



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Distribusi Daya Listrik

Distribusi Daya Listrik dapat diartikan sebagai sarana penyampaian tenaga listrik dari sumber ke pusat beban/ perangkat listrik. Oleh karena itu sumber tenaga listrik untuk beban memiliki kondisi dan persyaratan tertentu, maka sarana penyampaiannya pun dikehendaki memenuhi persyaratan tertentu pula.

Kondisi dan persyaratan tersebut antara lain (Affan, 2009) :

1. Setiap peralatan listrik dirancang memiliki rating tegangan, frekuensi, dan daya nominal tertentu.
2. Letak titik sumber dengan pembangkit tidak selalu berdekatan.
3. Pada pengoperasian peralatan listrik perlu dijamin keamanan bagi peralatan itu sendiri, bagi manusia pengguna dan bagi lingkungannya.

Sedangkan sistem kelistrikan adalah suatu sistem yang membahas segala sesuatu yang berhubungan dengan listrik baik sumber listrik, beban listrik maupun jaringan harus dirancang sedemikian rupa agar didapatkan efisiensi dan optimasi dari sebuah sistem yang dipasang. Dengan adanya tuntutan tersebut, maka diperlukan suatu sistem yang baik, aman, ekonomis dan fleksibel dalam pengembangannya di masa yang akan datang (Yayat S, 2007). Suatu instalasi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yaitu Penyediaan tenaga listrik, Sistem pembagian, Saluran tenaga listrik, Pengamanan, Pentanahan (Samuel dkk, 2015). Instalasi listrik pada suatu obyek seperti gedung dan industri harus aman digunakan oleh penghuni yang memanfaatkannya. Kebutuhan tenaga listrik pada suatu industri harus disesuaikan dengan keadaan produktivitas perusahaan itu sendiri, yang paling penting adalah kontinuitas dan keandalan yang tinggi dalam pelayanannya (Riki, 2015). Untuk menjamin tingkat keandalan dan keamanan tersebut, maka semua peralatan listrik yang digunakan maupun instalasi listriknya harus mematuhi standar yang telah ditetapkan. Terdapat tiga kriteria utama yang harus dipenuhi agar suatu jaringan listrik dapat dikatakan baik yaitu Fleksibilitas,



Kepercayaan dan Keamanan (Sunarno, 2006). Selain Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), beberapa peraturan yang dijadikan acuan pada sistem instalasi listrik, yaitu Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja beserta peraturan pelaksanaannya, Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup dan Undang-Undang Nomor 15 Tahun 2002 tentang ketenagalistrikan.

### **2.1.1 Daya Listrik**

Terdapat 3 jenis daya listrik, yaitu daya nyata, daya reaktif, dan daya semu. Daya semu merupakan gabungan dari daya nyata dengan daya reaktif. Satuan yang digunakan untuk daya nyata adalah Watt, satuan untuk daya reaktif adalah VAR (Volt-Ampere Reaktif), dan satuan yang digunakan untuk daya semu adalah Volt Ampere (Hendra, 2012).

Daya semu dinyatakan dengan satuan Volt Ampere (VA) menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang terdapat pada peralatan generator dan transformator, pada suatu instalasi listrik khususnya instalasi pada pabrik atau industri juga terdapat beban tertentu seperti motor listrik yang memerlukan daya reaktif (VAR) untuk membuat medan magnet atau dengan kata lain daya reaktif adalah suatu daya yang terpakai sebagai energi pembangkit fluk magnet, sehingga timbul magnet dan daya ini dikembalikan ke sistem karena efek induksi elektromagnet itu sendiri. Sehingga daya ini sebenarnya merupakan beban pada suatu sistem tenaga listrik.

