

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Berikut adalah penelitian penelitian terdahulu yang menjadi bahan acuan untuk perancangan ini.

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Iksan Santoso tahun 2014 dengan judul **Perancangan Instalasi Listrik Pada Blok Pasar Modern Dan Apartemen Di Gedung Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Malang**. Dijelaskan bahwa “Intensitas penerangan atau iluminasi pada suatu bidang adalah fluks cahaya yang jatuh pada  $1 \text{ m}^2$  dari bidang itu sendiri. Intensitas penerangan harus ditentukan berdasarkan dimana pekerjaan tersebut dilakukan”.
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Indra Z dan Ikhsan Kamil tahun 2011 dengan judul **Analisis Sistem Instalasi Listrik Rumah Tinggal Dan Gedung Untuk Mencegah Bahaya Kebakaran**. Dijelaskan bahwa “Dalam Melakukan penyambungan kabel, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu; kekokohan sambungan dari gaya tarik menarik, elektrik serta bahan kimia, jenis sambungan terminal, dan penempatan peralatan dalam pemakaian yang sesuai dengan kegunaannya”.
3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nurfitri DKK tahun 2016 dengan judul **Studi Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Bertingkat ONIH Bogor**. Dijelaskan bahwa “penggunaan MCCB dan MCB di setiap panel masih baik dibawah standar PUIL kuat hantar arus”.
4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Januar Akbar DKK tahun 2017 dengan judul **Studi Evaluasi Perencanaan Kebutuhan Daya Pada Instalasi Listrik Di Gedung Harco Glodok Jakarta**. Dijelaskan bahwa “Penggunaan MCCB atau MCB dalam sistem instalasi sangat diperlukan, mengingat keselamatan, keamanan mutlak diperlukan dan kapasitas nilai pengaman yang akan dipakai, tergantung dari besar arus yang akan mengalirinya”.

5. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agus Rianto tahun 2007 yang berjudul **Audit Energi Dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Pada Sistem Pengkondisian Udara Di Hotel Santika Premiere Semarang**. Dijelaskan bahwa “Penghematan energi pada bangunan gedung tidak dapat diperoleh dengan mengurangi tingkat kenyamanan penghuni ataupun produktivitas di lingkungan kerja. Namun, peluang hemat energi dapat dilakukan dengan memperbaiki kinerja peralatan yang terdapat didalam bangunan dan menggunakan sumber energi yang murah”.
6. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwi Songgo Panggayudi yang berjudul *Study Design Of Electrical Building Distribution*. Dijelaskan bahwa “Dalam melakukan perhitungan distribusi listrik pada bangunan, ada baiknya terlebih dahulu mengetahui spesifikasi gedung untuk mengetahui spesifikasi beban yang akan dilayani”
7. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Irmansyah tahun 2009 yang berjudul **Perancangan Instalasi Listrik Pada Rumah Dengan Daya Yang Besar**. Dijelaskan bahwa “untuk meningkatkan kenyamanan dan kehandalah sistem instalasi listrik pada sebuah bangunan, maka selain sumber listrik yang didapatkan dari PLN tetapi juga harus dilengkapi dengan generator cadangan sebagai *back up*”.
8. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bangun Krishna DKK yang berjudul **Perbaikan Sistem Pertanahan Pada Gedung Listrik Politeknik Negeri Semarang**. Dijelaskan bahwa “Dengan memperbanyak jumlah batang paralel dan memperdalam elektroda pentanahan akan menurunkan nilai resistansi pentanahan”.
9. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rafiah Ma’rifatul Muslimah Al-Kamil tahun 2016 yang berjudul **Perancangan Sistem Instalasi Listrik Royal Sanur Hospital Bali**. Dijelaskan bahwa “Perancangan sistem instalasi listrik perlu dilakukan untuk menghindari *over design* agar dapat menghitung beban pada sebuah gedung bertingkat dengan akurat”.
10. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jamaaluddin DKK tahun 2017 yang berjudul **Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik**

**Terintegrasi Pada Bangunan.** Dijelaskan bahwa “Dengan dilakukannya pemasangan sistem penangkal petir yang baik, sistem pentanahan alat-alat elektronika pada gedung, dan sistem pentanahan sistem tenaga listrik, maka akan didapatkan manfaat sistem tenaga listrik yang aman dan handal.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Instalasi Listrik**

Instalasi listrik adalah sistem saluran listrik yang dibuat untuk menyalurkan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan manusia. Pada perancangan sistem instalasi listrik didalam sebuah gedung, instalasinya dibagi menjadi 2 yaitu instalasi dan pencahayaan buatan instalasi daya listrik

Perancangan instalasi pencahayaan buatan guna memenuhi upaya untuk menghantarkan daya listrik pada lampu dan dapat dijadikan sumber cahaya ketika pencahayaan mengalami kendala waktu dan lingkungan. Instalasi pencahayaan buatan ini meliputi sakelar, kaber penghantar, armateur lampu dan lampu yang akan digunakan. Tujuan dari sistem instalasi pencahayaan buatan ini untuk mengetahui jumlah kebutuhan intensitas cahaya yang dibutuhkan sehingga nantinya dapat memberikan rasa nyaman kepada penghuni untuk menjalankan aktivitas kesehariannya.

Instalasi daya listrik merupakan instalasi daya listrik yang bertujuan untuk memberikan suplai kepada seluruh peralatan dan mesin mesin yang membutuhkan daya listrik pada sebuah gedung. Instalasi daya listrik.

Sebuah sistem instalasi listrik harus memenuhi standar dan undang-undang yang diterapkan di Indonesia. Ketentuan mengenai komponen instalasi listrik sudah terangkum semua dalam Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Adapun ketentuan tersebut adalah sebagai berikut:

1. SNI 03-6197-2000, atau edisi pertama, Konservasi energi pada sistem pencahayaan.
2. SNI 03-6575-2001, atau edisi terakhir, Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung.

3. SNI 04-7018-2004, atau edisi terakhir, Sistem pasokan daya listrik darurat dan siaga.
4. SNI 04-7019-2004, atau edisi terakhir, Sistem pasokan daya listrik darurat dan menggunakan energi tersimpan.

