

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Persyaratan Umum Instalasi Listrik**

Peraturan Umum Instalasi Listrik disingkat PUIL 1964, yang merupakan penerbitan pertama dan PUIL 1977 dan 1987 adalah penerbitan PUIL yang kedua dan ketiga yang merupakan hasil penyempurnaan atau revisi dari PUIL sebelumnya, maka PUIL 2000 merupakan terbitan keempat. Jika dalam penerbitan PUIL 1964, 1977 dan 1987 nama buku ini adalah Peraturan Umum Instalasi Listrik maka pada penerbitan tahun 2000 dan 2011, namanya menjadi Persyaratan Umum Instalasi Listrik dengan tetap mempertahankan singkatan yang sama yaitu PUIL. Maksud dan tujuan Persyaratan Umum Instalasi Listrik ini adalah:(Di et al., 2005)

1. Agar perusahaan instalasi listrik terselenggara dengan baik.
2. Keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya.
3. Perlindungan terhadap makhluk hidup.
4. Melindungi manusia terhadap bahaya sentuhan dan kejutan arus listrik.
5. Menjaga gedung serta isinya dari bahaya kebakaran akibat gangguan arus listrik.
6. Menjaga tenaga listrik yang aman dan efisien.

Rancangan suatu sistem instalasi listrik harus memenuhi ketentuan Peraturan Instalasi Listrik (PUIL) dan peraturan lain seperti:

1. Undang-undang Nomor 1 tahun 1970 tentang keselamatan kerja, beserta peraturan pelaksanaannya.
2. Undang-undang Nomor 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
3. Undang-undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.

## **2.2 Instalasi Listrik**

Menurut peraturan menteri pekerjaan umum dan tenaga listrik nomor 023/PRT/1978, pasal 1 butir 5 tentang instalasi listrik, menyatakan bahwa instalasi listrik adalah saluran listrik termasuk alat-alat yang terpasang di dalam dan atau diluar bangunan untuk menyalurkan arus listrik setelah atau di belakang pesawat pembatas/meter milik perusahaan. Secara umum instalasi listrik dibagi menjadi dua jenis yaitu:

### **2.2.1. Instalasi Penerangan Listrik**

Instalasi penerangan adalah instalasi yang menghubungkan sumber listrik dengan beban listrik yang mengeluarkan cahaya yaitu lampu.

### **2.2.2. Instalasi Daya Listrik**

Instalasi daya listrik adalah instalasi yang menghubungkan sumber listrik dengan mesin-mesin listrik atau untuk melayani motor-motor listrik di pabrik, pompa air, *Air Conditioner* (AC) dan alat elektronik lainnya yang mengubah energi listrik menjadi energi panas atau energi mekanis sesuai dengan kebutuhan manusia. (Barokah, 20105)

### **2.3 Prinsip-prinsip Instalasi Listrik**

Beberapa prinsip instalasi menjadi pada pemasangan suatu instalasi listrik, tujuannya adalah agar instalasi yang dipasang dapat digunakan secara optimal. Adapun prinsip-prinsip dasar tersebut sebagai berikut: (Barokah, 20105)

#### **2.3.1. Keamanan**

Yang dimaksud keamanan secara elektrik adalah tidak membahayakan manusia, ternak, dan barang lainnya apabila terjadi keadaan tidak normal dalam suatu instalasi listrik.(Dien et al., 2018)

#### **2.3.2. Keandalan**

Artinya seluruh peralatan yang dipakai pada instalasi tersebut haruslah bekerja dengan baik dan sesuai dengan fungsinya tanpa ada kegagalan dan bila terjadi suatu kerusakan atau gangguan harus mudah dan cepat diatasi dan diperbaiki agar gangguan yang terjadi dapat diatasi. (Mousavi et al., 2015)

#### **2.3.3. Ketersediaan**

Artinya kesiapan suatu instalasi listrik dalam melayani kebutuhan berupa daya, peralatan maupun kemungkinan perluasan instalasi. Jika ada perluasan instalasi tidak mengganggu sistem instalasi listrik yang sudah ada. (Mousavi et al., 2015)

#### **2.3.4. Ketercapaian**

Yang dimaksud ketercapaian adalah pemasangan peralatan instalasi yang mudah dijangkau oleh pengguna dan di dalam mengoperasikan peralatan tersebut juga mudah dan dapat dijangkau oleh konsumen.

### **2.3.5. Keindahan**

Yang dimaksud dengan keindahan adalah pemasangan komponen instalasi listrik sesuai dengan peruntukannya dan dipasang secara rapi serta tidak mengganggu struktur bangunan.

### **2.3.6. Ekonomis**

Yang dimaksud ekonomis adalah biaya yang dikeluarkan untuk instalasi harus efisien dan bahan instalasi yang dipasang harus sesuai dengan kebutuhan.

