

BAB III

TEORI DASAR

3.1 Umum

System distribusi listrik merupakan bagian dari system tenaga listrik. System distribusi listrik bertujuan menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik atau pembangkit sampai konsumen atau pelanggan melalui jaringan distribusi. Proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke pelanggan memerlukan perencanaan dan penanganan teknis yang serius, hal ini dikarenakan adanya berbagai persoalan teknis yang ada pada jaringan distribusi.

System distribusi tenaga listrik untuk beban memiliki kondisi dan persyaratan-persyaratan tertentu, maka sarana penyampaiannya pun dikehendaki memenuhi persyaratan tertentu pula. Kondisi dan persyaratan yang di maksudkan tersebut antara lain :

- Setiap peralatan listrik dirancang memiliki rating tegangan, frekuensi dan daya nominal tertentu.
- Letak titik sumber (pembangkit) dengan titik beban tidak selalu berdekatan.
- Pada pengoperasian peralatan listrik perlu dijamin keamanan bagi peralatan, bagi manusia pengguna, dan bagi lingkungannya.

Dalam upaya antisipasi ketiga hal tersebut, maka untuk system penyampaian tenaga listrik dituntut beberapa kriteria :

- Diperlukan saluran daya (tenaga) listrik yang efektif ekonomis dan efisien.
- Diperlukan tersedianya daya (tenaga) listrik dengan kapasitas yang cukup / memenuhi, tegangan dan frekwensi yang stabil pada harga nominal tertentu, sesuai dengan design peralatan. Singkatnya diperlukan penyediaan daya dengan kualitas yang baik.
- Diperlukan sarana system pengaman yang baik, sesuai dengan persyaratan pengaman (cepat kerja, peka, efektif, handal, dan ekonomis)

3.2 Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan distribusi adalah kumpulan dari interkoneksi bagian – bagian rangkain listrik dari sumber daya sampai saklar – saklar pelayanan pelanggan.

3.2.1 Distribusi Primer

Distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan ini berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga ke sisi primer trafo distribusi.

3.2.2 Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (system 380/220 Volt), yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan. Sistem jaringan distribusi sekunder ini disalurkan kepada pelanggan melalui kawat berisolasi.

3.3 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik dari suatu rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dengan rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan tersebut terbuat dari kawat tembaga yang dibelit diseperti kaki inti transformator. Transformator diproduksi dengan terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standart yang telah ditetapkan.

3.4 Panel

Panel listrik yaitu salah satu perangkat yang berfungsi membagi, menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari sumber/pusat listrik ke konsumen/pemakai. Juga dapat di terapkan pada instalasi listrik gedung ataupun pada rumah-rumah yang bertingkat.

3.4.1 Panel Distribusi

Panel Distribusi atau dapat juga disebut dengan PHB (Peralatan Hubung Bagi) pada dasarnya berperan untuk mendistribusikan beban kepanel-panel yang lebih kecil kapasitasnya. Bila di bahas indonesiakan Panel Tegangan Menengah (PTM) atau juga disebut VMDB (Medium Voltage Main distribution Board) dan kalau Untuk tegangan. Rendahnya disebut LVMD (Low Voltage Main Distribution Board).

Panel Distribusi adalah panel berbentuk almari (cubicle), yang dapat dibedakan sebagai:

1) Panel MDP (Main Distibution Panel)

Panel ini menghubungkan tenaga listrik dari sumber tegangan dengan Sub Distribution Panel (SDP) dan di suplai langsung oleh transformator atau genset. Untuk tiap bagian busbar-nya diberi pengaman Air Circuit Breaker (ACB) atau pengaman Moulded Case Circuit Breaker (MCCB). Sebelum masuk ke SDP juga juga diberi pengaman MCCB atau ACB, tergantung berapa arus yang dilewatinya.

2) Sub Distribution Panel (SDP)

Panel ini menghubungkan tenaga listrik dari MDP menuju area tertentu yang terdiri atas beberapa group. Sebelum menuju ke group-group juga diberi pengaman yang biasanya berupa Miniatur Circuit Breaker (MCB) atau MCCB tergantung berapa arus yang dilewatinya.