### 2.2.2 Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan

#### A. Pencahayaan

Pencahayaan (illuminasi) adalah kepadatan cahaya dari suatu sumber yang bercahaya (Stein et.al., 1986). Intensitas pencahayaan merupakan flux cahaya yang jatuh pada 1 m<sup>2</sup> dari bidang itu, yang memiliki satuan lux (lx) dan dilambangkan dengan huruf E. Maka:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen per m}^2$$

Jika sebuah bola lampu dianalogikan sebagai sebuah kran penyiram air, maka air yang disemburkan adalah lumen dan jumlah air yang dikeluarkan per satuan waktu per meter persegi dari luas lantai adalah intensitas pencahayaannya. Secara matematis:

$$E = \frac{\Phi}{A} \text{ lux} \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.1})$$

dimana:

E = Intensitas pencahayaan (lux)

Φ = flux cahaya (lumen)

A = Luas bidang yang diterangi (m<sup>2</sup>)

Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan pada umumnya didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Yang dimaksud dengan bidang kerja ialah bidang horizontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan (SNI 03-6575-75 2001).

Berikut ini merupakan tabel tingkat pencahayaan minimum dan renderasi warna oleh SNI berdasarkan fungsi ruangan:

Tabel 2.1 Standar pencahayaan buatan pada bangunan

<b>Fungsi ruangan</b>	<b>Tingkat pencahayaan (lux)</b>	<b>Kelompok renderasi warna</b>	<b>Keterangan</b>
<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	3 atau 4	
<b>Perkantoran:</b>			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	
Ruang Komputer	350	1 atau 2	
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	

Lanjutan tabel 2.2 Standar pencahayaan buatan pada bangunan

<b>Fungsi ruangan</b>	<b>Tingkat pencahayaan (lux)</b>	<b>Kelompok renderasi warna</b>	<b>Keterangan</b>
Ruang gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
kantin	200	1	
<b>Hotel dan Restoran:</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 “ <i>switching</i> ” dan “ <i>dimming</i> ” dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.
Ruang makan	250	1	
Cafeteria	250	1	
Kamar tidur	150	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada tempat yang diperlukan.
Dapur	300	1	
<b>Rumah Sakit/Balai Pengobatan:</b>			
Ruang rawat inap	250	1 atau 2	
Ruang operasi, ruang bersalin	300	1	
laboratorium	500	1 atau 2	

Lanjutan tabel 2.2 Standar pencahayaan buatan pada bangunan

<b>Fungsi ruangan</b>	<b>Tingkat pencahayaan (lux)</b>	<b>Kelompok renderasi warna</b>	<b>Keterangan</b>
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	1	
<b>Pertokoan/Ruang Pamer:</b>			
Ruang pameran dengan objek berukuran besar (misalnya foto)	500	1	Tingkat pencahayaan ini harus dipenuhi pada lantai. Untuk beberapa produk tingkat pencahayaan pada bidang vertikal juga penting.
Toko kue dan makanan	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	Pencahayaan bidang vertikal.
Toko alat listrik(TV, Radio/tape, mesin cuci	250	1 atau 2	
<b>Industri (umum):</b>			
Ruang parkir	50	3	

Lanjutan tabel 2.3 Standar pencahayaan buatan pada bangunan

<b>Fungsi ruangan</b>	<b>Tingkat pencahayaan (lux)</b>	<b>Kelompok renderasi warna</b>	<b>Keterangan</b>
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>			
Mesjid	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat.
Gereja	200	1 atau 2	Idem.
Vihara	200	1 atau 2	Idem.

Perhitungan jumlah titik lampu untuk setiap ruangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: dimensi ruang, fungsi ruang, warna dinding ruangan, dan tipe armatur yang digunakan. Berdasarkan SNI 03-6575-2001 untuk dapat menentukan jumlah titik lampu yang akan dipasang pada sebuah ruangan dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N = \frac{E \times L \times W}{\emptyset \times LLF \times CU} \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.2})$$

Dimana:

N = Jumlah titik lampu

E = Kuat penerangan (Lux)

L = Panjang ruang (Meter)

W = Lebar ruangan (Meter)

$\emptyset$  = Total Lumens lampu

LLF = *Light loss factor* / faktor rugi cahaya (0,7-0,8)

CU = *Coeffisien of utilization* / faktor pemanfaatan (50-100%)

### 2.2.3 Sakelar

Sakelar merupakan alat listrik yang digunakan sebagai pemutus jaringan listrik atau menghubungkan jaringan listrik. Selain digunakan pada jaringan arus kuat, sakelar juga digunakan untuk komponen arus lemah. Beberapa jenis saklar yang digunakan pada jaringan listrik seperti sakelar tunggal, ganda, sakelar tukar tunggal, sakelar tukar ganda, dan sakelar gang. Beberapa sakelar tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan dan jumlah beban yang akan disambung.



Gambar 2.1 Sakelar

(Sumber: <https://www.google.co.id/search?q=sakelar&source=>)

### 2.2.4 Kotak Kontak

Kotak kontak untuk instalasi rumah tinggal di Indonesia menggunakan 2 lubang yaitu fasa, netral, dan kawat tembaga yang berfungsi sebagai ground.

Penggunaan kotak kontak harus benar benar rapat dan kuat supaya tidak menimbulkan panas yang dapat menyebabkan kebakaran. Maka dari itu, tusuk kontak haruslah sesuai dengan outlet yang terpasang dan lengkap dengan titik grounding untuk peralatan yang berbahan metal seperti kulkas, pompa air, komputer dan lain lain.

Pemasangan kotak kontak dapat dilakukan di dinding, di meja, dan dilantai. Untuk soket outlet di lantai perlu menggunakan soket outlet khusus dan untuk pemakaian luar ruangan harus menggunakan outlet yang mempunyai pelindung penutup. Sedangkan pemasangan kotak kontak pada dinding, dipasang setidaknya 40 cm dari permukaan lantai. Pemakaian tusuk outlet kotak kontak hendaknya satu soket kontak untuk satu tusuk kontak, karena tusuk kontak yang bertumpuk sangat rentan menimbulkan padas karena tidak pasnya pemasangan tusuk kontak ke outlet kontak. Disarankan untuk tidak menggunakan roll kabel atau kabel gulung untuk jarak yang dekat dalam pemakaian dengan waktu yang lama, karena kabel tergulung yang mengalirkan arus listrik akan menyebabkan kabel panas dan akan terbakar.

Ada beberapa jenis kotak kontak yaitu kotak kontak tanpa ground dan kotak kontak dengan ground. Kotak kontak dengan ground memiliki 3 buah lubang soket outlet atau biasanya terdapat kawat tembaga pada sekitar lubang outlet. Kawat tembaga tersebut berfungsi sebagai penyalur arus lebih ketika mengalami konsleting listrik karena terhubung dengan ground. Kotak kontak yang terdapat dirumah rumah biasanya terbuat dari PVC atau plastik. Namun, banyak material yang biasanya digunakan sebagai bahan untuk cover kotak kontak seperti alumunium, kaca, sampai keramik.