## **2.4 Ketentuan Rencana Instalasi Listrik**

Rencana instalasi listrik adalah berkas gambar rencana dan uraian teknik yang digunakan sebagai pegangan untuk melaksanakan pemasangan suatu instalasi listrik. Rencana instalasi listrik harus dibuat dengan jelas serta mudah dibaca dan dipahami oleh para teknisi listrik, untuk itu harus diikuti ketentuan dan standar yang berlaku. Rencana gambar instalasi terdiri atas: (Mousavi et al., 2015)

### **2.4.1. Gambar Situasi**

Gambar yang menunjukkan dengan jelas letak gedung atau bangunan tempat instalasi listrik tersebut akan dipasang dan rencana pemasangan dengan sumber tenaga listrik.

### **2.4.2. Gambar Instalasi**

Gambar instalasi, yang meliputi:

1. Rencana tata letak, yang menunjukkan posisi pemasangan peralatan instalasi listrik, seperti titik lampu, kotak kontak, saklar motor listrik, perlengkapan hubung bagi (PHB) dan lain-lain.

2. Rencana hubungan perlengkapan listrik dengan gawai pengendalinya seperti hubung lampu dengan saklarnya, motor dengan pengasutannya, dan dengan gawai pengantar yang merupakan sebagian dari sirkuit akhir atau cabang sirkit akhir.
3. Gambar hubungan antara bagian sirkuit akhir dan PHB yang bersangkutan, ataupun pemberian yang jelas mengenai setiap perlengkapan listrik.
4. Tanda atau keterangan yang jelas mengenai setiap perlengkapan listrik.

#### **2.4.3. Diagram Garis Tunggal**

Diagram garis tunggal, yang meliputi:

1. Diagram PHB perlengkapan lengkap dengan keterangan mengenai ukuran dan besaran normal komponennya.
2. Keterangan mengenai jenis dan besar beban yang terpasang dan pembagiannya.
3. Ukuran dan jenis penghantar yang dipakai.

#### **2.4.4. Tabel Bahan Instalasi**

Tabel bahan instalasi, yang meliputi:

1. Jumlah dan jenis kabel, penghantar dan perlengkapan.
2. Jumlah dan jenis perlengkapan bantu.
3. Jumlah dan jenis lampu.

### **2.5 Penghantar atau Konduktor**

Penghantar atau konduktor adalah sebuah media untuk menghubungkan antara sumber listrik dengan beban, dengan demikian penghantar merupakan suatu komponen yang mutlak ada di suatu sistem instalasi listrik.

Penghantar yang digunakan haruslah sesuai dan cocok dengan besarnya beban yang disuplai serta memenuhi suatu persyaratan yang telah ditetapkan dan diakui oleh instansi yang berwenang agar terjamin keamanan dan keandalan suatu sistem instalasi listrik.

Ada tiga bagian pokok dari suatu penghantar kabel yaitu:

1. Penghantar merupakan media untuk mengalirkan listrik dari sumber listrik ke beban.
2. Isolasi merupakan bahan elektrik untuk mengisolir atau melindungi antara penghantar atau dengan penghantar lainnya maupun terhadap lingkungan.
3. Pelindung luar yang memberikan perlindungan dari kerusakan mekanis, pengaruh bahan kimia, api, dan pengaruh luar lainnya.

Menurut konstruksinya untuk inti dari suatu kabel ada yang berbentuk pejal dan serabut. Untuk instalasi yang tidak tetap atau membutuhkan *fleksibilitas* tinggi disarankan untuk menggunakan kabel serabut dan instalasi yang tetap disarankan menggunakan kabel pejal. (Mousavi et al., 2015)

### **2.5.1. Bahan Konduktor atau Penghantar**

Pada umumnya ada beberapa jenis bahan penghantar yang digunakan diantaranya aluminium, tembaga dan baja. (Mousavi et al., 2015)

#### **2.5.1.1. Aluminium**

Aluminium memiliki massa jenis  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ,  $\alpha$  nya  $1,4 \cdot 10^{-5}$ , titik leleh  $658^\circ\text{C}$  dan tidak korosif. Daya hantar aluminium sebesar  $35 \frac{\text{m}}{\text{ohm}} \cdot \text{mm}^2$  atau kira-kira 61,4% daya hantar tembaga. Aluminium murni mudah dibentuk karena lunak,

kekuatan tariknya hanya  $9kg/mm^2$  untuk itu jika aluminium digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium. Penggunaan yang demikian misalnya pada ACSR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*) atau ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*).

#### **2.5.1.2. Tembaga**

Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi yaitu  $57\Omega mm^2/m$ , pada suhu  $20^\circ C$ . Koefisien suhu ( $\alpha$ ) tembaga  $0,004 /^\circ C$ . Pemakaian tembaga pada teknik listrik yang terpenting adalah sebagai penghantar, misalnya: kawat berisolasi (NYA, NYAF), kabel (NYM, NYY, NYFGbY), busbar, pamel mesin dc, cincin seret pada mesin AC.

#### **2.5.1.3. Baja**

Baja merupakan logam yang terbuat dari besi dengan campuran karbon. Meskipun konduktivitas baja rendah namun digunakan pada penghantar transmisi yaitu ACSR. fungsi baja dalam hal ini adalah untuk memperkuat konduktor aluminium secara mekanis setelah digalvanis dengan seng. Keuntungan dipakainya baja pada ACSR adalah untuk menghemat pemakaian aluminium.