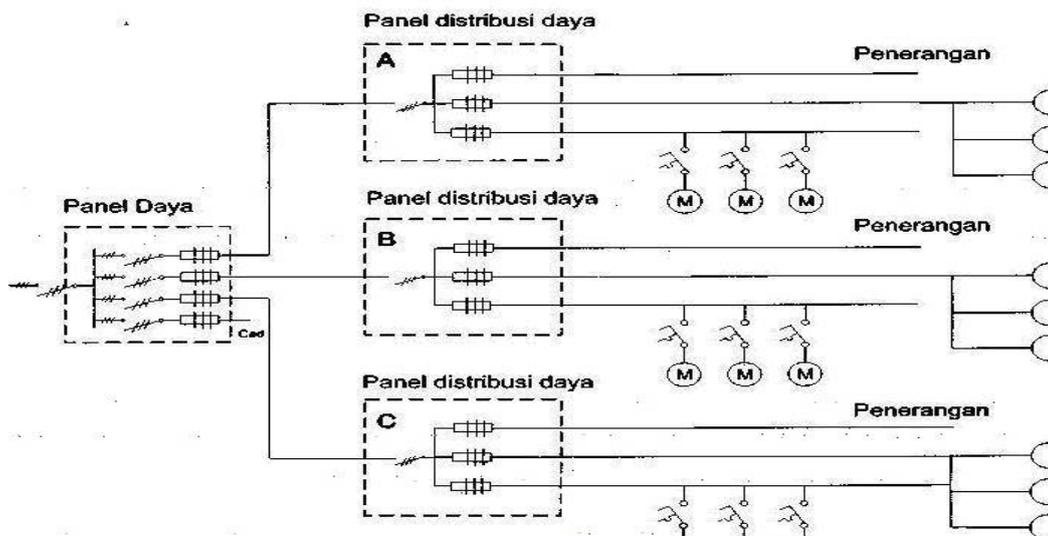
### **2.1.2 Klasifikasi Daya Listrik**

Klasifikasi daya listrik pada umumnya dibagi menjadi tiga bagian. Daya tersambung adalah daya yang disambungkan oleh pihak PLN kepada konsumen. Dalam menyalurkan energi listriknya pihak PLN mempunyai aturan-aturan tertentu sehingga konsumen harus mengikuti aturan yang telah ditetapkan tersebut. Daya terpasang adalah besarnya daya yang dihitung dari besarnya masing-masing beban yang terpasang. Beban yang terpasang dapat berupa lampu, motor listrik, dan beban listrik lainnya. Daya terpasang biasanya dinyatakan

dalam kVA. Besarnya daya terpasang ini bisa lebih besar dari daya tersambung karena ada kemungkinan beban yang ada tidak beroperasi secara bersamaan. Daya terpakai adalah besarnya pemakaian daya listrik dari beban yang terpasang. Besarnya pemakaian daya listrik ini dapat diketahui dari peralatan pengukur, misalnya watt meter dan peralatan lainnya. Beban yang terpasang ada kemungkinan tidak dioperasikan secara serentak, sehingga besarnya daya yang terpakai dibawah daya yang tersambung (Pieter S dkk, 2015)

## 2.2 Panel Distribusi Daya

Panel Distribusi Daya adalah tempat menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik dari panel daya ke beban (konsumen), baik untuk instalasi tenaga ataupun instalasi penerangan. Selain itu panel distribusi daya juga berfungsi untuk melindungi sirkuit dan perangkat listrik dari gangguan yang terjadi pada listrik. Yang mana jika terjadi gangguan pada listrik, maka alat proteksi yang ada pada panel tersebut akan langsung memutus sumber listrik, sehingga ketika terjadi gangguan pada listrik tidak sampai menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik tersebut.



Gambar 2. 1 Alur distribusi daya listrik pada panel



Pada gedung bertingkat, daya yang dialirkan dari transformator akan didistribusikan ke panel daya (panel utama), lalu dibagi kembali ke panel per lantai sesuai beban yang akan dialiri listrik. Pada gambar 2.1 diatas, didapat bahwa panel daya mendistribusikan daya ke 3 panel yaitu panel A, panel B, dan panel C. Setelah itu disalurkan ke beban listrik, agar dapat bekerja. Beban tersebut dapat berupa penerangan (lampu), stopkontak yang menghidupkan perangkat elektronik, ataupun motor-motor.

## **2.3 Alur Distribusi Daya dan Komponen Panel**

### **2.3.1 Panel LVMDP**

Panel LVMDP (Low Voltage Main Distribution Panel ) atau panel utama tegangan rendah merupakan panel utama yang menerima suplai tegangan 220/380 V dari sisi sekunder trafo step down. Panel ini berfungsi untuk mendistribusikan daya listrik ke panel-panel SDP (Sub Distribution Panel). Panel LVMDP ditempatkan pada ruang khusus atau juga disebut power house. Menurut PUIL 2011 bagian 5.11 bahwa di sekitar panel hubung bagi dan kendali harus terdapat ruang yang cukup luas sehingga mudah dalam pemeliharaan, pemeriksaan dan perbaikan. Pencahayaan juga harus memadai serta ruang untuk penempatan panel harus dari bahan yang tidak mudah terbakar. Komponen utama pada panel LVMDP yaitu circuit breaker, busbar, kabel penghantar dan power meter.

