

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Sistem Elektrikal Gedung**

Sebuah bangunan yang baik harus dapat dipakai, dapat ditempati, dengan nyaman oleh penghuninya dan berfungsi dengan baik sehingga oleh karena itu bangunan perlu dilengkapi dengan sarana dan prasana. Dalam pembangunan gedung bertingkat (*high rise building*) selain membutuhkan kontraktor untuk konstruksi juga membutuhkan kontraktor elektrikal.

Elektrikal merupakan dasar ilmu yang dengan lingkup masalah yang memerlukan tenaga listrik dan aplikasinya. Pada suatu bangunan bertingkat terdiri dari 3 komponen penting yaitu struktur, arsitektur dan sistem utilitas bangunan (sistem mekanikal elektrikal). Jika pada struktur mengedepankan kekuatan dan pada arsitektur mengutamakan fungsi, maka pada sistem elektrikal yang lebih diutamakan yaitu fungsi. Sekuat apapun dan seindah apapun suatu bangunan jika tidak memiliki sistem elektrikal maka bangunan tersebut tidak dapat berfungsi. Sistem elektrikal yang direncanakan harus menyesuaikan dengan tujuan dan fungsi bangunan itu sendiri. Sistem elektrikal yang dirancang untuk bangunan rumah sakit tentu akan sangat berbeda dengan gedung perkantoran dan gedung apartemen.

#### **2.2 Sistem Instalasi Listrik**

Listrik merupakan sebuah elemen yang sangat penting dalam suatu bangunan dan sebagai kelengkapan dari bangunan bertingkat (Surismanto, Salim, 2016). Energi listrik adalah kemampuan melakukan usaha pada suatu rangkaian atau sistem peralatan listrik untuk mengubah energi pada sistem tersebut sesuai dengan fungsi peralatan listrik

tersebut (Suharto, 2016) Pengertian Sistem instalasi listrik menurut Sutanta (2008) yaitu suatu sistem atau rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke lampu atau peralatan listrik lainnya guna memenuhi kebutuhan kehidupan manusia .

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan instalasi listrik pada bangunan bertingkat, seperti jarak antar titik listrik ke titik listrik lainnya, komponen yang digunakan serta pembagian daya haruslah sesuai dengan kebutuhan ruangnya (Surismanto, Salim, 2016).

### 2.3 Arus Listrik

Arus listrik merupakan komponen utama dari definisi listrik yang dikenal secara umum. Arus listrik dapat mengalir apabila ada media yang dapat dilalui oleh arus listrik yang disebut dengan konduktor. Satuan arus listrik adalah Ampere (A) dan dapat dirumuskan dengan :

- a. Rumus mencari arus satu fasa

$$I_n = \frac{P_{1fasa}}{V_f \cos \phi} \quad 2.1$$

- b. Rumus mencari arus tiga fasa

$$I_n = \frac{P_{3fasa}}{V_{L-L} \cos \phi \sqrt{3}} \quad 2.2$$

- c. Rumus mencari arus maksimum

$$I_{maks} = I_{eff} \times \sqrt{2} \quad 2.3$$

Keterangan :

$I_n$  = Arus nominal (A)

$V_f$  = Tegangan Terpasang fasa-netral (V)

$V_{L-L}$  = Tegangan fasa-fasa (V)

$P$  = Daya Beban Terpasang (Watt)

$\cos \emptyset$  = Faktor Daya

## 2.4 Tegangan Listrik

Klasifikasi tegangan listrik menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 adalah sebagai berikut :

1. Tegangan Ekstra Rendah : tegangan dengan nilai setinggi-tingginya 50 V arus bolak balik atau 120 V arus searah
2. Tegangan Rendah (TR) : tegangan dengan nilai setinggi-tingginya 1000 V arus bolak balik atau 1500 V arus searah.
3. Tegangan diatas 1000 V yang mencakup :
  - a. Tegangan Menengah (TM) , tegangan lebih dari 1 kV sampai dengan 35 kV.
  - b. Tegangan Tinggi (TT), tegangan lebih dari 35 kV.

## 2.5 Daya Listrik

Daya listrik merupakan banyaknya energi tiap satuan waktu dimana pekerjaan sedang berlangsung persatuan waktu (Suprianto, 2016). Secara umum dibidang kelistrikan daya listrik ada tiga yaitu :

1. Daya Semu
2. Daya Nyata (Aktif)
3. Daya Reaktif

Daya listrik dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

1. Daya Semu (VA)

$$S_{3\text{ fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \quad 2.4$$

$$S_{1\text{ fasa}} = V_f \times I_f \quad 2.5$$

2. Daya nyata/aktif (Watt)

$$P_{3\text{ fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \varphi \quad 2.6$$

$$P_{1\text{ fasa}} = V_f \times I_f \times \cos \varphi \quad 2.7$$

3. Daya Reaktif (VAR)

$$Q_{3\text{ fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \varphi \quad 2.8$$

Keterangan :

P = Daya Listrik (Watt)

S = Daya Semu (VA)

Q = Daya Reaktif (VAR)

I = Arus Listrik (Ampere/A)

$V_{L-L}$  = Tegangan Listrik Fasa-Fasa (Volt/V)

$V_f$  = Tegangan Listrik Fasa-Netral (Volt/V)

$\cos \varphi$  = Faktor Daya

### **2.5.1 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 (Pieter S dkk, 2015)

### **2.5.2 Penyediaan Catu Daya**

#### **1. Catu Daya Utama**

Pada catu daya utama ,sumber listrik berasal dari PLN yang di distribusikan dari pembangkit tenaga listrik hingga sampai ke trafo distribusi. Dalam menentukan kapasitas trafo distribusi menurut SPLN no. 17 tahun 2014 sebaiknya pembebanan trafo tidak melebihi dari 80% kapasitas trafo. Overload pada pembebanan trafo dalam waktu yang lama dapat merusak isolasi pada trafo karena panas yang berlebih. Selain itu juga dapat mengakibatkan drop tegangan pada ujung jaringan (Nugraha & Fauziah, 2021).