### **2.5.2. Jenis Penghantar atau Konduktor**

Secara garis besar ada dua macam penghantar listrik yaitu: (Sumardjati et al., n.d.)

#### **2.5.2.1. Kawat**

Kawat adalah penghantar yang tidak menggunakan isolasi atau pelindung, contoh penghantar tanpa isolasi seperti:

1. Kawat BC (*Bare Conductor*)

2. Kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*)
3. Kawat ACSR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*)

#### **2.5.2.2. Kabel**

Merupakan kabel berisolasi PVC dan berinti kawat tunggal. Warna isolasinya ada beberapa macam yaitu merah, kuning, biru dan hitam. Jenisnya adalah kabel udara (tidak untuk ditanam dalam tanah). Karena isolasinya hanya satu lapis, maka mudah luka karena gesekan, gigitan tikus atau gencetan. Dalam pemasangannya, kabel jenis ini harus dimasukkan dalam suatu conduit kabel. (Suriansyah, 2014) Ada beberapa jenis kabel yang direkomendasikan untuk digunakan pada instalasi listrik, diantaranya sebagai berikut:

1. **Kabel NYA** adalah penghantar dari tembaga yang berinti tunggal berbentuk pejal dan menggunakan isolasi PVC seperti diperlihatkan pada gambar 2.1. Kabel ini merupakan kabel rumah yang paling banyak digunakan. Ketentuan yang harus diperhatikan di dalam pemasangan kabel NYA sebagai berikut:
  - a) Untuk pemasangan tetap dalam jangkauan tangan, kabel NYA harus dilindungi dengan pipa instalasi
  - b) Di Ruang lembab, kabel NYA harus dipasang dalam pipa pvc untuk pemasangannya.
  - c) Kabel NYA tidak boleh dipasang langsung menempel pada plesteran atau kayu, tetapi harus dilindungi dengan pipa instalasi
  - d) Kabel NYA boleh digunakan di dalam alat listrik, perlengkapan hubung bagi dan sebagainya
  - e) Kabel NYA tidak boleh digunakan diruang basah, ruang terbuka, tempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan.

- f) Isolasi kabel NYA umumnya diberi warna hijau – kuning untuk ground, biru muda untuk netral, dan hitam, kuning, merah untuk fasa (PUIL 2011; 5210 MOD).

Berikut ini contoh penandaan kabel NYA yang sesuai dengan SPLN 42 - 1, 1991:

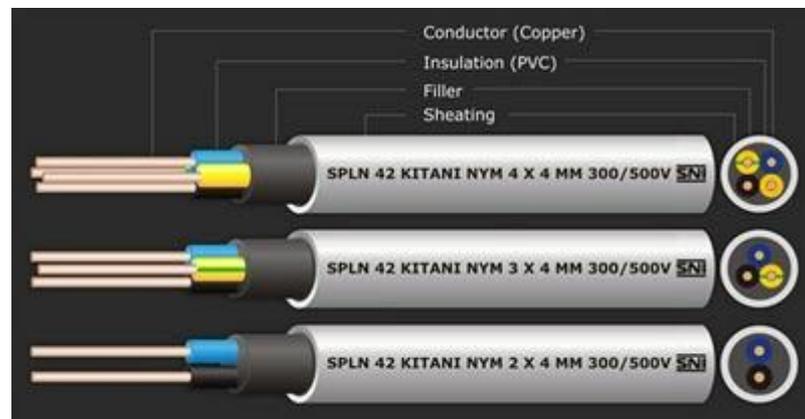


Gambar 2. 1 Kabel NYA (PUIL 2011)

2. **Kabel NYM** mempunyai isolasi luar jenis PVC berwarna putih (cara mengenalinya bisa dengan melihat warna yang khas putih ini) dengan selubung karet di dalamnya dan berinti kawat tunggal yang jumlahnya antara 2 sampai 4 inti dan masing-masing inti mempunyai isolasi PVC dengan warna berbeda. (Abidin, 2014) Keuntungan kabel instalasi berselubung dibandingkan dengan instalasi didalam pipa antara lain: lebih mudah dibengkokkan, lebih tahan terhadap pengaruh asam dan uap atau gas tajam. Serta sambungan dengan alat pemakai saat ditutup lebih rapat, konstruksi kabel NYM bisa dilihat pada gambar 2.2. Sedangkan ketentuan – ketentuan untuk pemasangan kabel NYM adalah sebagai berikut:

- a) Kabel NYM boleh dipasang langsung menempel atau ditanam pada plesteran, di ruang lembab atau basah dan ditempat kerja atau gudang dengan bahaya kebakaran atau ledakan

- b) Kabel NYM boleh langsung dipasang pada bagian – bagian lain dari bangunan, konstruksi, rangka dan sebagainya. Dengan syarat pemasangannya tidak merusak selubung ruang kabel.
- c) Kabel NYM tidak boleh dipasang di dalam tanah.