Pemakaian kotak kontak sebaiknya menyesuaikan dengan kondisi pada lapangan, penggunaan kotak kontak pada kamar tidur jenisnya akan berbeda dengan kotak kontak yang terdapat pada *lobby* apartemen. Hal tersebut dapat dibedakan dengan jenis kotak kontak.



Gambar 2.2 Kotak kontak

(Sumber: <https://www.google.co.id/search?q=kotak+kontak&source=>)

### 2.2.5 Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung

Pada instalasi gedung, terdapat 2 sumber utama listrik yang akan digunakan untuk mensuplai daya listrik beban-beban yang ada pada bangunan yaitu listrik pada PLN dan Genset. Namun, sumber listrik yang diprioritaskan adalah yang dari PLN dan Genset berfungsi sebagai sumber cadangan ketika sumber dari PLN mengalami gangguan. Adapun komponen-komponen dari sistem instalasi listrik pada gedung yaitu sebagai berikut:

#### A. Gardu Listrik Tegangan Menengah

Gardu listrik tegangan menengah merupakan perlengkapan listrik yang dimiliki oleh PLN sebagai gardu distribusi tegangan menengah. Terdapat panel-panel didalam gardu tersebut yang dihubungkan panel yang terdapat pada gedung.



Gambar 2.3 Gardu listrik tegangan menengah

(sumber://<https://www.google.co.id/search?q=gardu+listrik+tegangan+menengah&source>)

#### B. Panel Listrik Tegangan Menengah



Gambar 2.4 Panel listrik tegangan menengah.

(sumber <http://panelcapacitor.blogspot.co.id/2016/01/tegangan-menengah-putm-20kv-metal.html>)

Panel listrik tegangan menengah adalah perlengkapan listrik yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik PLN yang ditempatkan di bangunan Power House. Daya listrik dari panel tadi kemudian disalurkan menuju Transformator *Step Down* sebelum siap digunakan.

### C. *Transformator Step Down*

Transformator atau trafo *step down* ini digunakan untuk menurunkan listrik dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah agar siap digunakan untuk mensuplai beban yang ada. Trafo ini terhubung dengan panel listrik tegangan rendah.



Gambar 2.5 Transformator distribusi step down 500 kVA

(Sumber <http://vestfold-trafo.no/trafo-category/oljeisolerte-transformatorer/500>)

### D. Generator Set (Genset)

Generator set merupakan sumber listrik yang digunakan untuk mensuplai daya listrik ke gedung. Namun, pemakaian generator hanya bersifat sementara (*backup*) ketika sumber listrik utama dari PLN mengalami gangguan. Genset ini dihubungkan dan dapat dikendalikan dari Panel Kontrol Genset (PKG). PKG ini dihubungkan dengan panel listrik tegangan menengah. Dengan demikian, PKG akan mengaktifkan genset untuk mensuplai daya listrik ke gedung ketika sumber listrik dari PLN mengalami gangguan. Tujuan dipasangnya genset ini adalah untuk menambah kehandalan dari sistem tenaga listrik serta dapat mensuplai daya secara kontinyu agar dapat memberikan rasa nyaman kepada penghuni gedung.



Gambar 2.6 Generator set merk caterpillar.

(Sumber <https://krisnagenset.files.wordpress.com/2015/10/caterpillar-g3306na-natural-gas-generator-set-1.jpg>)

#### E. Panel Listrik Tegangan Rendah



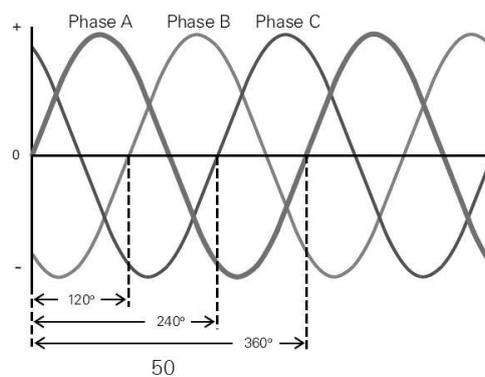
Gambar 2.7 Panel listrik tegangan menengah

(Sumber <http://egatek.com/wp-content/uploads/2016/05/panel-listrik.jpg>)

Panel listrik tegangan rendah atau *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) mendapatkan masukan listrik dari trafo *step down* ataupun genset/PKG. Dari panel listrik tegangan rendah ini, listrik didistribusikan menuju panel distribusi tegangan rendah. Penggunaan panel distribusi tegangan rendah ini bertujuan untuk mengelompokkan beberapa unit beban agar ketika terjadinya gangguan maka mudah dalam mencari titik panelnya.

### 2.2.6 Listrik 3 fasa

Sistem tenaga listrik pada gedung bertingkat, membutuhkan daya listrik yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan beban listrik didalamnya. Dengan demikian, biasanya digunakan panel listrik tegangan menengah dari sumber listrik 3 fasa yang dimiliki oleh PLN untuk menyuplai listrik ke gedung. Penggunaan listrik 3 fasa dibutuhkan untuk memperoleh kesetabilan dalam distribusi daya listrik yang relatif besar. Listrik 3 fasa adalah rangkaian listrik yang memiliki 3 keluaran keluaran simetris dari sumbernya juga memiliki perbedaan sudut dari masing masing fasa sebesar  $120^\circ$  listrik, perbedaan secara fisik sebesar  $60^\circ$  dan dapat dihubungkan secara bintang (wye, Y) atau segitiga (delta, D,  $\Delta$ ). Dibawah ini adalah gambar dari gelombang keluaran dari listrik 3 fasa:



Gambar 2.8 Gelombang listrik 3 fasa.

(Sumber <http://teguhpati.blogspot.co.id/2013/04/transformator.html>)

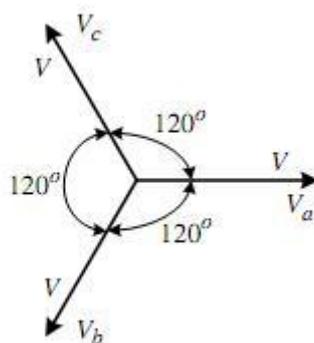
Dapat dilihat pada gambar keluaran listrik 3 fasa diatas bahwa setiap gelombang fasanya memiliki perbedaan sudut antara ketiga fasanya. Dengan demikian didapatkan hubungan antara setiap fasanya yaitu sebagai berikut:

$$V_a = V_m \angle 0^\circ$$

$$V_b = V_m \angle -120^\circ$$

$$V_c = V_m \angle -240^\circ$$

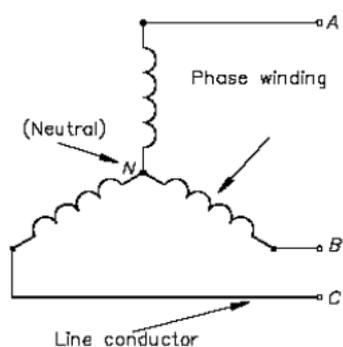
Dan diagram fasor ketika kondisi tegangan seimbang yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.9 Diagram fasor tegangan seimbang.

