	71	8.71	74	10.46	76	12.03
4	62	7.52	68	9.90	72	12.31	74	13.95
5	59	8.32	65	10.72	70	13.74	72	15.39
6	56	8.90	62	11.28	68	14.85	71	17.43
7	53	9.29	60	12.12	66	15.72	69	18.24
8	50	9.53	58	12.80	64	16.40	68	19.80
9	48	10.00	56	13.34	62	16.93	66	20.21
10	45	10.00	54	13.76	61	18.04	65	21.45
11	43	10.26	52	14.08	59	18.31	64	22.55
12	40	10.07	50	14.30	58	19.20	62	22.57
13	38	10.16	49	14.95	57	20.02	61	23.45
14	36	10.17	47	15.01	55	19.99	60	24.25
15	34	10.12	45	15.00	54	20.65	59	24.96
16	32	10.00	44	15.45	53	21.23	58	25.61
17	30	9.81	42	15.31	51	20.99	57	26.18
18	27	9.17	40	15.10	50	21.45	56	26.69
19	25	8.86	39	15.39	49	21.86	55	27.13
20	23	8.49	37	15.07	48	22.21	54	27.53
21			36	15.26	47	22.52	53	27.87
22			35	15.40	46	22.78	52	28.16
23			36	16.71	47	24.66	53	30.52
24			32	15.00	44	23.18	50	28.60
25			30	14.43	43	23.31	49	28.76
26			29	14.41	41	22.60	49	29.91
27			27	13.76	40	22.66	48	29.99
28			26	13.66	39	22.67	47	30.03
29			25	13.52	38	22.66	46	30.03
30			23	12.73	37	22.61	45	30.00
31					36	22.52	44	29.94
32					35	22.41	44	30.90
33					35	23.11	43	30.77
34					34	22.93	42	30.61
35					33	22.73	41	30.43
36					32	22.50	40	30.21
37					31	22.23	40	31.50
38					30	21.94	39	30.77
39					29	21.62	38	30.47
40					28	21.27	37	30.14
41					27	20.89	37	30.90
42					26	20.48	36	30.51
43					25	20.05	35	30.11
44					24	19.59	35	30.81
45					23	19.10	34	30.35
46							33	29.87
47							32	29.37
48							32	29.99
49							31	29.44
50							30	28.87
51							30	29.44
52							29	28.82
53							28	28.18
54							27	27.51
55							27	28.02
56							26	27.31
57							25	26.58
58							25	27.05
59							24	26.27
60							23	25.47



Gambar 2.3 Persamaan sudut lindung dan tinggi terminasi udara SPP (Sumber: IEC 62305-3)

Langkah selanjutnya menentukan komponen konduktor penyalur, berdasarkan IEC 62305 bahwa jarak pemisahan minimal antar konduktor dapat ditentukan melalui tingkat proteksinya sebagai berikut:

Tabel 2.7 Jarak pemisahan minimal antar konduktor penyalur  
(Sumber: IEC 62305-3)

Class of LPS	Typical distance
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Kemudian menentukan ikatan penyama potensial (IPP) untuk mengurangi kebakaran dan ledakan serta meningkatkan keselamatan di dalam ruangan yang diproteksi, berikut tabel luas penampangnya:

Tabel 2.8 Luas penampang minimum konduktor IPP  
(Sumber: SNI 03-7015-2004 tabel 5 dan 6 hal. 34)

Tingkat Proteksi	Bahan	Luas Penampang minimum konduktor IPP penyalur sebagian besar arus petir (mm <sup>2</sup> )	Luas Penampang minimum konduktor IPP penyalur sebagian arus petir lebih kecil (mm <sup>2</sup> )
I sampai IV	Cu	16	6
	Al	25	10
	Fe	50	16

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai kedekatan instalasi ke SPP untuk mencegah terjadinya bahaya apabila IPP kurang bekerja maksimal melalui persamaan berikut:

$$s = k_i \times \frac{k_c}{k_m} \times \Delta h \quad (\text{rumus 2.16})$$

Keterangan:

$s$  = Jarak pemisah antara SPP dan instalasi logam

$k_i$  = Tergantung pada tingkat proteksi SPP dipilih pada tabel 2.9

$k_c = 1$ , tergantung pada konfigurasi dimensi (SNI 03-7015-2004, ayat 6.6.2.3)

$k_m$  = Tergantung pada bahan pemisah berdasar tabel 2.10

$\Delta h$  = Jarak sepanjang konduktor penyalur dari titik terdekatnya yang dipertimbangkan ke titik IPP terdekat.

Tabel 2.9 kedekatan instalasi ke SPP, nilai koefisien  $k_i$

(Sumber: SNI 03-7015-2004 tabel 7 hal. 36)