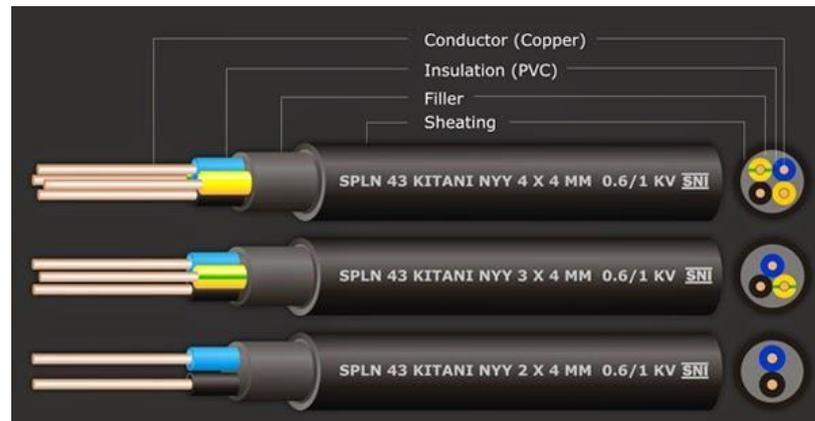


Gambar 2. 2 Kabel NYM (PUIL 2011)

3. **Kabel NYY dan NAYY:** Warna khas kabel ini adalah hitam dengan isolasi PVC ganda sehingga lebih kuat. Karena lebih kuat dari tekanan gencetan dan air, pemasangannya bias untuk outdoor, termasuk ditanam dalam tanah. Kabel untuk lampu taman dan di luar rumah sebaiknya menggunakan kabel jenis ini. (Dermawan et al., 2016) Perbedaan antara NYM dan NYY adalah bahan konduktornya atau inti kabelnya dimana NYY berintikan tembaga sedangkan NAYY berintikan aluminium. Untuk kabel tegangan rendah, tegangan nominalnya 0,6/1 kV. Dimana: 0,6 kV = tegangan nominal terhadap tanah, 1 kV = tegangan nominal penghantar.

Urutannya dapat mencapai satu sampai lima. Luas penampang penghantarnya dapat mencapai  $240\text{mm}^2$  atau lebih. Konstruksi kabel NYY dapat dilihat pada gambar 2.3 kegunaan utama dari kabel NYY adalah kabel tenaga untuk instalasi pada industri, di dalam gedung maupun di alam terbuka dan pada saluran kabel serta lemari hubung bagi. Kabel NYY dapat juga ditanam di

dalam tanah asalkan diberi perlindungan secukupnya terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis.



Gambar 2. 3 Kabel NYN (PUIL 2011)

4. **Kabel NYFGbY dan NYRGbY:** Kabel jenis ini disebut juga kabel tanah thermoplastik berperisai. Bentuk kabel ini dan konstruksinya dapat dilihat pada gambar 2.4. Inti-inti dari penghantar tembaga tanpa dilapisi timah putih dan bervariasi pvc. Kabel ini digunakan karena kemungkinan ada gangguan mekanis. Untuk pemasangan kabel ke terminal atau peralatan lainnya, penyambungan harus di solder atau diberi sepatu kabel pada ujung-ujungnya. Perbedaan antara Kabel NYFGbY dan NYRGbY terletak pada lapisan perisainya dimana Kabel NYFGbY berperisai berupa penghantar halus yang dipintal bulat sedangkan Kabel NYRGbY berperisai kawat baja bulat.



Gambar 2. 4 Kabel NYRGbY (Dermawan, Isyanto, & Ichsan, 2016)

### 2.5.3. Nomenklatur Kode-kode Kabel di Indonesia

Untuk memudahkan penyebutan identitas kabel yang sesuai dengan bahan dan jenis kabel maka digunakan kode-kode, adapun kode-kode yang berlaku dan digunakan di Indonesia ditunjukkan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Nomenklatur (Barokah, 20105)

Huruf/kode	Keterangan
N	Kabel standard dengan penghantar/inti tembaga.
NA	Kabel dengan aluminium sebagai penghantar.
Y	Isolasi PVC
G	Isolasi Karet
A	Kawat Berisolasi
Y	Selubung PVC (polyvinyl chloride) untuk kabel luar
M	Selubung PVC untuk kabel luar
R	Kawat baja bulat (perisai)
Gb	Kawat pipa baja (perisai)
B	Pipa baja
I	Untuk isolasi tetap diluar jangkauan tangan
Re	Penghantar padat bulat
Rm	Penghantar bulat berkawat banyak

Se	Penghantar bentuk pejal (padat)
Sm	Penghantar pilin bentuk sektor
F	Penghantar halus dipintal bulat
Ff	Penghantar sangat fleksibel
Z	Penghantar z
D	Penghantar 3 jalur yang di tengah sebagai pelindung

Luas penampang hantaran yang harus digunakan pertama-tama ditentukan oleh kemampuan hantar arus yang diperlukan dan suhu keliling yang harus diperhitungkan. Selain itu harus juga diperhatikan rugi tegangannya. Menurut ayat 413 A5 PUIL 1997, rugi tegangan antara perlengkapan hubung bagi utama yaitu yang dekat dengan kWh-meter PLN dan setiap titik beban pada keadaan stasioner dengan beban penuh, tidak boleh melebihi 5 % dari tegangan di perlengkapan hubung bagi utama. (Barokah, 20105)