(Sumber <https://konversi.wordpress.com/2011/04/15/ketidakseimbangan-tegangan-dan-pengaruhnya/>)

#### A. Hubungan Bintang (wye, Y)

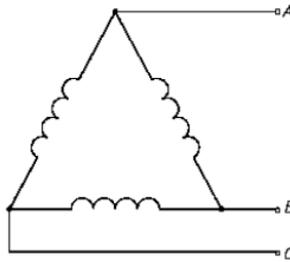


Gambar 2.10 Hubung bintang (Y)

(sumber <http://sinelectronic.blogspot.co.id/2012/02/motor-3-fasa-bekerja-dengan-2-hubungan.html>)

Hubungan star merupakan hubungan antara 3 buah konduktor yang membentuk huruf Y dimana salah satu ujung dari ketiga konduktor tersebut terhubung satu sama lain dan membentuk titik netral. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c memiliki besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$  disebut dengan tegangan fase atau  $V_f$ .

### B. Hubungan Segitiga (delta, D, $\Delta$ )



Gambar 2.11 Hubung segitiga ( $\Delta$ )

(Sumber <http://sinelectronic.blogspot.co.id/2012/02/motor-3-fasa-bekerja-dengan-2-hubungan.html>)

Pada hubungan segitiga ini kedua ujung dari 3 konduktor dihubungkan dengan ujung fasa satu sama lain dan membentuk segitiga 3 fasa. Tidak adanya titik netral, maka hanya terdapat tegangan antar fasa saja. Dengan demikian besar tegangan antar fasa dan tegangan saluran fasa memiliki besar yang sama.

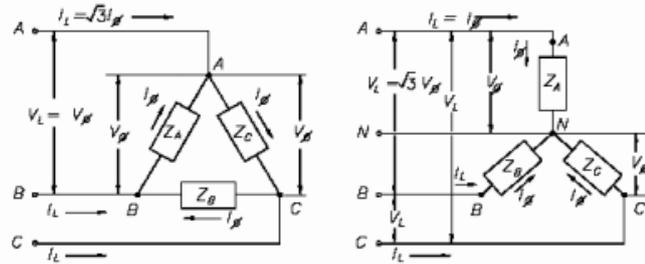
$$V_{\text{line}} = V_{\text{fase}}$$

Akan tetapi arus fasa dan saluran memiliki besar yang tidak sama. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan hukum kirchoff, sehingga:

$$I_{\text{line}} = \sqrt{3} \times I_{\text{fase}} = 1,73 \times I_{\text{fase}} \dots \dots \dots (\text{Rumus 2.3})$$

### C. Daya Listrik 3 Fasa Pada Beban Yang Seimbang

Besar daya keluaran dari generator 3 fase atau daya yang digunakan oleh beban 3 fase, dapat diperoleh dari menjumlahkan daya dari tiap fasenya. Sistem yang seimbang, total daya yang didapat sama dengan 3 kali total daya dari fase, karena daya dimasing-masing fase besarnya sama.



Gambar 2.12 Hubung segitiga dan bintang yang seimbang.

(Sumber <http://risqisugengputra.weebly.com/3-phase.html>)

Apabila sudut antara arus dan tegangan sebesar  $\theta$ , maka besar daya tiap fasanya maka daya setiap fasa adalah:

$$P_{\text{fasa}} = V_{\text{fasa}} \cdot I_{\text{fasa}} \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (\text{Rumus 2.4})$$

Adapun besar daya total adalah penjumlahan dari besarnya daya dari setiap fasanya, dan dapat ditulis:

$$P_T = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (\text{Rumus 2.5})$$

Sedangkan pada hubung bintang, besar tegangan saluran sebesar  $1,73V_{\text{fase}}$  maka tegangan setiap fasanya  $V_{\text{line}}/1,73$  dan nilai arus saluran sama dengan arus fase,  $I_L = I_f$ , maka daya total ( $P_{\text{Total}}$ ) di rangkaian hubung bintang (Y) yaitu:

$$P_T = V_L/1,73 \cdot I_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cos \theta \dots \dots \dots (\text{Rumus 2.6})$$

Pada hubung segitiga, besar tegangan line yang sama dengan tegangan fasanya,  $V_L = V_{\text{Fase}}$ , dan besar arusnya  $I_{\text{line}} = 1,73 I_{\text{fase}}$ , sehingga besar arus perfasa menjadi  $I_L/1,73$ , maka daya total ( $P_{\text{Total}}$ ) pada rangkaian hubung segitiga yaitu:

$$P_T = 3 \cdot I_L/1,73 \cdot V_L \cdot \cos \theta = 1,73 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (\text{Rumus 2.7})$$

Dari persamaan total daya pada kedua jenis hubungan diatas didapat bahwa besar daya pada kedua jenis hubungan diatas sama saja, akan tetapi yang menjadi pembedanya adalah tegangan kerja dan arus kerja yang mengalir dan berlaku pada kondisi beban yang seimbang.

### 2.2.7 Drop Tegangan

*Drop* tegangan atau jatuh tegangan adalah tegangan yang hilang pada suatu saluran penghantar. Jatuh tegangan di saluran listrik secara umum berbanding lurus

dengan panjang saluran, besarnya beban dan berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar dari jatuh tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam besaran Volt. Ketentuan batasan atas dan bawah tegangan sudah ditentukan oleh kebijakan dari perusahaan kelistrikan. Berdasarkan IEC 60364-7-714 rumus yang digunakan untuk mencari drop tegangan pada saluran 3 fasa yaitu:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos \Phi + X \sin \Phi) \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.8})$$

Dimana:

$\Delta V$  = Drop tegangan (V)

$I$  = Arus saluran (A)

$l$  = Panjang saluran (m)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

$X$  = Induktansi saluran ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan Saluran (V)

### 2.2.8 Perbaikan Tegangan

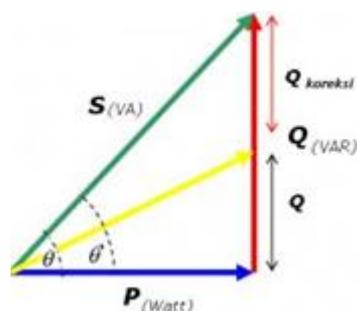
Didalam sistem tenaga listrik terdapat 3 jenis daya yang sering dijumpai yaitu daya semu (S, VA, Volt Ampere), daya aktif (P, W, Watt), dan daya reaktif (Q, VAR, Volt Amper Reaktif).