3.4.2 Komponen Panel Distribusi

Panel Distribusi terdiri atas beberapa komponen yang pada umumnya sama untuk semua jenis panel distribusi. Komponen-komponen tersebut adalah :

1) Busbar

Busbar adalah batang konduktor yang terbuat dari aluminium atau tembaga berbentuk persegi panjang. Fungsi busbar adalah untuk mempermudah wiring di dalam panel dengan mengelompokkan masing-masing fasa kedalam batang busbar. Menurut standar PUIL pengelompokan warna busbar adalah sebagai berikut :

- Warna merah untuk fasa R
- Warna kuning untuk fasa S
- Warna hitam untuk fasa T
- Warna biru untuk fasa N

2) Pengaman

Salah satu faktor teknis yang perlu diperhatikan dalam penyediaan penyaluran daya listrik adalah kualitas daya. Faktor ini meliputi stabilitas tegangan, kontinuitas pelayanan, kehandalan pengaman, kapasitas daya yang sesuai kebutuhan, dan lain sebagainya. Dalam hal kehandalan pengamanan, tidak berarti penyediaan daya yang baik adalah daya yang tidak pernah mengalami gangguan. Sebaliknya, pengaman yang baik adalah yang langsung merespon atau trip ketika terjadi gangguan.

Jenis gangguan yang paling sering terjadi dalam keadaan system berjalan normal adalah gangguan arus lebih atau biasa

disebut beban lebih. Jenis gangguan lain yang juga sering terjadi adalah gangguan arus hubung singkat atau short circuit.

3) Sekering (Fuse)

Fuse berfungsi untuk mengamankan system instalasi dari kemungkinan terjadinya hubung singkat atau beban lebih. Bekerja berdasarkan besar arus yang melewatinya, jadi ketika besarnya arus lewat melebihi nilai tertera pada badan fuse, maka bagian dalam fuse yang menghubungkan kedua terminal langsung lebur atau meleleh.

Untuk membedakannya dari Circuit Breaker, sekering memiliki ciri spesifikasi sebagai berikut:

- Bekerja langsung apabila batasan arus dalam rangkaian terlewati.
- Tidak mampu menghubungkan kembali rangkaian secara otomatis setelah terjadi gangguan.
- Kapasitas pemutusan arus short circuit sampai dengan 120 kVA dalam waktu dibawah 1 detik.
- Bekerja pada fasa tunggal, tidak bisa untuk 3 fasa.

4) Meter – Meter

Meter ini umumnya terdapat pada panel-panel untuk mengetahui beberapa tegangan kerja dari system yang ditangani oleh satu panel dan berapa arus yang dibutuhkan beban dari system tersebut. Meter yang sering terdapat pada panel-panel adalah Voltmeter dan Amperemeter.

5) Circuit Breaker

Fungsi dari komponen ini adalah untuk memutuskan atau menghubungkan rangkainya pada saat berbeban atau tidak berbeban serta akan membuka dalam keadaan terjadi gangguan arus lebih atau arus hubung singkat. Dengan demikian berbeda dengan saklar biasa, circuit breaker dapat berfungsi sebagai saklar dalam kondisi normal maupun tidak, serta dapat memutus arus lebih dan arus hubung singkat.

Circuit breaker dapat dipasang untuk dua tujuan dasar, yaitu :

- a) Berfungsi selama kondisi pengoperasian normal, yaitu untuk menghubungkan maupun memutus rangkaian dalam keadaan berbeban dengan tujuan untuk pengoperasian dan perawatan dari rangkain maupun bebannya.
- b) Bekerja selama kondisi operasional yang tidak normal, misalnya jika terjadi hubung singkat ataupun arus lebih. Arus lebih maupun arus hubung singkat dapat merusak peralatan dan instalasi suplay daya jika dibiarkan mengalir di dalam rangkaian dalam kondisi yang cukup lama.