## 2.6 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Kemampuan hantar arus (KHA) adalah arus maksimum yang dapat dialirkan dengan kontinyu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu. (Nurfitri et al., 2015)

Setiap konduktor harus memiliki KHA dan tidak kurang dari kebutuhan maksimum. Menurut PUIL 20011 poin 510.5.3.1 bahwa “Pengantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125% dari arus pengenal beban penuh. Di samping itu, untuk jarak jauh perlu digunakan konduktor yang

cukup ukurannya hingga tidak terjadi *drop voltase* yang berlebihan. Konduktor sirkit akhir untuk motor dengan berbagai daur kerja dapat menyimpang dari persyaratan di atas asalkan jenis dan penampang konduktor serta pemasangannya disesuaikan dengan daur kerja tersebut”. KHA dapat dihitung dengan rumus:

Nilai KHA dengan Motor tunggal

$$I_{KHA} = 125\% \times I_n \dots\dots\dots(2.1)$$

Nilai KHA dengan dua atau lebih motor

$$I_{KHA} = (125\% \times I_n \text{ terbesar}) + \Sigma I_n \text{ lainnya} \dots\dots\dots( 2.2)$$

Diman dengan arus nominal ( $I_n$ )

Jika satu fasa

$$I_n = \frac{p \text{ (watt)}}{V \times \cos \phi} A \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika tiga fasa

$$I_n = \frac{p \text{ (watt)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos \phi} A \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- In = Arus nominal (Ampere)
- P = Daya yang diserap (Watt)
- V = Tegangan fasa dengan netral (Volt)
- VL-L = Tegangan fasa dengan fasa (Volt)
- Cos φ = Faktor daya

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

In terbesar = Arus nominal terbesar beban yang dilayani(A)

In lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

Setelah mendapatkan nilai KHA dalam satuan Ampere maka harus disesuaikan dengan ukuran penampang yang digunakan. Dalam PUIL 2011 Hubungan KHA dengan luas penampang adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 KHA terus menerus untuk kabel tanah inti tunggal, ber konduktor tembaga, berisolasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem a.s. dengan voltase kerja maksimum 1,8kV, serta untuk kabel tanah 2-inti, 3-inti dan 4-inti berkonduktor tembaga, berisolasi dan berselubung PVC yang dipasang pada sistem a.b. *trifase* dengan voltase pengenal 0,6/kV (1,2kV), pada suhu ambien 30°C.

Tabel 2. 2 KHA Kabel NYY (PUIL 2011)

Jenis kabel	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		Di tanah (A)	Di udara (A)	Di tanah (A)	Di udara (A)	Di tanah (A)	Di udara (A)
NYY	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	23	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NYBY	10	122	79	92	66	75	60
NYFGbY	16	160	105	121	89	98	80

NYR <b>G</b> b	25	206	140	153	118	128	106
Y							
NYCY	35	249	174	187	145	157	131
NYCWY	50	296	212	222	176	185	159
NYSY	70	365	269	272	224	228	202
NYCEY	95	438	311	328	271	275	244
NYHSY	120	499	386	375	314	313	282
NYKY	150	561	442	419	361	353	324
NYKBY	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

Tabel 2.3 KHA terus menerus yang diperbolehkan untuk kabel instalasi berisolasi dan berselubung PVC, serta kabel fleksibel dengan voltase pengenal 230/400 (300) volt dan 300/500 (400) volt pada suhu ambien 30°C, dengan suhu konduktor maksimum 70°C.

Tabel 2. 3 KHA Kabel NYM (PUIL 2011)

Jenis kabel	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA terus menerus (A)	KHA pengenal gawai proteksi (A)
NYIF	1,5	18	10
	2,5	26	20
	4	34	25
NYIFY	6	44	35
NYPLY <sub>w</sub>	10	61	50
NYM/NYM-0	16	82	63
NYRAMZ	25	108	80
NYRUZY	35	135	100
NYUZY <sub>r</sub>	50	168	125
NHYRUZY	70	207	260
NHYRUZY <sub>r</sub>	95	250	200
NYLRZY	120	292	250
	150	335	250
	185	382	315

	240	453	400
	300	504	400
	400	-	-
	500	-	-

Tabel 2.4 KHA terus menerus kabel pilin udara berkonduktor aluminium atau tembaga, berunsulasi XLPE atau PVC dengan voltase penegenal 0,6/1 kV (1,2kV), untuk saluran voltase rendah dan saluran pelayanan, pada suhu ambien maksimum 30°C.