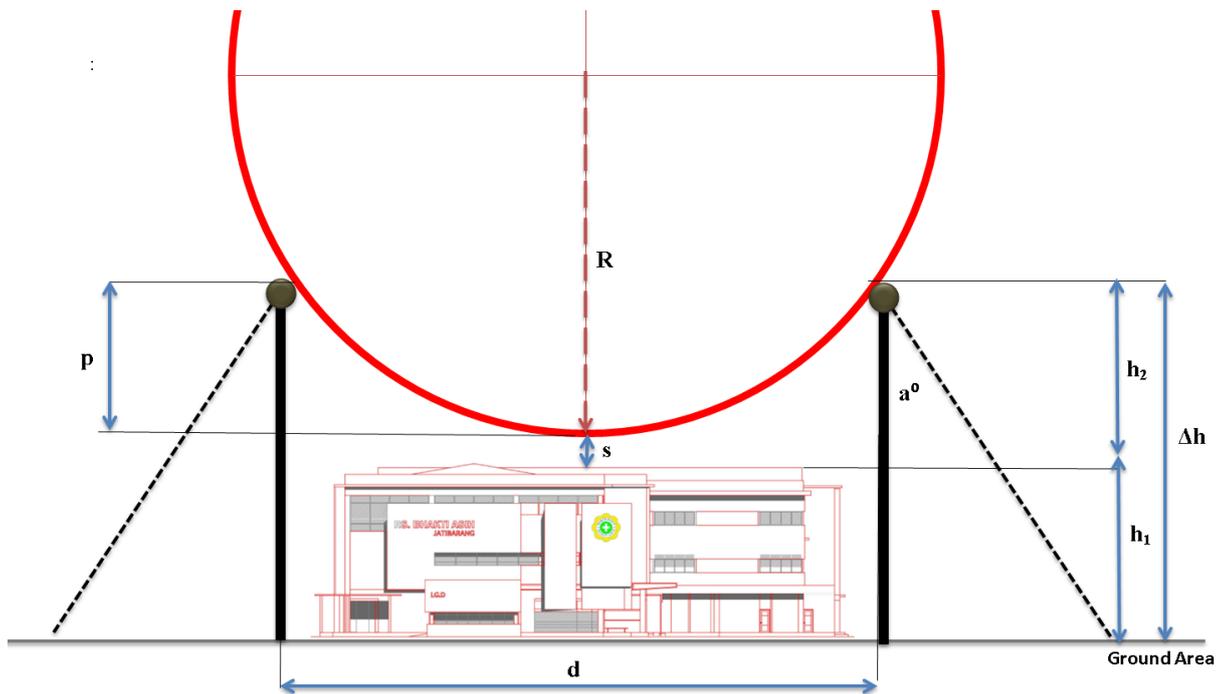
Tingkat proteksi	$k_i$
I	0.1
II	0.075
III dan IV	0.05

Tabel 2.10 kedekatan instalasi ke SPP, nilai koefisien  $k_m$

(Sumber: SNI 03-7015-2004 tabel 8 hal. 36)

Bahan	$k_m$
Udara	1
Padat	0.5

Adapun ilustrasi mengenai letak pemasangan terminasi udara dengan letak bangunan berdasarkan metode bola gulir dan sudut lindung sebagai berikut:



Gambar 2.4 Ilustrasi letak pemasangan terminasi udara dengan letak bangunan

Keterangan:

$R$  = Jari-jari bola gulir

$a^\circ$  = Sudut lindung

$s$  = Jarak pemisah antara SPP dan instalasi logam

$d$  = Jarak antar terminasi udara

$p$  = Jarak puncak tertinggi terminasi udara dengan bola gulir

$h_1$  = Tinggi bangunan yang diproteksi

$h_2$  = Tinggi atap bangunan ke puncak terminasi udara SPP

$\Delta h$  = Jarak sepanjang konduktor penyalur dari titik terdekatnya yang dipertimbangkan ke titik IPP terdekat.

## 2.6 Perancangan Skedul Beban

### 2.6.1 Prinsip Dasar Perancangan Skedul Beban

Produk	Nomor SNI	Penjelasan	Regulasi pemberlakuan wajib
Pemutus Sirkuit Sisa Arus Lebih (MCB/Mini Circuit Breaker)	SNI IEC 60898-1:2009 Bagian 1	Pemutus sirkit untuk proteksi arus lebih pada instalasi Rumah tangga dan sejenisnya - bagian 1: pemutus sirkit untuk operasi arus bolak-balik	Peraturan Menteri ESDM No. 2/2018
	SNI 04-6282.2-2002 Bagian 2	Perlengkapan hubung-bagi dan kontrol tegangan rendah - Bagian 2: Pemutus sirkit	
Pasokan Daya Darurat (Genset/UPS)	SNI-03-7018-2004	Sistem Pasokan Daya darurat	Peraturan Menteri Kesehatan. No. 2306/2011
	SNI-03-7019-2004	Sistem Pasokan Daya darurat menggunakan energi tersimpan (SPDDT)	
	SNI 04-7018-2004	Sistem Pasokan Daya Darurat dan Siaga	
Transformator	IEC-60076-1-2000 Edisi 2.1	International Standard - Power Transformers	Peraturan Menteri ESDM No. 10/2016
	SNI-04-6280-2001	Persyaratan Transformator Daya	

Sumber: Data BSN

### 2.6.2 Instalasi Beban Listrik

Mengacu pada PUIL 2000 bahwa prinsip dasar perancangan skedul beban listrik adalah menentukan kebutuhan kapasitas beban listrik yang akan terpasang melalui berlangganan PLN. Kebutuhan kapasitas beban listrik juga harus mempertimbangkan pemilihan penampang kabel sebagai penghantar arus yang ditentukan melalui perhitungan kapasitas hantar arus (KHA).