Untuk menentukan kapasitas MCB, MCCB dan ACB digunakan rumus Kemampuan Hantar Arus (KHA) sebagai berikut :

- Jika yang diketahui adalah daya semu (satunya VA),

Rumus Arus Listrik :

- a) Instalasi 1 Phasa

$$I = VA/V_p, \text{ Untuk listrik satu fase } (V_p = 220 \text{ V})$$

- b) Instalasi 3 Phasa

$$I = \sqrt{3} \times VA/V_L, \text{ Untuk listrik Tiga fase } (V_L = 380)$$

UNIVERSITAS

MERCU BUANA

Dimana :

I = Arus Listrik (Ampere)

VA = Daya Terpasang (VA)

V_p = Tegangan Satu Phase (220 V)

V_L = Tegangan Tiga Phase (380 V)

- Jika yang diketahui adalah daya Guna (satunya Watt),

Rumus Arus Listrik :

- a) Instalasi 1 Phasa

$$I = P/V_p \times \cos \Theta,$$

b) Instalasi 3 Phasa

$$I = P / \sqrt{3} \times V_L \times \cos \Theta,$$

Dimana :

I = Arus Listrik (Ampere)

P = Daya Terpasang (Watt)

V_p = Tegangan Satu Phase (220 V)

V_L = Tegangan Tiga Phase (380 V)

cos Θ = Faktor Daya

Untuk menentukan ukuran breaker adalah setelah jumlah arus listrik diketahui. Pembulatan perhitungan harus keatas.

Untuk beban penerangan di kalikan minimum 1,25 dari arus total.

Untuk beban motor di kalikan minimum 1,6 dari arus total

AF = Amper Frame (Kekuatan frame terhadap arus listrik)

AT = Amper trip (Setingan arus beban lebih, pada breaker)

KA = Kilo Amper (Kekuatan breaker menahan arus hubung singkat)

UC = Breaking capacity (pemilihan 1,2 – 1,5 x I_{sc})

Safety Factor ukuran Breaker

Panel Utama : 1,25 x I_n

Motor : 1,6 x I_n

(I_n = Arus beban normal)

Jenis circuit breaker yang banyak digunakan untuk perlengkapan instalasi listrik yaitu :

a) MCB (Miniatur Circuit Breaker)

MCB adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCB merupakan kombinasi fungsi fuse dan fungsi pemutus arus. MCB dapat digunakan sebagai

pengganti fuse yang dapat juga untuk mendeteksi arus lebih. Rating arus tersedia 1A – 125A dan memiliki karakteristik arus trip yang tetap. Gambar MCB dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

b) MCCB (Moulded Case Circuit Breaker)

MCCB adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCCB unit trip dimana dengan adanya unit trip tersebut kita dapat menggeser I_r (Merupakan pengaman terhadap arus lebih) dan I_m (merupakan pengaman terhadap arus short circuit). Rating arus yang tersedia 16 A – 1250 A dan memiliki karakteristik arus trip yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Gambar MCCB dapat di lihat pada gambar 3.2.



Compact NSX4 00/630.

Gambar 3.2 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

c) ACB (Air Circuit Breaker)

ACB adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan, hamper sama dengan MCCB tetapi

menggunakan udara. Rating arus yang tersedia 800 A – 6300 A dan memiliki karakteristik arus trip yang dapat di atur sesuai kebutuhan. Gambar AC dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Air Circuit Breaker (ACB)

3.5 Penghantar

Penghantar merupakan salah satu sarana dalam instalasi listrik karena penghantar dapat menghantarkan arus ke beban yang terpasang. Oleh karena itu perlu diketahui secara pasti berapa besar beban yang terpasang agar ukuran penghantar memadai.

3.5.1 Luas Penampang Penghantar

Sesuai PUIL 2000 pasal 2.3.6.4 ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan luas penampang penghantar :

- a. Suhu minimum yang di izinkan
- b. Susut tegangan yang di izinkan
- c. Stress elektromagnetis yang mungkin terjadi karena hubung pendek.
- d. Stress mekanis yang mungkin dialami penghantar.
- e. Impedans maksimum berkenaan dengan berfungsinya proteksi hubung pendek.