Tabel 2. 4 KHA Kabel NFA2X (PUIL 2011)

Jenis kabel	Penampang nominal (mm <sup>2</sup> )	KHA terus menerus	Penggunaan
NFA2X	2x25+25	103	Saluran voltase rendah
	2x35+25	125	
	2x50+35	154	
	2x70+50	196	
	2x95+70	242	
	3x25+25	103	
	3x35+25	125	

	3x50+35	154	
	3x70+50	196	
	3x95+70	242	

**2.7 Menghitung Besar Penampang Kabel dengan Teori Listrik Terapan**

Perencanaan instalasi tenaga listrik, akan diperlukan sebuah langkah awal setelah kita mengetahui berapa tegangan listrik serta daya yang dibutuhkan yaitu dengan menentukan luas penampang kabel yang akan digunakan. Dalam menentukan luas penampang kabel dalam perencanaan penerangan ruangan dinyatakan dalam persamaan berikut. (Supratno et al., 2019)

$$A = \frac{l \times i \times 2}{V_D \times \lambda} \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau

$$A = \frac{l \times P \times 200}{V^2 \times V_D \times \lambda} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- P = Beban (Watt)
- A = Penampang Saluran (mm<sup>2</sup>)
- V<sub>D</sub> = Susut Tegangan
- l = Panjang Rute Saluran

- $\lambda$  = Daya Hantar Jenis (Tembaga =56, Aluminium =32,7)
- $i$  = Arus saluran

**2.8 Gawai Proteksi atau Pengaman Instalasi Listrik**

Pengaman instalasi atau gawai proteksi berfungsi untuk mengamankan jaringan instalasi listrik dari arus berlebih atau arus hubung singkat yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada saluran instalasi listrik. Pengaman instalasi yang biasa digunakan pada instalasi rumah tinggal adalah *Mini Circuit Breaker* (MCB) dan yang digunakan untuk skala industri adalah *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB). Apabila pengaman instalasi tidak dipasang dalam suatu instalasi listrik maka bila terjadi gangguan hubung singkat, dapat menimbulkan bahaya kebakaran. Oleh karena itu pengaman instalasi sangatlah penting bagi instalasi listrik rumah tinggal. (Di et al., 2005).

Untuk mencari besaran rating yang dibutuhkan pengaman dapat diketahui dengan cara mencari besaran arus nominal ( $I_n$ ) di saluran tersebut. Persamaan untuk mencari arus nominal adalah sebagai berikut:

Jika satu fasa

$$I_n = \frac{p \text{ (watt)}}{V \times \cos \phi} A \dots\dots\dots(2.7)$$

Jika tiga fasa

$$I_n = \frac{p \text{ (watt)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos \phi} A \dots\dots\dots(2.8)$$

Setelah besar arus nominal ( $I_n$ ) didapatkan maka pengaman listrik dapat disesuaikan dengan yang tersedia di pasaran, untuk alasan keamanan dianjurkan pemilihan pengaman listrik lebih besar dari pada arus nominal ( $I_n$ ), adapun nilai pengaman listrik yang tersedia di pasaran ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Nominal Gawai Proteksi (Standar AKLI)

MCB/MCCB		V	GOL
A	Fasa		
2	1	220	TR
4	1	220	TR
6	1	220	TR
10	1	220	TR
16	1	220	TR
20	1	220	TR
25	1	220	TR
35	1	220	TR
50	1	220	TR
63	1	220	TR
6	3	380	TR
10	3	380	TR

16	3	380	TR
20	3	380	TR
25	3	380	TR
35	3	380	TR
50	3	380	TR
63	3	380	TR
80	3	380	TR
100	3	380	TR
125	3	380	TR
160	3	380	TR
200	3	380	TR
225	3	380	TR
250	3	380	TR
300	3	380	TR
355	3	380	TM
425	3	380	TM
500	3	380	TM
630	3	380	TM

Peralatan pengaman arus listrik untuk penghubung dan pemutus terdiri dari:

1. Pengaman lebur (*Fuse*)
2. *Miniature Circuit Breaker* (MCB)
3. *Mold Case Circuit Breaker* (MCCB)
4. *No Fuse Circuit Breaker* (NFB)
5. *Air Circuit Breaker* (ACB)
6. *Oil Circuit Breaker* (OCB)
7. *Vacuum Circuit Breaker* (VCB)
8. *Sulfur Circuit Breaker* (SF6CB)

#### **2.8.1. Pengaman Lebur (*Fuse*)**

Pengaman lebur yang kita kenal sebagai fuse atau sekering dipergunakan untuk mengatasi gangguan arus hubung singkat. Pengaman lebur harus dapat menghentikan arus apabila arus tersebut pada temperatur ruang 35°C atau lebih dalam waktu tertentu pada saluran atau hantaran kabel. Dengan kata lain suatu saluran atau kabel dengan penampang tertentu mempunyai pengaman lebur untuk arus maksimum yang diperbolehkan (biasanya dinamakan arus nominal). Pada waktu hubung singkat arus yang ditimbulkan adalah besar sekali dan pengaman lebur harus segera dapat mematikan arus hubung singkat tersebut (Barokah, 20105), pada gambar 2.5 merupakan contoh dari fuse.



Gambar 2. 5 Fuse (Barokah, 20105)

### 2.8.2. *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) Pemutus sirkuit miniatur digunakan sebagai perangkat perlindungan terhadap beban berlebih dan arus hubung singkat. (Ksi, 2015) Cara kerja MCB adalah proteksi arus lebih yang disebabkan oleh terjadinya beban dan arus yang lebih karena adanya hubung singkat. Prinsip kerjanya yaitu penggunaan elektromagnet untuk melakukan pemutusan hubungan yang disebabkan oleh kelebihan beban dengan relai arus lebih. (Barokah, 20105)

Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara *termis* dan *elektromagnetis*, pengaman termis berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman elektromagnetis berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat.