Berdasarkan prinsip dasar tersebut, maka perlu dilakukan analisis perhitungan dengan memperhatikan pemakaian daya total yang terpasang pada tiap kelompok MCB (Miniature Circuit Breaker) yang telah terbagi berdasarkan PP (Power Panel) disetiap lantai. Adapun langkah-langkah perancangan skedul beban listrik melalui persamaan berikut:

1. Arus beban terpasang perfasa:

Persamaan perhitungan arus beban terpasang beban listrik 1 phase:

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi} \text{ (rumus 2.17)}$$

Persamaan perhitungan arus beban terpasang beban listrik 3 phase:

$$I = \frac{P}{V_{LL} \times \cos\phi \times \sqrt{3}} \text{ (rumus 2.18)}$$

Dimana:

I = Arus Beban Terpasang

P = Total Daya Beban Terpasang

V = Tegangan Listrik PLN (Line to Netral = 220 Volt)

$V_{LL}$  = Tegangan Listrik PLN (Line to Line = 380 Volt)

$\cos\phi$  = Faktor Daya

### 2.6.3 Gardu Tegangan Menengah PLN

Daya listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) didistribusikan menuju pelanggan melalui sebuah gardu distribusi. Gardu distribusi menyalurkan daya listrik dari PLN melalui panel tegangan menengah atau medium voltage main distribution panel (MVMDP) untuk menyuplai kebutuhan listrik dalam sebuah gedung. Besarnya daya listrik yang dilsalurkan oleh PLN tergantung dengan kebutuhan dari perhitungan kebutuhan beban yang dilakukan oleh pelanggan, agar biaya yang dikeluarkan lebih efektif.

### 2.6.4 Transformator

#### 2.6.4.1 Transformator Step-Down

Transformator penurun tegangan (step down) merupakan transformator yang memiliki tegangan output pada kumparan sekundernya lebih rendah daripada tegangan input pada kumparan primernya. Jumlah lilitan sekunder pada transformator ini lebih kecil daripada jumlah lilitan primernya. Secara matematis, perbandingan antara tegangan output-input dan jumlah lilitan primer dan sekundernya adalah sebagai berikut:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \text{ (rumus 2.19)}$$

keterangan:

$N_p$  = Jumlah lilitan pada kumparan primer

$N_s$  = Jumlah lilitan pada kumparan sekunder

$V_p$  = Tegangan pada kumparan primer (Volt)

$V_s$  = Tegangan pada kumparan sekunder (Volt)

### 2.6.5 Low Voltage Main Distribution (LVMDP)

Panel utama tegangan menengah atau LVMD adalah panel distribusi induk yang menyalurkan listrik menuju Sub distribution Panel (SDP) dalam gedung dengan tegangan 380V/220V yang merupakan hasil dari penurunan tegangan dari trafo panel utama tegangan menengah maupun dari genset.



Gambar 2.5. Panel Utama Tegangan Rendah  
(sumber: <http://sentradayaabadi01.blogspot.com/>)

### 2.6.6 Sub Distribution Panel (SDP)

SDP memiliki peran dalam instalasi listrik sebagai panel yang mendistribusikan daya listrik dari panel LVMDP. SDP dilengkapi dengan Air Circuit Breaker (ACB) atau Moulded Case Circuit Breakers (MCCB) sebagai pengaman jaringan distribusi.

Adapun beberapa keuntungan terkait penggunaan SDP antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan tingkat keamanan yang lebih pada jaringan dari bahaya short circuit.
2. Menghemat proses distribusi listrik.
3. Memiliki fasilitas sebagai konversi daya dan distribusi dari sumber primer maupun sekunder untuk pendistribusian ke

berbagai perangkat eksternal dan komponen peralatan listrik lain.

4. Panel SDP memiliki rancangan untuk mendapatkan Input 3 phase dan mendistribusikan Output kombinasi 3 phase dan 1 phasa.

#### **2.6.7 Panel Hubung Bagi (PHB)**

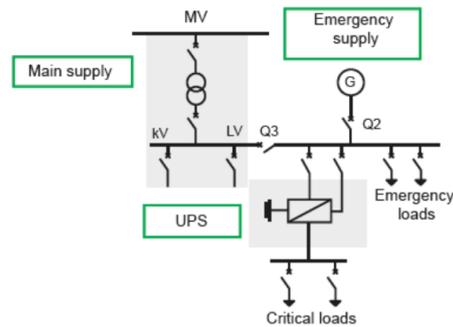
Panel merupakan suatu wadah atau tempat berupa lemari penyimpanan suatu ksatuan dari peralatan penghubung instalasi listrik, pengaman, dan pengontrolan untuk keperluan instalasi listrik. Panel hubung bagi merupakan peralatan instalasi listrik yang berfungsi menerima daya listrik dari PLN dan selanjutnya menyalurkan dan mengontrol saluran daya listrik tersebut melalui jaringan utama maupun cabang langsung ke beberapa beban yang akan disuplai daya berupa instalasi lampu dan kotak-kontak dalam suatu bangunan.

PHB memiliki peran penting dalam intalasi listrik, sehingga untuk memudahkan pengguna dalam pengoperasian dan pemeliharaan maka pemasangan PHB perlu dilakukan pada penempatan yang mudah dijangkau, dan aman dari gangguan luar.

#### **2.6.8 Genset**

Sumber daya listrik pada bangunan Rumah Sakit termasuk kategori “sistem kelistrikan esensial 3”, dimana sumber daya listrik normal dilengkapi dengan sumber daya listrik darurat untuk menggantikannya apabila terjadi gangguan pada sumber daya listrik normal.