### **2.3.2 Panel SDP**

Panel SDP (Sub Distribution Panel) yaitu panel yang berfungsi mendistribusikan daya listrik dari Panel LVMDP (Panel Utama Tegangan Rendah) menuju panel beban peralatan seperti panel lampu penerangan dan stop kontak, panel motor, panel peralatan elektronik dan lain – lain. Panel SDP berfungsi sebagai switcher dan pengaman beban lebih (Hendra, 2012). Komponen utama pada SDP yaitu pengaman berupa MCCB, NFB maupun MCB, busbar, fuse lampu tanda, dan kabel penghantar serta tambahan peralatan pengukuran daya listrik yaitu volt meter dan ampere meter.



### **2.3.3 Panel Beban**

Panel beban merupakan panel kendali yang digunakan untuk menyuplai beban akhir. Panel beban dibedakan menjadi beberapa kelompok karena jenis beban yang disuplai dan dikendalikan, seperti panel penerangan, panel tenaga, panel motor dan juga panel peralatan elektronik (Affan, 2009). Sesuai standar PUIL 2011 bahwa kelompok beban pencahayaan, kelompok tenaga, kelompok beban 1 fasa dan 3 fasa harus dipisah.

### **2.3.4 Pengaman (Circuit Breaker)**

Pengaman (Circuit Breaker) adalah peralatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian pada saat berbeban maupun tidak berbeban serta akan membuka pada saat terjadi gangguan arus lebih dan hubung singkat pada rangkaian instalasi listrik (Affan, 2009).

Sebuah CB harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Harus dapat menghantarkan arus beban penuh untuk waktu yang lama.
2. Harus mampu menahan arus hubung singkat dalam waktu tertentu sampai gangguan dapat dibatasi oleh pemutus lain yang letaknya paling berdekatan dengan titik gangguan.
3. Harus mampu menahan efek busur api pada kontak-kontaknya dan kenaikan temperatur yang disebabkan oleh arus hubung singkat yang lewat.
4. Celah diantara kontak-kontaknya pada saat terbuka harus mampu menahan tegangan sistem.

Jenis – jenis circuit breaker yang digunakan pada instalasi kelistrikan pada industri diantaranya yaitu :



## 1. ACB (Air Circuit Breaker)



**Gambar 2. 2 Air Circuit Breaker**

Air circuit Breaker (ACB) merupakan jenis circuit breaker (CB) dengan rating arus yang tinggi. ACB banyak dipakai pada panel distribusi utama tegangan rendah (LVMDP), dimana dibutuhkan tingkat pengamanan yang tinggi dan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik. Udara pada tekanan ruang atmosfer digunakan sebagai peredam bunga api yang timbul pada proses switching maupun gangguan. Rating Air Circuit Breaker pada tegangan rendah dan tegangan menengah : 460 V 400 – 3500 A 40 -75 kA 3,3 KV 400 – 3500 A 13,1 – 31,5 kA 6,6 KV 400 – 2400 A 13,1 – 20 kA

## 2. MCCB (Moulded Case Circuit Breaker)



**Gambar 2. 3 Moulded Case Circuit Breaker**

MCCB adalah peralatan pengaman untuk mengamankan rangkaian dari arus lebih dan hubung singkat. MCCB memiliki rating arus yang cukup tinggi dan

dapat disetting sesuai kebutuhan. Spesifikasi MCCB umumnya dibagi dalam 2 parameter operasi yaitu  $U_e$  (Tegangan Kerja) dan  $I_e$  (arus kerja atau arus nominal) (M.Hasan Basri, 2008).

### 3. MCB (Miniatur Circuit Breaker)



**Gambar 2. 4 Miniature Circuit Breaker**

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan alat pengamanan terhadap gangguan arus beban lebih dan arus hubung singkat. Berdasarkan konstruksinya MCB dilengkapi dengan komponen dari logam yang digunakan untuk pengamanan arus beban lebih dan electromagnet untuk pengaman arus hubung singkat (Yayat, 2007).