Listrik AC mempunyai bentuk tegangan dan arus sinusoida yang besar gelombangnya setiap saat tidak sama. Maka daya rata rata yang dapat diukur dengan satuan watt dapat diukur dengan kwh meter juga merupakan daya nyata atau aktif yang digunakan oleh beban listrik.

Sedangkan daya semu yang satuannya Volt Amper (VA) ini merupakan kapasitas peralatan listrik seperti yang biasanya tertera pada generator ataupun pada transformator. Pada sebuah instalasi listrik, biasanya terdapat banyak beban listrik seperti motor listrik yang memerlukan daya reaktif sebagai pembangkit *flux* medan magnet sehingga timbul magnetisasi dan daya ini akan ke sistem karena efek induksi elektromagnetik itu sendiri sehingga daya ini juga merupakan salah satu kebutuhan pada sistem tenaga listrik.

### A. Pengertian Faktor Daya

Faktor daya atau juga sering disebut faktor kerja merupakan hasil perbandingan antara daya semu (VA) dan daya aktif (W) atau sudut cosinus dari kedua daya tersebut. Besarnya faktor daya dipengaruhi oleh besar kecilnya daya reaktif (VAR). Faktor daya yang biasanya ditemukan di dunia nyata yaitu lebih kecil atau sama dengan 1. Jika nilai faktor daya mendekati 1 maka hal tersebut tentunya sangat baik, karena daya yang digunakan maksimal, sedangkan jika nilai faktor daya mendekati 0 maka daya yang terpakai tidak maksimal (buruk). Adapun besarnya faktor daya dapat dilihat pada segitiga daya seperti gambar berikut:



Gambar 2.13 Segitiga daya.

(Sumber <http://elektrogazebo.blogspot.co.id/2012/03/koreksi-faktor-daya.html>)

Secara teori, bila seluruh beban daya yang dihasilkan oleh perusahaan listrik mempunyai faktor daya 1, maka daya maksimum yang disalurkan setara dengan sistem pendistribusian. Sehingga, dengan memiliki beban induksi dan faktor daya berkisar dari 0,2 sampai 0,5 maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Maka dari itu, daya reaktif harus diminimalisir agar dapat meminimalkan daya total (VA). Faktor daya yang rendah dapat merugikan karena dapat menimbulkan arus beban yang tinggi. Salah satu upaya dalam melakukan perbaikan daya yaitu dengan dipasangnya kapasitor bank.

### B. Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya yang terlalu rendah atau mendekati 0 merupakan tanda bahwa daya aktif yang terpakai tidak maksimal dan menghasilkan daya reaktif yang besar.

hal tersebut menyebabkan kerugian berupa ekonomis maupun teknis, untuk itu perlu dilakukan perbaikan faktor daya. Upaya perbaikan faktor daya dapat dilakukan dengan melakukan pemasangan kapasitor. Kapasitor berperan sebagai pembangkit daya reaktif oleh karena itu kapasitor akan mengurangi besarnya daya reaktif dari jumlah total daya semu.

### C. Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang memiliki sifat kapasitif dan akan berperan sebagai penyeimbang beban induktif pada rangkaian sistem tenaga listrik. Kapasitor bank ini tersusun dari beberapa unit kapasitor secara paralel jaringan distribusi untuk dapat menghasilkan besar daya reaktif tertentu. Penggunaan kapasitor untuk memperbaiki faktor daya karena kapasitor mempunyai sifat listrik kapasitif (*leading*) sehingga dapat mengurangi daya reaktif yang dihasilkan oleh beban induktif (*leaging*).

### 2.2.9 Kapasitas Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan terjadinya hubungan antar penghantar bertegangan atau tidak bertegangan secara langsung sehingga akan terjadi aliran arus yang besar atau tidak normal. Hubung singkat berpotensi menimbulkan percikan api jika tidak segera diatasi, maka dari pada itu diperlukan sebuah proteksi untuk arus atau beban lebih yaitu MCB (*Miniatur Circuit Breaker*).

MCB berfungsi sebagai proteksi dengan memutus arus yang mengalir jika arus melampaui batas normal. Besarnya kapasitas *circuit breaker* ditentukan dari nilai KHA. Kapasitas *breaker* harus lebih besar dari KHA tersebut. Pada brosur di pasaran, nilai CB yang tersedia adalah 32A (untuk MCB) dan 30A (untuk MCCB). Akan tetapi jika akan terjadi penambahan kapasitas daya listrik dapat dipasang CB dengan nilai 40A dan seterusnya.

Berdasarkan IEC 60909 perhitungan arus hubung singkat pada jaringan 3 fasa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I''_K = \frac{C_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} \dots\dots\dots(\text{Rumus 2.9})$$

Keterangan:

$C_{max}$  = Konstanta *Voltage factor c*

$U_n$  = Tegangan nominal

$Z$  = Impedansi

Tabel 2.2 *Voltage factor c*

Nominal Voltage ( $U_n$ )	Voltage factor c for Calculation	
	Max short Circuit Current ( $C_{max}$ )	Min short Circuit Current ( $C_{min}$ )
Low Voltage 100 V – 1000 V (IEC 60038 Tab.I)	1,05	0,95
Medium Voltage >1 kV – 35 kV (IEC 60038 Tab.III)	1,10	
High Voltage >35 kV (IEC 60038 Tab.IV)	1,10	1,00

### 2.2.10 Sistem *Grounding*

#### A. Pengertian *Grounding*

*Grounding* atau pembumian merupakan upaya penyaluran listrik pada sebuah instalasi listrik pada sebuah bangunan menuju ke tanah agar tidak terjadinya lonjakan listrik dan sambaran petir. *Grounding* dipasang pada sebuah bangunan agar dapat mencegah terjadinya kontak antara makhluk hidup dengan listrik yang diakibatkan kebocoran isolasi. Penyaluran listrik ke tanah harus menggunakan penghantar. Penghantar yang digunakan adalah berbahan tembaga karena merupakan konduktor yang paling baik dalam penyaluran listrik.