Pengaman *thermis* pada MCB memiliki prinsip yang sama dengan *thermal overload* yaitu menggunakan dua buah logam yang digabungkan (*bimetal*), pengamanan secara *termis* memiliki kelambatan, ini bergantung pada besarnya arus yang harus diamankan, sedangkan pengaman elektromagnetik menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah angker dari besi lunak.

MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fasa, sedangkan untuk pengaman tiga fasa biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus. (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018), pada gambar 2.6 merupakan MCB 1 fasa dan pada gambar 2.7 merupakan gambar MCB 3 fasa.

Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya, MCB dapat digolongkan menjadi 5 jenis ciri yaitu:

- 1) Tipe Z (rating dan *breaking capacity* kecil) Digunakan untuk pengaman rangkaian semikonduktor dan trafo-trafo yang sensitif terhadap tegangan.
- 2) Tipe K (rating dan *breaking capacity* kecil) digunakan untuk mengamankan alat-alat rumah tangga
- 3) Tipe G (rating besar) untuk pengaman motor.
- 4) Tipe L (rating besar) untuk pengaman kabel atau jaringan.
- 5) Tipe H untuk pengaman instalasi penerangan bangunan.



Gambar 2. 6 MCB 1 Fasa (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018)



Gambar 2. 7 MCB 3 Fasa (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018)

### 2.8.3. *Molded Case Circuit Breaker (MCCB)*

MCCB merupakan perangkat pengaman pada tegangan menengah yang beroperasi secara otomatis terhadap beban lebih dan hubung singkat. Pada jenis tertentu pengaman ini, memiliki kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan, (Bunga et al., 2015) pada gambar 2.8 merupakan contoh dari MCCB.



Gambar 2. 8 MCCB (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018)

1. Bahan BMC untuk bodi dan tutup
2. Peredam busur api

3. Blok sambungan untuk pemasangan ST dan UVT
4. Penggerak lepas-sambung
5. Kontak bergerak
6. Data kelistrikan dan pabrik pembuat
7. Unit magnetik trip

#### **2.8.4. Air Circuit Breaker (ACB)**

ACB (*Air Circuit Breaker*) banyak digunakan sebagai perangkat elektromekanis untuk melindungi sirkuit listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubung singkat. Dasarnya berfungsi untuk mengisolasi kondisi gangguan dengan memutuskan aliran arus dan jika gagal berfungsi, maka dapat menyebabkan kecelakaan besar. Fungsi utama dalam ACB bergantung pada penggerak dan sambungan mekanis, sehingga menilai keandalan penggerak dan sambungan ini adalah kunci yang sangat penting. (Rane & Narvel, 2016)

*Air Circuit Breaker* dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Rating standar *Air Circuit Breaker* (ACB) yang dapat dijumpai dipasaran seperti ditunjukkan pada data di atas. Pengoperasian pada bagian mekanik ACB dapat dilakukan dengan bantuan solenoid motor ataupun pneumatik, gambar 2.9 merupakan ACB yang biasanya digunakan pada instalasi listrik. Perlengkapan lain yang sering diintegrasikan dalam ACB adalah : (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018)

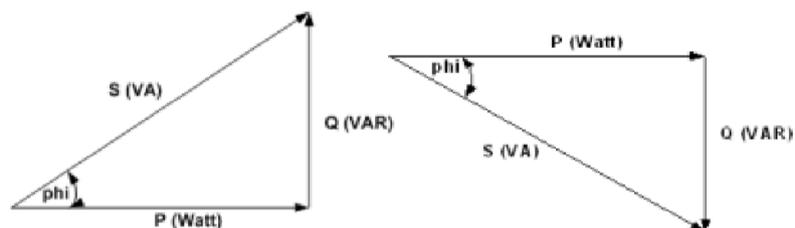
1. *Over Current Relay* (OCR)
2. *Under Voltage Relay* (UVR)



Gambar 2. 9 ACB (Prih sumardjati, Sofiana Yahya, 2018)

## 2.9 Segi Tiga Daya

Segitiga daya adalah Segitiga daya merupakan keadaan yang menggambarkan kondisi daya kompleks, daya aktif dan daya reaktif. sketsa dari segitiga daya yang bersifat induktif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah  $\theta$ . Komponen- komponen segitiga daya meliputi: Daya aktif, Daya Reaktif, Daya Kompleks, Faktor daya (power factor),(Barlian et al., 2020) seperti pada gambar 2.10. Dalam bentuk vektor dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 10 Segi Tiga Daya (Barokah, 20105)

### 2.9.1. Daya Nyata (P)

Daya aktif (P) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt (W). (Harahap & Adam, 2021)

Persamaan yang dapat digunakan untuk mencari nilai daya aktif adalah sebagai berikut. (Barokah, 20105)

Untuk 1 fasa:

$$P = V_{L-N} \cdot I \cos\varphi \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk 3 fasa:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cos\varphi \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Atau

$$P = 3 \cdot V_{L-N} \cdot I \cos\varphi \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.9.2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks magnet. Daya reaktif mempunyai persamaan sebagai berikut. (Dewi K et al., 2017)