Generator Set (genset) merupakan pembangkit listrik yang dimiliki oleh sebuah gedung untuk memenuhi kebutuhan listrik pada saat keadaan darurat, misalnya pada saat pemadaman listrik dari PLN. Genset menghasilkan tegangan setara dengan yang dihasilkan oleh panel utama tegangan menengah dari PLN.



Gambar 2.6 Emergency Generator pada LV Transformator  
(Sumber: Schneider electrical book guide)

Genset akan otomatis menyuplai daya listrik ke panel tegangan menengah ketika terjadi pemadaman listrik oleh PLN. Untuk menghidupkan genset secara otomatis, panel genset ini dilengkapi dengan AMF – ATS. AMF (Automatic Main Failure) berfungsi untuk menyalakan genset segera setelah suplai listrik dari PLN berhenti, umumnya selang beberapa detik setelah sumber listrik PLN padam. ATS (Automatics Transfer Switch) berfungsi sebagai saklar yang menghidupkan genset ketika sumber listrik dari PLN mati dan mematikan genset ketika sumber listrik dari PLN beroperasi kembali.

Pada waktu operasinya, pada distribusi listrik yang membutuhkan lebih dari satu buah genset perlu dilakukan sinkronisasi genset pada panel sinkron. Sinkronisasi Generator adalah menggabungkan atau parallel beberapa generator sehingga daya output generator menjadi satu. Bila dua sistem tegangan bolak-balik ( AC ) akan di paralel, maka kesamaan dari empat kondisi atau parameter berikut ini harus dipenuhi. Tujuan dari sinkronisasi genset adalah untuk mendapatkan daya yang lebih besar dan menghemat biaya pemakaian operasional dan menghemat biaya pembelian. Selain itu sinkronisasi genset dilakukan untuk memudahkan dalam penentuan kapasitas gensetyang diperlukan dan untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

### 2.6.9 Daya Berlangganan PLN

Tabel 2.11 Daya Terpasang (VA) Berlangganan PLN

(Sumber: pln.go.id)

<b>DAFTAR DAYA PLN</b>		
<b>DAYA 1 PHASA</b>	<b>DAYA 3 PHASA TEGANGAN RENDAH</b>	<b>DAYA 3 PHASA TEGANGAN MENENGAH</b>
1300 VA	6600 VA	240 KVA
2200 VA	10600 VA	345 KVA
3500 VA	23000 VA	555 KVA
5500 VA	33000 VA	690 KVA
7700 VA	41500 VA	865 KVA
11000 VA	53000 VA	1110 KVA
13200 VA	66000 VA	1385 KVA
16500 VA	82500 VA	1730 KVA
22000 VA	13100 VA	2180 KVA
	14700 VA	2770 KVA
	164000 VA	3465 KVA
	197000 VA	4330 KVA
		5500 KVA
		6930 KVA
		8660 KVA
		dst.

## 2.7 Sistem Listrik 3 Fasa

Instalasi listrik pada sebuah bangunan komersil atau industri seperti pabrik, hotel, rumah sakit membutuhkan daya listrik yang cukup besar sekurang-kurangnya menggunakan panel utama tegangan menengah dari gardu induk PLN dengan tegangan 20 kV. Untuk itu diperlukan sistem listrik tiga fasa agar diperoleh keseimbangan dan stabilitas dalam pendistribusian daya yang relatif besar. Rangkaian listrik 3 fasa merupakan rangkaian listrik yang mempunyai 3 keluaran sismetris yang memiliki perbedaan sudut fasa sebesar  $120^\circ$ . Berikut ini ditunjukkan gambar gelombang keluaran sistem 3 fasa.

### 2.7.1 Hubung Bintang (Y)

Pada sistem listrik 3 fasa hubung bintang, ketiga ujung fasenya dihubungkan sehingga membentuk titik netral. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$  disebut tegangan fase atau  $V_f$ .

Fungsi dari titik netral dalam hubung bintang ini adalah untuk menghitung tegangan fase terhadap titik netralnya dan juga membentuk sistem tegangan 3 fase yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase).

### 2.7.2 Hubung Segitiga (Delta)

Pada hubung segitiga hanya dua ujung fase yang saling bertemu sehingga membentuk suatu hubungan segitiga. Dalam hubung bintang, tidak ada titik netral, maka besar tegangan saluran harus dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:

$$V_{line} = V_{fase}$$

Akan tetapi arus saluran dan arus fasa tidaklah sama dan hubungan antara kedua arus dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga:

$$I_{line} = \sqrt[3]{I_{fase}} = 1,73 I_{fase}$$

### 2.7.3. Daya pada Sistem yang Seimbang

Daya yang diberikan oleh generator 3 fase atau daya yang diserap oleh beban 3 fase, dapat diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap fasenya. Pada sistem yang seimbang, daya total sama dengan tiga kali daya tiap fase, karena daya pada tiap fasenya adalah sama. Jika sudut yang terletak di antara arus dan tegangan adalah  $\theta$ , maka besarnya daya per fasa adalah:

$$P_{fase} = V_{fase} \cdot I_{fase} \cdot \cos \theta$$

Dan besarnya daya total adalah penjumlahan dari besarnya daya tiap fase, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_t = 3 \cdot V_{fase} \cdot I_{fase} \cdot \cos \theta$$

Pada hubung bintang, dikarenakan besarnya tegangan saluran adalah  $1,73V_{fase}$  maka tegangan perfasenya menjadi  $V_{line}/1,73$ , dengan nilai arus saluran sama dengan arus fase,  $I_L = I_f$ , maka daya total ( $P_{total}$ ) pada rangkaian hubung bintang (Y) adalah:

$$P_t = 3 \cdot V_L/1,73 \cdot I_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