Peralatan-peralatan ini harus disusun untuk memutuskan sirkit sebelum suatu kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh termal atau elektromagnetik yang disebabkan karena arus gangguan mencapai nilai yang ditentukan. Peralatan untuk proteksi terhadap arus beban lebih dan arus hubung singkat harus sanggup memutuskan setiap arus lebih yang terjadi di tempat peralatan dipasang (Hari, Syahril, 2013). Keuntungan dari circuit breaker dibandingkan dengan sikring adalah kemampuan untuk dapat dipergunakan kembali setelah mengalami trip, sedangkan sikring harus diganti dengan yang baru bila mengalami trip.

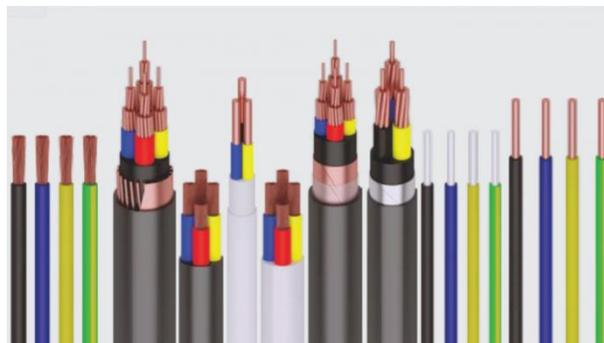
MCB yang sering digunakan ialah MCB 1 Fasa dan MCB 3 Fasa. MCB 1 Fasa dapat diartikan sebagai alat pemutus aliran listrik yang memiliki kutub tunggal, sehingga memungkinkan alat ini untuk memutus arus listrik hanya dengan satu tuas saja. Dengan begitu, listrik bisa lebih cepat diputus saat terjadi



overload ataupun overheating. Instalasi MCB 1 Fasa bisa ditemui dengan mudah di instalasi listrik rumah atau berbagai alat elektronik yang umum dipakai sehari-hari. Selain lebih sederhana, MCB ini juga memiliki instalasi yang mudah dan biaya yang cenderung lebih terjangkau.

Sedangkan MCB 3 Fasa adalah alat pemutus aliran listrik yang memiliki 3 kutub yang berbeda, meskipun antara satu kutub dengan kutub lainnya berhubungan satu sama lain. 3 kutub ini dibutuhkan untuk kontrol listrik yang lebih baik, terutama bila muatan listrik yang diterima memiliki kapasitas yang berbeda. Instalasi MCB 3 Fasa umumnya diterapkan di tempat-tempat yang membutuhkan listrik tinggi, seperti PLN, gedung, mall, dan lain sebagainya. Setiap kutub ini akan mengatur listrik yang ada di bagian tertentu dan begitupun kutub yang lainnya.

### **2.3.5 Kabel Penghantar**



**Gambar 2. 5 Kabel Penghantar**

Salah satu komponen penting dalam pendistribusian tenaga listrik pada industri, gedung, maupun hunian rumah tangga yaitu Penghantar. Penghantar adalah suatu benda yang berbentuk logam maupun non logam yang bersifat konduktor dan dapat mengalirkan arus dari satu titik ke titik yang lain. Ada 2 jenis penghantar dalam instalasi distribusi listrik yaitu kabel dan kawat penghantar. Kabel adalah penghantar yang dilindungi dengan isolasi dan keseluruhan inti dilindungi dengan selubung pelindung bersama, contohnya kabel NYY, NYF, NYM, NYFGbY dan lain sebagainya.



Kabel daya pada sistem instalasi di industri maupun gedung biasa menggunakan kabel jenis NYY dan juga NYFGbY. Untuk kabel jenis NYY pada pemasangan dalam tanah harus diberi perlindungan tambahan untuk menghindari kerusakan mekanis. Sedangkan untuk NYFGbY pada pemasangan dalam tanah tidak memerlukan perlindungan, karena telah dilengkapi dengan perisai kawat baja pipih. Sedangkan kawat penghantar adalah penghantar yang tidak diberi isolasi contohnya kawat BC (Bare Cooper), ACSR dan lain sebagainya (Ismansyah, 2009). Berdasarkan PUIL 2000 Bagian 4.2.2.2 yaitu Semua penghantar harus mempunyai KHA sekurang-kurangnya sama dengan arus yang mengalir melaluinya.

### 2.3.6 Penghantar Rel (Busbar)



**Gambar 2. 6 Busbar**

Busbar merupakan penghantar listrik yang disusun untuk menerima arus dari satu atau lebih sirkit incoming, mengumpukannya dan kemudian menghantarkan atau mendistribusikan arus listrik yang sama tersebut kepada satu atau lebih sirkit outgoing (Gregorius M, 2006). Berdasarkan standar PUIL 2000, dalam penggunaannya diberikan warna yang berbeda antara R, S, T, N dan PE (Ground). Busbar terbuat dari tembaga dan juga aluminium.