Kontinuitas penyaluran tenaga listrik tergantung dari keandalan sistem *groundingnya*. Agar sebuah bangunan gedung dapat terhindar dari sambaran petir

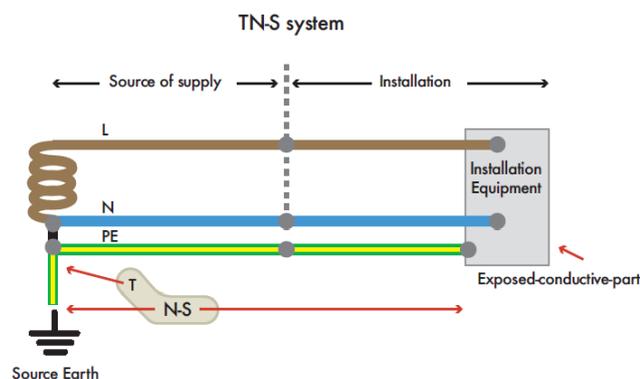
maka dibutuhkan nilai tahanan pada sebuah *grounding* yaitu  $<5$  ohm (PUIL 2000), dan untuk peralatan elektronika nilai tahanan yang dibutuhkan untuk *grounding* yaitu  $<3$  ohm dan beberapa perangkat yang membutuhkan nilai tahanan *grounding*  $<1$  ohm. Untuk mendapatkan nilai tahanan yang kecil mungkin akan sangat sulit karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi seperti jenis tanah, jenis sistem *grounding*, suhu dan kelembapan, dan lain lain.

## B. Jenis-jenis sistem pembumian (*grounding*)

Pada sebuah sistem instalasi sangat perlu memiliki sebuah sistem *grounding*. Penentuan tipe *grounding* merupakan hal yang pertama dilakukan ketika ingin memasang sebuah *grounding*. Berdasarkan standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) ada beberapa tipe dari *grounding* tergantung dari kebutuhan dan tingkat keamanan yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

### 1. TN-S (*Terre Neutral – Separate*)

Pada sistem *grounding* TN-S, bagian netral dari sumber energi listrik diubungkan dengan bumi pada satu titik, sehingga titik netral pada bagian beban tersambung langsung dengan bagian netral sumber listrik. *Grounding* tipe ini cocok jika digunakan pada instalasi yang dekat dengan sumber listrik, seperti pada konsumen dengan kapasitas besar yang memiliki HV/LV transformator untuk kebutuhan sendiri dan instalasi atau peralatannya terletak bersebelahan dengan sumber energi tersebut (transformator).

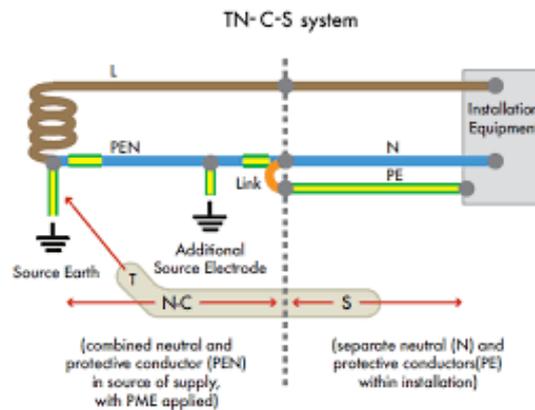


Gambar 2.14 Jenis pembumian TN-S)

(Sumber: <https://4.bp.blogspot.com/>)

## 2. TN-C-S (*Terre Neutral – Combined – Separate*)

Pada sistem *grounding* TN-C-S bagian netral dari sumber listrik dihubungkan dengan bumi dan pembumian dengan jarak tertentu disepanjang saluran netral yang menuju konsumen, yang biasanya disebut dengan *Protective Multiple Earthing* (PME). Dengan menggunakan sistem ini saluran netral dapat berperan untuk mengembalikan arus gangguan pembumian yang akan timbul pada sisi instalasi kembali ke sumber listrik.

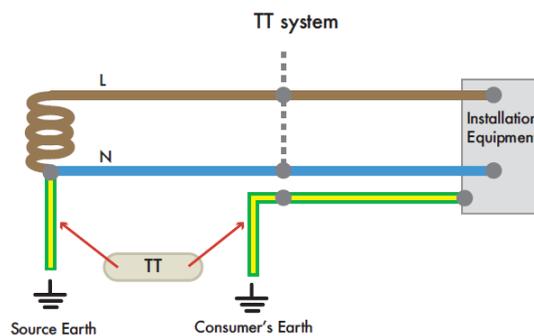


Gambar 2.15 Jenis pembumian TN-C-S)

(<https://4.bp.blogspot.com/>)

## 3. TT (*Double Terre*)

Pada sistem TT, bagian netral sumber listrik tidak tersambung langsung dengan pembumian netral pada sisi konsumen (instalasi peralatan). Disistem TT, konsumen harus menyediakan koneksi sendiri ke bumi, yaitu dengan memasang elektroda bumi yang sesuai untuk instalasi tersebut.



Gambar 2.16 pembumian TT

(Sumber: <https://1.bp.blogspot.com/>)

### 2.2.11 Sistem Penyalur Petir

#### A. Pengertian Penyalur Petir

Sistem penyalur petir merupakan sebuah sistem yang dimiliki oleh sebuah bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan muatan listrik dari awan menuju bumi supaya tidak menimbulkan dampak buruk bagi peralatan listrik dan makhluk hidup disekitar bangunan. Sistem penyalur petir haruslah dimiliki oleh sebuah bangunan bertingkat karena bangunan bertingkat lebih rentan terkena oleh sambaran petir. Penyalur petir akan melewatkan tegangan yang berasal dari langit menuju bumi tanpa merusak benda yang dilewatinya.

Penyalur petir memiliki 3 bagian utama yaitu:

##### 1. Batang Penangkal Petir

Batang ini merupakan batangan tembaga lancip yang diletakkan diatas atap gedung. Ujungnya yang lancip berguna untuk memudahkan dalam pengumpulan dan pelepasan muatan listrik sesuai dengan sifat alaminya. Hal tersebut dilakukan untuk memperlancar proses menarik muatan listrik yang ada di awan.

##### 2. Kabel konduktor

Kabel konduktor merupakan kabel tembaga yang berperan sebagai penghantar petir. Kabel ini terhubung langsung dengan batang penangkal petir untuk meneruskan muatan listrik menuju tanah. Kabel ini biasanya terpasang pada bagian luar bangunan gedung.