Pada hubung segitiga, dengan kondisi besaran tegangan line yang sama dengan tegangan fasanya ( $V_L = V_{fase}$ ), dan besaran arusnya  $I_{line} = 1,73I_{fase}$ , sehingga arus perfasanya menjadi  $I_L/1,73$ , maka daya total ( $P_{total}$ ) pada rangkaian segitiga adalah:

$$P_t = 3 \cdot I_L/1,73 \cdot V_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

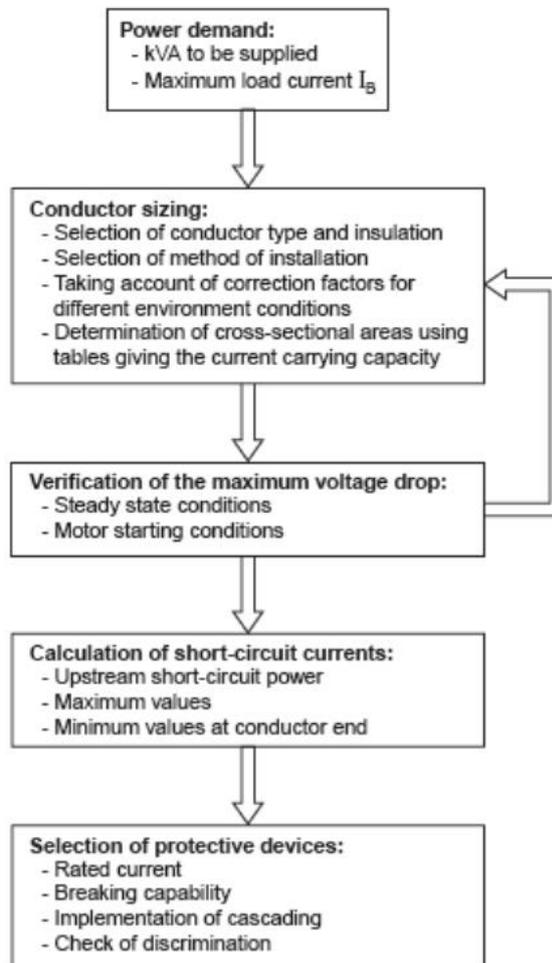
Dari persamaan total daya pada kedua jenis hubungan terlihat bahwa besarnya daya pada kedua jenis hubungan adalah sama, yang membedakan hanya pada tegangan kerja dan arus yang mengalirinya saja, dan berlaku pada kondisi beban yang seimbang.

## 2.8 Perancangan Circuit Breaker

### 2.8.1 Prinsip Dasar Perancangan Circuit Breaker

Produk	Nomor SNI	Penjelasan	Regulasi pemberlakuan wajib
Pemutus Sirkuit Sisa Arus Lebih (MCB/Mini Circuit Breaker)	SNI IEC 60898-1:2009 Bagian 1	Pemutus sirkit untuk proteksi arus lebih pada instalasi Rumah tangga dan sejenisnya - bagian 1: pemutus sirkit untuk operasi arus bolak-balik	Peraturan Menteri ESDM No. 2/2018
	SNI 04-6282.2-2002 Bagian 2	Perlengkapan hubung-bagi dan kontrol tegangan rendah - Bagian 2: Pemutus sirkit	
Drop Tegangan	PUIL 2011 + Amandemen (1) 2011	Batas termal dan batas penurunan drop tegangan	Praturan Menteri Kesehatan No. 2306/XI/2011
		Low Voltage Electrical Instalation	Peraturan Menteri ESDM No. 04/20019
Kapasitas Hantar Arus (KHA)	PUIL 2011 + Amandemen (1) 2011 - BAB 2.2.8.3 - Hal 34	KHA adalah 125% arus pengenal beban penuh	

Sumber: Data BSN



**Fig. G1:** Flow-chart for the selection of cable size and protective device rating for a given circuit

Gambar 2.7 Flow Chart Menentukan Kapasitas Penghantar dan Circuit Breaker  
(Sumber: Chneider Electrical Installation Guide 2016)

Penjelasan Gambar 2.7 mengenai tahapan dalam menentukan kebutuhan circuit breaker sebagai berikut:

1. Menghitung kebutuhan beban total dalam satuan daya (kVA) dan menghitung arus beban tersambung pada tiap fasa, kemudian tentukan nilai  $I_{\text{Beban}}$  yaitu Arus Beban Tersambung dengan nilai terbesar pada fasa.

2. Menentukan jenis penghantar.
3. Menidentifikasi jatuh tegangan yang mungkin terjadi pada penghantar.
4. Menghitung arus hubung singkat dari panel utama hingga panel distribusi.
5. Menentukan jenis proteksi yang dibutuhkan

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat dapat berpotensi menghasilkan kebakaran apabila tidak segera diatasi, untuk itu diperlukan sebuah proteksi terhadap arus/beban yang berlebih yaitu menggunakan MCB (Miniatur Circuit Breaker). MCB berfungsi sebagai pengaman, yaitu memutus arus yang mengalir apabila arus yang melewatinya melebihi kapasitasnya.