### 2.3.7 Pentanahan

Grounding atau Pentanahan adalah pengamanan bagian aktif atau pengamanan bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkit suatu instalasi listrik yang dalam keadaan bekerja normal umumnya bertegangan dan dialiri arus



listrik. Tujuan dari pentanahan adalah untuk menghindari kemungkinan terjadinya tegangan sentuh dan untuk mengurangi beda tegangan antara badan peralatan dengan tanah, sehingga didapatkan harga yang aman (Yayat, 2007). Maksimum harga tahanan yang diijinkan yaitu  $5 \Omega$  pada gedung atau bangunan (Abrar dan Arlenny, 2015).

#### **2.4 Pemilihan Pengaman**

Pengaman (Circuit Breaker) dipasang pada instalasi distribusi listrik untuk 2 tujuan dasar, yaitu (Affan, 2009) :

1. Berfungsi selama kondisi pengoperasian normal, yaitu untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian dalam keadaan berbeban dengan tujuan untuk pengoperasian dan perawatan dari rangkaian maupun bebannya.
2. Bekerja selama kondisi operasional yang tidak normal, yaitu jika terjadi hubung singkat atau arus lebih.

Arus lebih maupun hubung singkat dapat mengakibatkan kerusakan pada instalasi suplai daya listrik dan juga komponen peralatan apabila dibiarkan mengalir dalam waktu yang lama. Sesuai dengan pernyataan pada PUIL 2011 Bagian 2.2.7.2.1 yaitu Gawai proteksi harus disediakan agar secara otomatis memisahkan konduktor aktif dari sirkit dalam peristiwa :

1. arus beban lebih
2. arus hubung pendek atau
3. arus bocor ke bumi.

Gawai-gawai ini harus disusun untuk memutuskan sirkit sebelum suatu kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh termal atau elektromagnetik yang disebabkan karena arus lebih atau arus bocor ke bumi mencapai nilai yang ditentukan. Proteksi ini dapat dicapai dengan pemilihan suatu gawai tunggal atau suatu gabungan dari gawai-gawai terpisah yang memberikan proteksi terhadap beban lebih, hubung pendek dan arus bocor ke bumi.



## 2.5 Arus Nominal Beban

Perhitungan arus nominal atau arus beban pada instalasi listrik dipengaruhi oleh besarnya beban, faktor daya dan tegangan sistem, nilai arus beban berbanding terbalik dengan tegangan sistem dan faktor daya atau arus beban berbanding lurus dengan jumlah beban (Hasyim, 2011). Untuk menentukan I nominal beban terpasang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut (P.Van Harten, 1992; 144) :

1. Beban 1 Fasa :

$$I = \frac{P \text{ (Watt)}}{V \text{ (Volt)} \cdot \text{Cos}\phi} \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Beban 3 Fasa :

$$I = \frac{P \text{ (Watt)}}{\sqrt{3}V_{L-L} \text{ (Volt)} \cdot \text{Cos}\phi} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

I = Arus Nominal beban (Ampere)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan Fasa dengan netral (220 V)

VL-L = Tegangan Fasa dengan Fasa (380 Volt)

Cos  $\phi$  = Faktor Daya Beban

## 2.6 Menentukan Rating Arus Nominal Circuit Breaker

Untuk menentukan kapasitas circuit breaker pada instalasi kelistrikan, beban yang terpasang harus ditentukan besar arus nominalnya terlebih dahulu. Beban-beban yang terpasang terbagi menjadi 2 yaitu beban 3 fasa seperti motor induksi 3 fasa, dan pendingin ruangan 3 fasa. Untuk beban 1 fasa terdiri dari lampu penerangan, AC ruangan 1 fasa, komputer, stop kontak dan lain – lain.