##### 3. Pembumian (*grounding*)

Pembumian merupakan komponen terakhir yang dimiliki oleh sebuah penangkal petir dimana muatan listrik yang mengalir pada kabel penghantar dilepaskan di tempat pembumian ini. Pembumian ini berupa batangan yang terbuat dari tembaga yang dilapisi baja.

#### B. Jenis-jenis Penangkal Petir

Secara umum, penyalur petir dibedakan menjadi 2 yaitu:

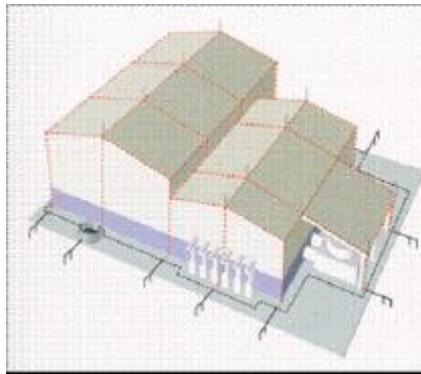
##### 1. Penangkal Petir Konvensional (*Franklin Rod*)

Penangkal petri dengan metode Franklin rod ini merupakan sistem proteksi yang paling awan tetapi masih sering digunakan, terutama untuk melindungi gedung beratap runcing seperti menara dari sambaran petir. Penangkal petir ini

merupakan sebuah batang tembaga berbentuk kerucut yang terletak pada ujung atap bangunan. Pada pemasangannya, sistem penangkal petir ini dipasang diatas pipa sepanjang 1-3 meter untuk menghasilkan luas daerah jangkauannya. Akan tetapi sistem penyalur petir ini memiliki kelemahan yaitu semakin jauh radius maka kemampuannya semakin lemah.

## 2. Penangkal Petir Sangkar *Faraday*

Penangkal petir ini merupakan penyempurnaan dari sistem penyalur petir franklin rod. Prinsip kerjanya sama, namun yang membedakan adalah pada sistem ini pemasangannya merata dibagian atap bangunan seperti sangkar tetapi engan ukuran batang penangkal petir yang lebih pendek dari sistem *franklin rod*.



Gambar 2.17 Penyalur petir metode sangkrar *faraday*

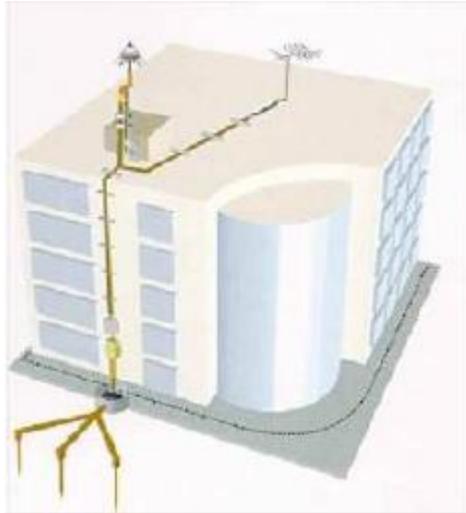
(Sumber <http://blogs.upnjatim.ac.id/utilitas/>)

## 3. *Early Streammer Emission Air Terminal* (EF)

Sistem penyalur petir jenis Energi *Froide* (*Electrostatic Field*) EF ini merupakan sistem penyalur petir yang paling modern. Ada 3 prinsip sangat penting yang dimiliki oleh penyalur petri EF, yaitu:

- a. Penyalur petir yang paling kedap atau tertutup terhadap objek sekitar dengan menggunakan terminal penerima dan kabel saluran khusus yang dimiliki oleh sifat isolasi tegangan tinggi.
- b. Membentuk elektron bebas awal yang besar sebagai streamer emission pada bagian puncak dari sistem terminal.
- c. Penyatuan EF terminal dan EF *carrier* yang memiliki isolasi terhadap tegangan tinggi memberikan keamanan terhadap objek yang dilindungi.

Sistem penyalur petir ini terbagi 2 yaitu EF terminal yang terletak pada puncak bangunan sebagai penangkal petir dan EF *carrier* (kabel penghantar) yang menuju kedalam tanah.



Gambar 2.18 Penyalur petir metode EF

(Sumber <http://blogs.upnjatim.ac.id/utilitas/>)

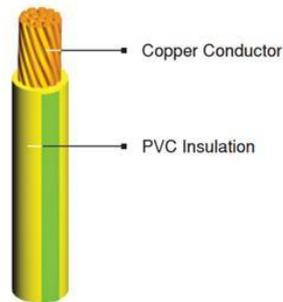
### 2.2.12 Kabel Penghantar

Salah satu komponen dari instalasi listrik pada bangunan yaitu kabel konduktor. Kabel konduktor ini berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satu titik ke titik lainnya. Kabel terbuat dari bahan logam tembaga berbentuk silinder dan pada bagian luarnya dibungkus menggunakan isolator.

Adapun jenis kabel yang sering digunakan pada bangunan yaitu sebagai berikut:

#### 1. Kabel NYA

Kabel NYA biasanya digunakan pada instalasi rumah dan sistem tenaga. Kabel ini berinti tunggal yang dilapisi oleh isolasi berbahan PVC dan sering digunakan untuk instalasi kabel udara. Pada instalasi rumah, ukuran kabel NYA yang biasanya digunakan adalah 1,5 mm<sup>2</sup> dan 2,5 mm<sup>2</sup>. Digunakan untuk instalasi rumah karena harganya dipasaran yang relatif murah.

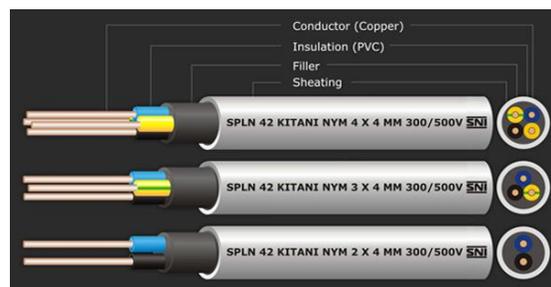


Gambar 2.19 Kabel jenis NYA

(Sumber <https://www.bukalapak.com/p/elektronik/komponen-elektronik/1guj57-jual-kabel-listrik-nya-1-x-70mm-kabel-metal-70-mm>)

Kabel ini hanya memiliki 1 lapisan isolasi yang menyebabkannya mudah rusak, tidak tahan air, dan mudah dirusak tikus. Untuk mengamankan kabel ini biasanya digunakan pelindung tambahan berupa pipa PVC atau saluran yang tertutup agar tidak mudah dirusak tikus dan pengaman ketika kabel terkelupas.