Nilai rating circuit breaker untuk beban listrik ditentukan dari nilai KHA penghantarnya. Misalnya, nilai KHA suatu kabel penghantar adalah sebesar 23A. Maka nilai minimal rating CB harus lebih besar daripada 23A. Sesuai brosur di pasaran, nilai rating CB yang tersedia adalah 32A (untuk MCB) dan 30A (untuk MCCB). Namun jika di kemudian hari diprediksikan akan terjadi penambahan beban listrik, bisa dipasang CB dengan rating 40A dan seterusnya.

### **2.8.2 Kapasitas Hantar Arus (KHA)**

Kemampuan Hantar Arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau Kuat Hantar Arus (menurut SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada kontruksi penghantar.

Tabel 2.12. Kapasitas Hantai Arus (KHA)

Sumber bab 2 halaman 14 Tabel 2.10 Buku PLN - Buku 1

Jenis Kabel	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA terus menerus					
		Berinti Tunggal		Berinti Dua		Berinti Tiga dan Empat	
		di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (A)	di udara (A)
<b>NYY NYBY</b> <b>NYFGbY</b> <b>NYCY</b> <b>NYCWFY</b> <b>NYSY</b> <b>NYCEY</b> <b>NYSEY</b> <b>NYHSY</b> <b>NYKY</b> <b>NYKBY</b> <b>NYKFGbY</b> <b>NYKRGbY</b>	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
	10	122	79	92	66	75	60
	16	160	105	121	89	98	80
	25	206	140	153	118	128	106
	35	249	174	187	145	157	131
	50	296	212	222	176	185	159
	70	365	269	272	224	228	202
	95	438	331	328	271	275	244
	120	499	386	375	314	185	282
	150	561	442	419	361	353	324
	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	7707	525	490	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

Kemampuan Hantar Arus menjadi acuan untuk menentukan luas penampang kabel yang tepat untuk sebuah sistem instalasi listrik. Berikut langkah selanjutnya setelah KHA telah ditentukan dan jenis kabel dengan luas penampangnya telah ditentukan, maka mencari nilai resistansi dan induktansi melalui brosur kabel seperti contoh dibawah ini merupakan brosur kabeel NYY berinti 4:

### Electrical Data

Nom. Cross Sect.	Conductor		Inductance	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec
	DC	AC		In air	In ground	
	Resistance at 20°C	Resistance at 70°C		Max. (A)	Max. (A)	
(mm <sup>2</sup> )	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)	(mH/km)	Max. (A)	Max. (A)	Max. (kA)
1.5	12.1	14.478	0.328	22	27	0.17
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	68	77	1.15
16	1.15	1.376	0.255	90	99	1.84
25	0.727	0.870	0.255	121	128	2.88
35	0.524	0.627	0.246	149	154	4.03
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

\* Further information about rating factor for certain cable arrangement can be found on supplementary technical information



Gambar 2.8 Brosur Kabel jenis NYY 4 inti

Kemampuan Hantar Arus menjadi acuan untuk menentukan luas penampang kabel yang tepat untuk sebuah sistem instalasi listrik. Berikut langkah selanjutnya setelah KHA telah ditentukan dan jenis kabel dengan luas penampangnya telah ditentukan, maka mencari nilai resistansi dan induktansi melalui brosur kabel seperti contoh dibawah ini merupakan brosur kabeel NYY berinti 4:

Pemilihan luas penampang penghantar dipengaruhi juga oleh sifat lingkungan yang merupakan kondisi dimana penghantar itu dipasang. Faktor-faktor berikut harus diperhatikan:

- Penghantar dapat dipasang atau ditanam dalam tanah dengan memperhatikan kondisi tanah yang basah, kering atau lembab. Ini akan berhubungan dengan pertimbangan bahan isolasi penghantar yang digunakan.
- Suhu lingkungan seperti suhu kamar dan suhu tinggi, penghantar yang digunakan akan berbeda.
- Kekuatan mekanis, misalnya: pemasangan penghantar di jalan raya berbeda dengan di dalam ruangan atau tempat tinggal. Penghantar yang terkena beban mekanis, harus dipasang di dalam pipa baja atau pipa beton sebagai pelindungnya.

Pemilihan luas penampang penghantar harus mempertimbangkan hal-hal berikut ini:

Menurut PUIL 2000 pasal 5.5.3.1 bahwa “penghantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125% arus pengenal beban penuh.”

- Untuk Arus Searah :  $I_n = P/V$  (A)
- Untuk Arus Bolak-balik Satu Fasa:  $I_n = P/(V \cdot \cos \phi)$  dengan satuan (A)
- Untuk Arus Bolak-balik tiga Fasa:  $I_n = P/(3 \cdot V \cdot \cos \phi)$  dengan satuan (A)

Adapun dibawah ini merupakan rumus Kemampuan Hantar Arus (KHA) sebagai berikut:

$$I_{KHA} = 125\% \times I_n \text{ (rumus 2.20)}$$

Keterangan:

$I_{KHA}$  = Kapasitas Hantar Arus (A)

$I_n$  = Arus Pengenal Beban Penuh / Rating Circuit Breaker (A)