Untuk 1 Fasa

$$Q = V \cdot I \sin\varphi \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \sin\varphi \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Atau

$$Q = 3 \cdot V_{L-N} \cdot I \sin\varphi \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

**2.9.3. Daya Semu (S)**

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu mempunyai persamaan sebagai berikut. (Barokah, 20105)

Untuk 1 fasa

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.15)$$

Untuk 3 fasa

$$S = \sqrt{3}.V_{L-L}.I \dots\dots\dots(2.16)$$

Atau

$$S = 3.V_{L-N}.I \dots\dots\dots(2.17)$$

**2.9.4. Faktor Daya**

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya nyata dengan daya semu suatu beban dari suatu jaringan dan dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$Faktor\ Daya = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.18)$$

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa *efisien* jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya

yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama. Di sisi lain, faktor daya juga menunjukkan “besar pemanfaatan” dari peralatan listrik di jaringan terhadap investasi yang dibayarkan. (Barokah, 20105)

### 2.10 Daya Output

Daya *output* adalah daya maksimal yang bisa dikeluarkan oleh sebuah motor, daya *output* biasanya tertera pada *name plat* dengan satuan kW (Kilo Watt), namun dalam beberapa motor sering dijumpai dalam satuan HP (Hors Power), dimana dalam 1 HP sama dengan 746Watt atau 0,746 kW. Adapun besarnya daya *input* yang dibutuhkan bisa mengacu pada pada besaran *efisiensi* motor.(Stephen J. Chapman, 2012)

$$EEF = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Maka

$$P_{in} = P_{out} \frac{100}{EEF\%} \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Atau

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{EEF} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

EEF = *Efisiensi*

$P_{out}$  = Daya Output (Watt)

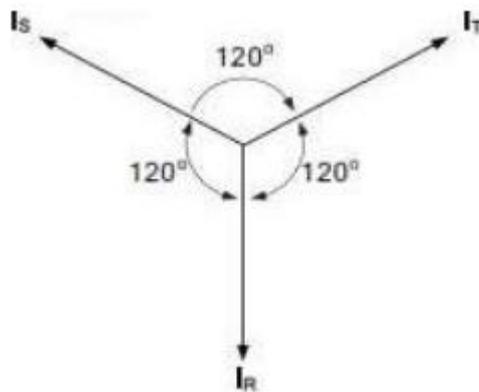
$P_{in}$  = Daya Input (Watt)

### 2.11 Keseimbangan Daya Pada Beban Seimbang

Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya *vektor* arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut. (Gamma Ayu Kartikasari, 2018)

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

1. Ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R, S, T) mempunyai nilai yang sama besar
2. Perbedaan sudut dari ketiga *vektor* fasa adalah masing-masing berbeda  $120^\circ$ .



Gambar 2. 11 Vektor Arus Seimbang (Gamma Ayu Kartikasari, 2018)

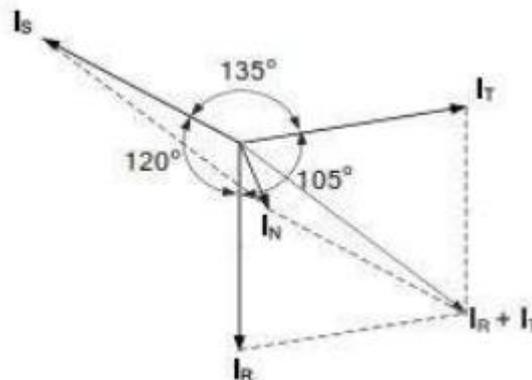
Dari gambar 2.11 menunjukkan *vektor* diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga *vektor* arusnya ( $I_R$ ,  $I_T$ ,  $I_S$ ,) adalah sama dengan nol. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan tiga kali daya fasa, karena daya pada tiap-tiap fasanya sama. Sehingga tidak muncul arus netral.

### 2.12 Keseimbangan Daya Pada Beban Tidak Seimbang

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu:

1. *Vektor* arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antara fasa satu dengan yang lain tidak membentuk  $120^\circ$ .
2. Sudut pada *vektor* antar fasa sebenarnya sudah membentuk  $120^\circ$  namun nilai *vektor* pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan
3. Nilai *vektor* pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada *vektor* antar fasa tidak membentuk  $120^\circ$ .



Gambar 2. 12 Vektor Arus Tidak Seimbang (Gamma Ayu Kartikasari, 2018)

Dari gambar 2.12 menunjukkan *vektor* diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga *vektor* arusnya ( $I_R$ ,  $I_T$ ,  $I_S$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. Ketidakseimbangan beban ini dapat saja terjadi karena hubung singkat atau hubung terbuka pada beban. Dalam sistem 3 fasa ada 2 jenis ketidakseimbangan, yaitu:

1. Ketidakseimbangan pada beban, pada IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 0446-1995 standar ketidak seimbangan beban tiga fasa sebesar 5-20%. (Eri Suherman, 2017)
2. Ketidakseimbangan pada sumber listrik (sumber daya).