Setiap kabel dan penghantar arus mempunyai kemampuan hantar arus (KHA). Untuk menentukan kemampuan hantar arus pengaman dan luas penampang penghantar yang diperlukan, pertama-tama harus ditentukan arus yang dipakai berdasarkan daya beban yang di hubungkan. Rumus menentukan ukuran kabel sbb:

➤ Jika yang diketahui adalah daya semu (satunya VA), Rumus Arus Listrik :

a) Instalasi 1 Phasa

$$I = VA / V_p, \text{ Untuk listrik satu fase } (V_p = 220 \text{ V})$$

..... (3.4)

b) Instalasi 3 Phasa

$$I = \sqrt{3} \times VA / V_L, \text{ Untuk listrik Tiga fase } (V_L = 380 \text{ V})$$

..... (3.5)

Dimana :

I = Arus Listrik (Ampere)

VA = Daya Terpasang (VA)

V_p = Tegangan Satu Phase (220 V)

V_L = Tegangan Tiga Phase (380 V)

➤ Jika yang diketahui adalah daya Guna (satunya Watt), Rumus Arus Listrik :

a) Instalasi 1 Phasa

$$I = P / V_p \times \cos \Theta ,$$

b) Instalasi 3 Phasa

$$I = P / \sqrt{3} \times V_L \times \cos \Theta ,$$

Dimana :

I = Arus Listrik (Ampere)

P = Daya Terpasang (Watt)

V_p = Tegangan Satu Phase (220 V)

V_L = Tegangan Tiga Phase (380 V)

cos Θ = Faktor Daya

Dari persamaan diatas di dapat arus nominal yang tinggal dikalikan dengan safety factor dan hasilnya disesuaikan dengan tabel dari jenis kabel yang digunakan maka akan diketahui luas penampang dari kabel yang dipakai. Pemilihan kabel juga harus disesuaikan dengan pemilihan rating pengaman.

Safety factor untuk kabel yaitu :

1,5 x In (Type beban umum)

2 x In (Type beban harmonik tinggi spt UPS, PC dan peralatan elektronik)

(In = Arus beban normal)

Tabel 3.1 Jenis Kabel

Jenis kabel	Luas penampang	KHA terus menerus	KHA pengenal gawai proteksi
	mm ²	A	A
1	2	3	4
	1,5	18	10
	2,5	26	20
	4	34	25
	6	44	35
	10	61	50
	16	82	63
NYIF			
NYIFY			
NYPLYw	25	108	80
NYM/NYM-0	35	135	100
NYRAMZ	50	169	125
NYRUZY			
NYRUZYr	70	207	160
NHYRUZY	95	250	200
NHYRUZYr	120	292	250
NYBUY			
NYLRZY, dan	150	335	250
Kabel fleksibel	185	382	315
berisolasi PVC	240	453	400

UNIVERSITAS MERCU BUANA

Selain menggunakan tabel, dapat menggunakan rumus untuk menentukan luas penampang penghantar yang diperlukan berdasarkan rugi tegangan. Rumus-rumus tersebut antara lain :

a) Instalasi satu phasa

$$A = \frac{2 \times I \times l \times \cos\theta}{y \times u}$$

b) Instalasi Tiga phasa

$$A = \frac{\sqrt{3} \times I \times l \times \cos\theta}{y \times u}$$

Dimana :

A : Luas penampang penghantar yang diperlukan (mm²)

y : Daya hantar jenis pengantar

Untuk tembaga = $(56,2 \times 10^6)$ dalam $(\text{Ohm.m})^{-1}$

Untuk aluminium = (33×10^6) dalam $(\text{Ohm.m})^{-1}$

l : Panjang penghantar (meter)

I : Kuat arus yang mengalir (Ampere)

3.5.2 Macam Penghantar

Penggunaan penghantar harus sesuai dengan konstruksi penghantar dan peruntukan untuk dihubungkan dengan peralatan listrik.