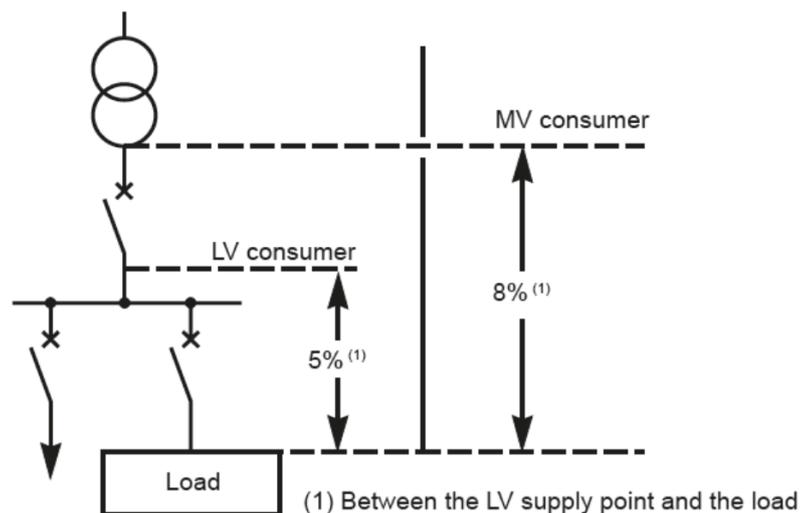
### 2.8.3 Drop Tegangan

Drop tegangan atau disebut dengan susut tegangan merupakan perbedaan antara tegangan sumber dengan tegangan di beban, karena tegangan di beban tidak sama dengan tegangan sumber yaitu tegangan di beban lebih kecil dari tegangan sumber, dapat disebabkan oleh faktor arus dan impedansi saluran.

Besarnya suatu *drop* tegangan ditentukan oleh besarnya presentase atau volt. Berdasarkan IEC 60364-7-714 rumus yang digunakan untuk mencari nilai *drop* tegangan pada saluran 3 fasa yaitu:

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

Gambar 2.9 Persamaan drop voltage (IEC 60909 tabel G.27)



Gambar 2.10 Nilai maksimum drop voltage (IEC 60364-5-52 tabel G.52.1)

Perhitungan Drop Tegangan memperhatikan besarnya resistansi kabel konduktor berdasarkan tipe insulation dan bahan konduktornya, adapun apabila luas penampang kabel konduktor  $\geq 500\text{mm}^2$  maka besarnya resistansi dihiraukan

$$R = \frac{23.7^{(1)} \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for copper}$$

$$R = \frac{37.6^{(1)} \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for aluminium}$$

Dimana (1) merupakan ketentuan nilai dari IEC 60909 berikut:

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

*Fig. G35b: Values of r as a function of the temperature, cable insulation and cable core material, according to IEC60909-0 and Cenelec TR 50480 (in  $\text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ).*

## 2.8.4 Breaking Capacity

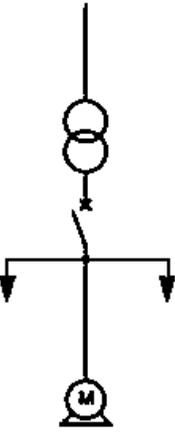
### 2.8.4.1 Prinsip Dasar Breaking Capacity

Produk	Nomor SNI	Penjelasan	Regulasi pemberlakuan wajib
Pemutus Sirkuit Sisa Arus Lebih (MCB/Mini Circuit Breaker)	SNI IEC 60898-1:2009 Bagian 1	Pemutus sirkit untuk proteksi arus lebih pada instalasi Rumah tangga dan sejenisnya - bagian 1: pemutus sirkit untuk operasi arus bolak-balik	Peraturan Menteri ESDM No. 2/2018
	SNI 04-6282.2-2002 Bagian 2	Perlengkapan hubung-bagi dan kontrol tegangan rendah - Bagian 2: Pemutus sirkit	

Sumber: Data BSN

### 2.8.4.2 Arus Hubung Singkat Instalasi

Persamaan rumus perhitungan breaking capacity dapat dihitung melalui perhitungan pada tiap saluran dengan mengetahui terlebih dahulu nilai resistansi dan induktansi pada tiap kabel.



Supply network Figure G34	$\frac{R_a}{X_a} = 0.1$	$X_a = 0.905 Z_a; Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$
Transformer Figure G35	$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$ where in $\frac{S_n \times 10^3}{U_{20}\sqrt{3}}$  $R_{tr}$ is often negligible compared to $X_{tr}$ 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)	
Three-phase maximum short circuit current in kA	$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + X^2}}$	

Gambar 2.11 Arus Hubung Singkat pada Instalasi MV/LV (Schneider Guide Book)

Nilai resistansi dihitung berdasarkan bahan konduktor pada suatu saluran kabel, dan bahan isolator yang digunakan pada kabel tersebut. Adapun diketahui bahwa nilai maksimum arus hubung singkat dapat diketahui pada suhu 20 derajat celsius. Berikut dibawah ini ketentuannya:

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

Hambatan busbar biasanya diabaikan, sehingga impedansi praktis semua reaktif, dan berjumlah sekitar 0,15 mΩ/meter panjang untuk busbar LV dengan frekuensi 50 Hz (Menggandakan jarak antar bar meningkatkan reaktansi sekitar 10% saja). Dalam praktiknya, hampir tidak mungkin untuk memperkirakan panjang busbar yang terkait oleh arus pendek downstream, sebuah switchboard.