## 2. Kabel NYM



Gambar 2.20 Kabel jenis NYM

(Sumber <http://plnpekalongan.blogspot.co.id/2016/11/jenis-jenis-kabel-listrik.html>)

Kabel NYM ini digunakan pada instalasi listrik rumah, gedung, dan sistem tenaga. Kabel ini memiliki inti lebih dari satu dan di lapiasi isolator PVC. Kabel NYM memiliki 2 lapisan isolasi sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari pada kabel NYA. Kabel ini juga dapat digunakan pada lingkungan yang kering maupun basah namun tidak boleh ditanam. Akan tetapi karena fungsi

kabel yang lebih baik dari kabel NYA menyebabkan harganya relatif lebih mahal.

### 3. Kabel NYY

Kabel NYY merupakan jenis kabel yang digunakan untuk instalasi tertanam. Kabel ini berinti 2, hingga 4 inti. Pada bagian luar dilapisi dengan isolasi yang lebih kuat daripada kabel NYM. Maka dari itu harga kabel ini pun relatif lebih mahal dari kabel NYM.



Gambar 2.21 Kabel jenis NYY.

(Sumber <http://www.bloganton.info/2014/02/kabel-nyy-komponen-instalasi-listrik.html>)

### 4. Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan jenis kabel yang fleksibel dengan penghantar penghantar berupa serabut tembaga. Pada bagian luar kabel dilapisi oleh isolasi berbahan PVC. Kabel ini biasanya digunakan untuk instalasi panel yang membutuhkan kabel bertekstur fleksibel.

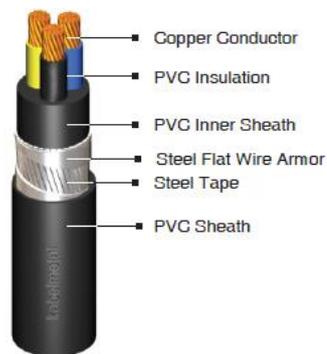


Gambar 2.22 Kabel jenis NYAF

(Sumber <https://www.indotrading.com/product/kabel-nyaf-jembo-p168252.aspx>)

#### 5. Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY merupakan kabel yang digunakan untuk instalasi listrik bawah tanah, didalam ruangan, saluran-saluran dan ditempat terbuka yang membutuhkan perlindungan terhadap gangguan mekanis, atau untuk tekanan rentang yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.

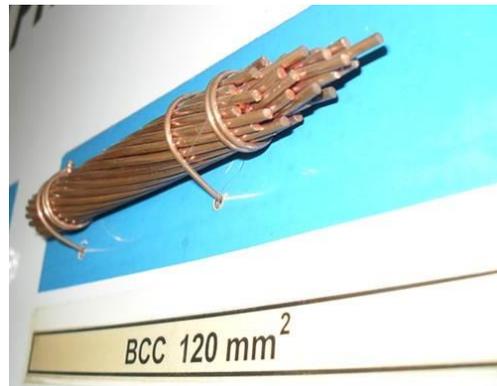


Gambar 2.23 Kabel jenis NYFGbY.

(Sumber <http://wimasfimkusuma.blogspot.co.id/2013/01/jenis-jenis-kabel-listrik.html>)

## 6. Kabel BCC

Kabel BCC (*Bare Copper Conductor*) adalah kawat tembaga tanpa isolasi (telanjang) yang biasanya digunakan untuk saluran udara dan saluran bawah tanah. Kabel jenis ini digunakan pada saluran transmisi udara juga biasanya digunakan untuk instalasi penyalur petir dan pertanahan.



Gambar 2.24 Kabel jenis BCC.

(Sumber <http://kabelve.blogspot.co.id/2012/05/bare-copper-conductor-bcc.html>)

### 2.2.13 Tray Kabel

*Tray* kabel merupakan wadah yang digunakan untuk meletakkan kabel pada bangunan gedung. Tujuan dipasangnya rak ini adalah kabel dapat diatur dengan rapi serta mudah dalam melakukan pemeliharaan nantinya. Rak ini terbuat dari bahan aluminium, besi, baja ataupun material logam lainnya. Adapun langkah langkah untuk melakukan pemasangan rak kabel adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan desain (*drawing*) untuk penempatan jalur dengan mempertimbangkan bagian komponen lain seperti titik lampu, instalasi pipa dan lain lain.
- b. Menandai jalur rak kabel pada lapangan sesuai dengan desain *drawing*.
- c. Menandai titik titik jalur *tray*.
- d. Melakukan pengeboran pada titik yang sudah ditandai.
- e. Memasang gantungan *tray*.
- f. Memasang kabel *ladder*.
- g. Disetiap titik sambungan, dipasang kabel *ground*.

- h. Agar dapat bertahan dalam jangka waktu yang panjang, tray di *zincromate* atau cat untuk mencegah karat.



Gambar 2.25 Jalur tray kabel di langit langit bangunan.

(Sumber <http://kabeltrayjakarta.blogspot.co.id/2016/06/fungsi-dan-kegunaan-cable-tray-dan.html>)

Pemasangan pada langit langit memerlukan penguat berupa penggantung yang dipasang dengan baik supaya tidak mudah mengalami runtuh. Gantungan dipasang pada jarak yang ideal sehingga bisa berfungsi dengan baik serta tidak terlalu rapat karena menyebabkan pemborosan material juga meningkatkan beban bangunan yang harus ditanggung oleh struktur lantai.



Gambar 2.26 Jalur tray kabel di langit langit bangunan.

(Sumber <http://mathscinotes.com/2017/01/fact-checking-power-over-ethernet-marketing-math/>)

Melakukan pemasangan di dinding butuh dibuatkan ruangan khusus mekanikal elektrik agar tidak mengganggu keestetikaan dari arsitektur bangunan. Jika sangat terpaksa pada ruang yang membutuhkan kerapian maka dapat dilakukan pembungkusan menggunakan dinding gypsum atau batu bata sehingga terlihat rapi. Instalasi pada rumah dapat menggunakan pipa pvc untuk jalur kabel. Itupun jika kabel instalasi yang dipasang tidak rumit. Tidak hanya untuk jalur kabel, pipa pvc juga dapat berfungsi sebagai pelapis isolasi kabel sehingga kabel dapat terlindungi dari serangan tikus ataupun gangguan lainnya. Hal tersebut dapat mencegah untuk terjadinya percikan api dan bahaya kebakaran akibat konsleting listrik yang disebabkan isolasi kabel yang rusak. Meskipun terlihat sederhana, pengerjaan *tray* dalam jumlah yang besar harus dilakukan oleh seseorang yang ahli pada bidang tersebut.