Ada dua macam penghantar listrik yaitu :

a. Kawat

Penghantar tanpa isolasi (telanjang) yang dibuat dari tembaga (Cu) atau aluminium (Al), contoh BC, BCC, ACSR

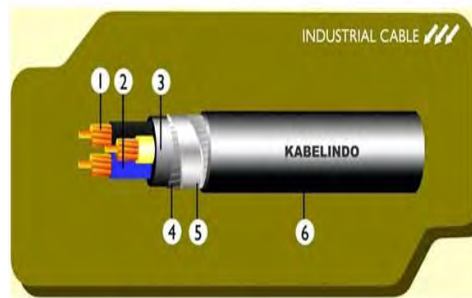
b. Kabel

Penghantar yang terbungkus isolasi, ada yang berinti tunggal atau banyak, ada yang kaku, ada yang dipasang di udara atau tanah, dan masing-masing sesuai dengan kondisi pemasangannya.

Macam-macam kabel :

a. Kabel NYFGBY

Kabel jenis ini biasanya digunakan untuk sirkuit power distribusi, baik pada lokasi kering ataupun lembab/basah. Dengan adanya pelindung kawat dan pita baja yang galvanisasi, kabel ini memungkinkan ditanam langsung dalam tanah tanpa pelindung tambahan. Isolasi dibuat tanpa warna dan tiga urat dibedakan dengan non strip, strip 1, strip 2. Kabel ini mempunyai selubung PVC warna merah dengan penampang luar mencapai 57 mm. Gambar kabel NYFGBY dapat dilihat pada gambar 3.4.



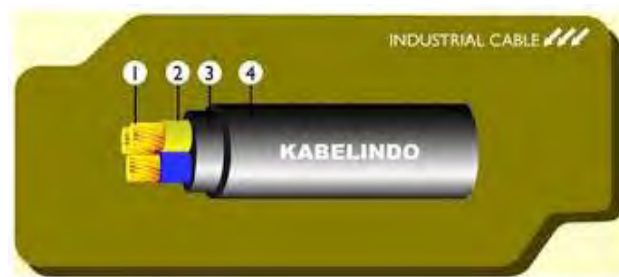
Gambar 3.4 Kabel NYFGBY

Keterangan :

1. Konduktor : Tembaga
2. Isolasi : PVC
3. Filler : PVC
4. Perisai : Kawat baja dan spiral pita yang berlapis seng
5. Perisai : Kawat baja dan spiral pita yang berlapis seng
6. Pelindung Luar : PVC terektrusi

b. Kabel NYY

Kabel ini dirancang untuk instalasi tetap dalam tanah yang harus diberikan pelindung khusus (misalnya: duct, pipa baja, PVC atau besi baja). Instalasi ini bisa ditempatkan di luar atau di dalam bangunan baik pada kondisi basah ataupun kering. Kabel jenis ini mempunyai selubung PVC warna hitam, terdiri dari 1-4 urat dengan penampang luar mencapai 56 mm. Penggunaan kabel NYY diatur dalam PUIL 2000 pasal 7.15. Gambar kabel NYY dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kabel NYY

Keterangan :

1. Konduktor : Tembaga
2. Isolasi : PVC
3. Filler : PVC
4. Pelindung Luar : PVC

c. Kabel NYM

Kabel ini hanya direkomendasikan khusus untuk instalasi tetap di dalam bangunan yang penempatannya bisa di dalam atau di luar plester tembok ataupun dalam pipa pada ruangan kering atau lembab. Kabel ini tidak di ijin untuk dipasang di luar rumah yang langsung terkena panas dan hujan ataupun ditanam langsung dalam tanah. Penggunaan kabel instalasi berselubung ini diatur dalam PUIL 2000 pasal 7.12.2. Gambar kabel NYM dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kabel NYM

Keterangan :