Adapun dibawah ini merupakan contoh perhitungan breaking capacity pada tiap saluran sebagai berikut:

LV installation	R (mΩ)	X (mΩ)	RT (mΩ)	XT (mΩ)	$I_{sc} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + X^2}}$
MV network Psc = 500 MVA	0.035	0.351			
Transformer 20 kV/420 V Pn = 1000 kVA Usc = 5 % Pou = 13.3 x 10 <sup>3</sup> watts	2.35	8.5			
Single-core cables 5 m copper 4 x 240 mm <sup>2</sup> /phase	$R_c = \frac{18.51 \times 5}{4 \times 240} = 0.10$	$X_c = 0.08 \times 5 = 0.40$	2.48	9.25	Isc1 = 25 kA
Main circuit-breaker	Not considered in practice				
Busbars 10 m	Not considered in practice				
Three-core cable 100 m 95 mm <sup>2</sup> copper	$R_c = 18.51 \times \frac{100}{95} = 19.5$	$X_c = 100 \times 0.08 = 8$	22	17.3	Isc3 = 8.7 kA
Three-core cable 20 m 10 mm <sup>2</sup> copper final circuits	$R_c = 18.51 \times \frac{20}{10} = 37$	$X_c = 20 \times 0.08 = 1.6$	59	18.9	Isc4 = 3.9 kA

RT : Total resistance. XT: Total reactance. Isc : 3-phase maximum short-circuit current  
Calculations made as described in figure G36

Gambar 2.14 Arus Hubung Singkat pada instalasi LV (Schneider Guide Book)

## 2.9 Perancangan Kapasitor Bank

### 2.9.1 Kapasior Bank

Kapasitor bank merupakan rangkaian yang terdiri dari beberapa unit kapasitor yang berfungsi untuk men-supply daya reaktif dalam sebuah rangkaian instalasi listrik yang cenderung memiliki beban induktif. Kapasitor bank dipasang secara paralel pada suatu jaringan distribusi listrik dalam gedung. Ketika kapasitor diberi tegangan, maka elektron akan masuk ke dalam kapasitor hingga memenuhi kapasitas tertentu. Setelah kapasitor terpenuhi oleh elektron, maka tegangan berubah yang mengakibatkan elektron keluar dari kapasitor dan masuk ke dalam rangkaian. Elektron yang masuk ke dalam rangkaian dapat membangkitkan daya reaktif. Apabila tegangan sudah kembali normal maka elektron disimpan kembali dalam kapasitor.



Gambar 2.15 Kapasitor bank

(sumber: [www.rangkaianelektronika.org/kapasitor-bank.html](http://www.rangkaianelektronika.org/kapasitor-bank.html))

Fungsi utama dari pemasangan kapasitor bank adalah sebagai penyuplai daya reaktif pada rangkaian, selain itu terdapat beberapa keuntungan menggunakan kapasitor bank, antara lain:

- a) Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.
- b) Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi.
- c) Meningkatkan kemampuan penyaluran daya gardu-gardu distribusi.
- d) Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
- e) Meningkatkan kemampuan feeder dan peralatan yang ada pada sistem distribusi;

### 2.9.2 Perbaikan Faktor Daya

Dalam kehidupan sehari-hari, daya listrik yang dihasilkan oleh sebuah sumber merupakan daya semu ( $S$ ) dengan satuan Volt Amper ( $VA$ ) karena tidak semua daya listrik tersebut dapat digunakan. Rumus Daya Semu ialah sebagai berikut:

$$S = V \times I \text{ (Rumus 2.26)}$$

Hanya sebagian daya listrik yang dapat digunakan untuk menggerakkan motor atau memanaskan elemen pemanas, daya ini disebut daya nyata ( $P$ ) dengan satuan watt ( $W$ ). Rumus Daya Aktif sebagai berikut:

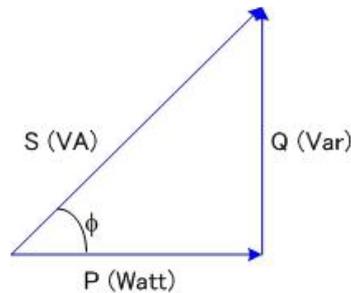
$$P = V \times I \text{ (Rumus 2.27)}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \text{ (Rumus 2.28)}$$

Sedangkan sebagian lainnya disebut daya reaktif ( $R$ ) dengan satuan volt amper reaktif ( $Var$ ) yang merupakan daya listrik yang tidak terpakai.

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \text{ (Rumus 2.29)}$$

Hubungan antara Daya Aktif, Daya Semu, dan Daya Reaktif digambarkan dengan gambar segitiga daya sebagai berikut:



Gambar 2.16 Segitiga daya

(sumber: [konversi.files.wordpress.com/2010/05/sgtg1.jpg.html](http://konversi.files.wordpress.com/2010/05/sgtg1.jpg.html))

Adapun langkah perbaikan faktor daya selanjutnya setelah nilai daya semu dan daya aktif yang berasal dari beban normal telah diketahui, maka melakukan perhitungan nilai daya semu setelah perbaikan dapat dilakukan sebagai berikut:

Menghitung daya semu baru setelah perbaikan:

$$S1 = \frac{P}{\cos \phi} \text{ (Rumus 2.30)}$$

Sehingga, didapatkan nilai daya reaktif baru sebesar:

$$Q1 = \sqrt{S1^2 - P^2} \text{ (Rumus 2.31)}$$

Langkah terakhir untuk mengetahui kapasitas kebutuhan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$QC = Q - Q1 \text{ (Rumus 2.32)}$$

Dimana:

QC = Kapasitas Kapasitor Bank yang dibutuhkan (VAR)

Q = Daya Reaktif dari Daya Beban Normal

Q1 = Daya Reaktif dari Daya Beban setelah perbaikan faktor daya