Setelah arus nominal (In) beban terpasang diketahui, maka rating arus



circuit breaker yang akan dipakai sebagai proteksi pada panel dapat ditentukan dengan rumus sesuai PUIL 2011 yaitu :

$$I_{rat} = 115 \% \times I_n \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$I_{rat}$  = KHA kabel penghantar (A)

$I_n$  = Arus nominal beban (A)

115% = Ketentuan pemilihan pengaman

Yang mana setelah diketahui  $I_{rat}$  nya, maka dapat membandingkannya dengan tabel dibawah ini:

No.	Daya Terpasang (Volt Ampere)	Pembatas MCB/MCCB (Ampere)
1	250	1 X 1,2
2	450	1 X 2
3	900	1 X 4
4	1,300	1 X 6
5	2,200	1 X 10
6	3,500	1 X 16
7	4,400	1 X 20
8	5,500	1 X 25
9	7,700	1 X 35
10	11,000	1 X 50
11	13,900	1 X 63
12	17,000	1 X 80
13	22,000	1 X 100
14	3,900	3 X 6
15	6,600	3 X 10
16	10,600	3 X 16
17	13,200	3 X 20
18	16,500	3 X 25
19	23,000	3 X 35
20	33,000	3 X 50
21	41,500	3 X 63
22	53,000	3 X 80
23	66,000	3 X 100
24	82,500	3 X 125
25	105,000	3 X 160
26	131,000	3 X 200

Gambar 2. 7 Tabel Pengaman

Misalkan  $I_n$  (arus nominal) yang didapat ialah 5,5 A, maka pengaman yang dibutuhkan adalah sekurang-kurangnya 6 A. Namun jika membutuhkan spare (cadangan) untuk penambahan di masa yang akan datang, maka dapat menggunakan pengaman dengan arus 1 atau 2 tingkat di atasnya.

## 2.6 Menentukan KHA Kabel Penghantar

Seperti yang telah dipersyaratkan dalam PUIL 2011 bagian 2.2.2.2 bahwa setiap konduktor harus mempunyai KHA (Kapasitas Hantar Arus), tidak kurang dari arus yang mengalir di dalamnya. Setelah memperoleh hasil perhitungan arus



beban yang akan dilewatkan pada penghantar, maka untuk mencari KHA kabel dapat dihitung dengan rumus sesuai PUIL 2011 yaitu :

1. Beban 1 Fasa :

$$I_{KHA} = 125 \% \times I_n \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Beban 3 Fasa :

$$I_{KHA} = (125 \% \times I_n \text{ terbesar}) + I_n \text{ yang lainnya} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$I_{KHA}$  = KHA kabel penghantar (A)

$I_n$  = Arus nominal beban (A)

$I_n$  terbesar = Arus nominal terbesar beban yang dilayani (A)

$I_n$  lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

125% = Ketentuan pemilihan penghantar

Persamaan di atas untuk menentukan KHA pada penghantar dari trafo distribusi menuju Panel Utama Tegangan Rendah (LVMDP) hingga ke Panel Beban Penerangan, Stop Kontak dan juga Motor – Motor induksi 3 fasa maupun 1 fasa. Sesuai dengan PUIL 2011 bagian 510.5.3.2 yaitu Penghantar sirkit akhir yang mensuplai dua motor atau lebih, tidak boleh mempunyai KHA kurang dari jumlah arus beban penuh semua motor itu ditambah 25 % dari arus beban penuh motor yang terbesar dalam kelompok tersebut. Yang dianggap motor terbesar ialah yang mempunyai arus beban penuh tertinggi. Yang mana setelah diketahui  $I_{KHA}$  nya, maka dapat membandingkannya dengan tabel dibawah ini:



TIPE KABEL	LUAS PENAMPANG (mm <sup>2</sup> )	KHA (Ampere)	
		Dalam Tanah (30°C)	Jarngan Udara (40°C)
NYM	1.5	19	16
	2.5	25	22
	4	34	30
	6	44	39
	10	61	53
	16	82	71
	25	108	94
	35	134	117
NYY	1.5	24	18
	2.5	32	25
	4	41	34
	6	52	44
	10	69	60
	16	89	80
	25	116	105
	35	138	130
	50	165	160
	70	205	200
	95	245	245
	120	280	285
	150	315	325
	185	355	370
240	415	435	
300	465	500	
NYA	1.5	15	24
	2.5	19	32
	4	25	43
	6	33	54
	10	45	73
	16	61	98
	25	83	129
	35	103	158
	50	132	197
	70	166	246

Gambar 2. 8 Tabel Luas Penampang Kabel

LEBAR (mm)	TEBAL (mm)	AMPERE (A)
10	3	143
15	3	206
20	3	269
25	3	332
20	5	362
25	5	443
30	5	524
35	5	606
40	5	687
50	5	849
30	10	793
40	10	1024
50	10	1254

Gambar 2. 9 Tabel Luas Penampang Busbar