1. Konduktor : Tembaga
2. Isolasi : PVC
3. Filler : PVC
4. Pelindung Luar : PVC

d. Kabel NYA

Kabel jenis ini dirancang dan direkomendasikan untuk digunakan pada instalasi tetap dalam kotak distribusi atau rangkaian pada panel. Pemasangan kabel ini hanya diperbolehkan untuk tempat kering dan tidak direkomendasikan bila dipasang pada tempat yang basah atau langsung terkena cuaca. Gambar kabel NYA dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Kabel NYA

Keterangan :

1. Konduktor : Tembaga
2. Isolasi : PVC

e. Kabel NYAF

Kabel jenis ini fleksibel dan dirancang untuk instalasi di dalam pipa, duct atau dalam kotak distribusi. Karena sifatnya yang fleksibel, kabel ini sangat cocok untuk tempat yang mempunyai belokan yang tajam. Kabel dengan ukuran kurang dari 1,5 mm² hanya diperbolehkan digunakan di dalam peralatan ataupun papan pengontrol dan tidak diperbolehkan dipasang untuk instalasi tetap.

f. Hantaran Tembaga Telanjang (BC)

Untuk saluran distribusi udara yang direntangkan diantara tiang-tiang dan isolator-isolator yang khusus dirancang untuk itu. Disamping itu juga bisa digunakan untuk hantaran pertanahan (grounding).

g. Twisted Cable Saluran Rumah (Service Entrance)

Kabel jenis ini khusus digunakan untuk saluran jaringan distribusi ke konsumen. Dengan adanya bahan penghantar dari tembaga jenis setengah keras atau keras, maka kabel ini memungkinkan dapat digantung antar tiang tanpa penunjang khusus. Zat karbon hitam yang terdapat pada isolasi sangat memungkinkan ketahanannya terhadap cuaca tropis.

h. Twisted Cable Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (TR)

Kabel jenis ini khusus digunakan untuk jaringan distribusi tegangan rendah yang jauh lebih praktis dari pada hantaran

telanjang. Dengan adanya penunjang yang sekaligus sebagai netral, kabel ini memungkinkan untuk ditegangkan. Sesuai kebutuhan kabel ini bisa di lengkapi dengan saluran penerangan jalan biasanya terdiri dari dua urat 16 mm² alumunium.

i. N2XSY

Kabel jenis ini digunakan untuk jaringan distribusi tegangan menengah. Dengan konduktor yang terbuat dari tembaga. Oleh karena itu jenis-jenis kabel tersebut dinyatakan dalam singkatan huruf dan angka.

3.6 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan dalam suatu distribusi dan instalasi listrik sangat diperlukan, sebab pentanahan pada peralatan yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan dan dapat berakibat juga pada siapa saja yang dekat dengan peralatan tersebut. Prinsip kerja system pentanahan adalah mengalirkan arus induksi dan efek-efek yang timbul ke dalam tanah.

Dalam sebuah system distribusi besar tahanan maksimum yang diperbolehkan sesuai peraturan PUIL adalah 5 Ohm. System pentanahan dalam suatu instalasi listrik maupun peralatan listrik, dengan tujuan agar tercapai kehandalan system dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai konsumen di samping keselamatan peralatan terpasang dan keselamatan jiwa manusianya adalah sebagai berikut :

- Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah tersebut.
- Memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan.

Untuk pemilihan luas penampang dari kawat pentanahan atau grounding dapat kita gunakan standar dari PUIL 2000 pada halaman 77 tabel 3.16-1 “Luas penampang penghantar proteksi tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum pada tabel 3.16-1. Jika penerapan tabel 3.16-1 menghasilkan

ukuran yang tidak standart, maka dipergunakan penghantar yang mempunyai luas penampang standart terdekat”.

Tabel 3.2 Luas Penampang minimum penghantar proteksi

Luas Penampang Penghantar Fasa Instalasi S (mm ²)	Luas Penampang Minimum Penghantar Proteksi yang berkaitan SP (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 32$	16
$S > 32$	S/2

Sumber : Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 hal. 77 tabel 3.16-1