Tabel 2. 1 Pembebanan trafo sesuai SPLN no. 17 tahun 2014

	karakteristik	Health index			
		Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Load reading and Profiling	Pembebanan arus TR (% thp KHA outlet)	< 60 %	60 % - < 80 %	80 % - < 100 %	≥ 100 %
	Ketidakseimbangan arus antar fasa	< 10 %	10 % - < 20 %	20 % - , 25 %	≥ 25 %
	Besar arus netral TR (% terhadap arus beban trafo)	< 10 %	10 % - < 15 %	15 % - < 20 %	≥ 20 %
	Pembebanan trafo (% terhadap kapasitas)	< 60 %	60 % - < 80 %	80 % - < 100 %	≥ 100 %

## 2. Catu Daya Cadangan

### a. Generator set (Genset)

Genset merupakan salah satu perangkat yang digunakan sebagai sumber listrik saat aliran listrik dari PLN mati sehingga bila aliran listrik dari PLN mati maka genset akan membackupnya. Cara kerja dari genset yaitu dengan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik lewat induksi elektromagnetik (Sulaeman, Ibrahim & Santoso, 2021). Pada pembebanan genset sebaiknya tidak melebihi dari 80% kapasitas Genset.

### b. *Uninterupable Power Supply* (UPS)

UPS merupakan salah satu alternatif sumber listrik cadangan selain genset. UPS memiliki kelebihan dalam waktu perpindahan beban yang sangat cepat sehingga mengakomodasi cadangan listrik beban yang tidak boleh mati

ataupun tidak boleh ada jeda dalam perpindahan. UPS umumnya memiliki daya yang kecil dan waktu operasi yang singkat (Warindi et,al, 2021).

## 2.6 Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Penghantar merupakan sebuah komponen yang dapat menghantarkan arus listrik. Dalam suatu sistem instalasi listrik penghantar yang umumnya digunakan berupa kawat (penghantar tanpa isolasi) dan kabel (penghantar dengan isolasi) Fungsi dari penghantar yaitu untuk menghantarkan arus listrik dari sumber listrik menuju suatu titik beban listrik (Adiarta, 2017).

Dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik Tahun 2011 (PUIL 2011) dijelaskan bahwa kuat hantar arus (KHA) merupakan arus maksimum yang dapat dialirkan secara terus menerus oleh penghantar pada suatu keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu. Dalam menentukan kemampuan hantar arus (KHA) digunakan rumus :

$$KHA = 125\% \times I \text{ nominal} \quad 2.9$$

$$KHA \text{ sirkuit utama} = KHA \text{ terbesar} + \sum_{In} \text{ cabang lainnya} \quad 2.10$$

$$KHA \text{ sirkuit cabang} = KHA \text{ terbesar} + \sum_{In} \text{ sirkuit akhir} \quad 2.11$$

### 2.6.1 Luas Penampang Kabel Instalasi Listrik

Menurut PUIL 2011 ukuran penghantar dinyatakan dalam satuan metrik dan luas penampang penghantar harus ditentukan sesuai dengan :

- a. Suhu maksimum yang diizinkan

- b. Susut tegangan yang diizinkan
- c. Stres elektromagnetik yang mungkin terjadi hubung pendek
- d. Stres mekanis lainnya yang mungkin dialami penghantar

Kabel merupakan penghantar arus listrik yang terbungkus isolasi yang memiliki inti tunggal atau banyak. Inti sebuah kabel ada yang kaku dan berserabut dan ada yang bisa dipasangkan diudara maupun didalam tanah, masing-masing sesuai dengan kondisi saat pemasangannya (Adiarta, 2017).

Selain dengan cara menghitung untuk menentukan luas penampang penghantar juga telah diatur didalam PUIL 2011 yang bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

- a. KHA Kabel NYA dan Sejenisnya.

Tabel 2. 2 KHA kabel NYA dan Sejenisnya

Jenis Konduktor	Luas Penampang Nominal  mm <sup>2</sup>	KHA Terus Menerus		KHA Pengenal gawai Proteksi	
		Pemasangan dalam konduit <sup>(x)</sup> sesuai 7.13 A	Pemasangan diudara <sup>(xx)</sup> sesuai 7.12.1 A	Pemasangan dalam konduit A	Pemasangan di udara A
1	2	3	4	5	6
NYFA					
NYFAF	0,5	2,5	-	2	-
NYFAZ	0,75	7	15	4	10
NYFAD					
NYA	1	11	19	6	10
NYAF	1,5	15	24	10	20
	2,5	20	32	16	25
NYFAw					
NYFAFw	4	25	42	20	35
NYFAZw	6	33	54	25	50
NYFADw	10	45	73	35	63



NYL	16	61	98	50	80
	25	83	129	63	100
	35	103	158	80	125
	50	132	198	100	160
	70	265	245	125	200
	95	197	292	160	250
	120	235	344	250	315
	150	-	391	-	315
	185	-	448	-	400
	240	-	5285	-	400
	300	-	608	-	500
	400	-	726	-	630
	500	-	830	-	630

b. KHA Kabel NYM dan Sejenisnya.

Tabel 2. 3 KHA kabel NYM dan sejenisnya

Jenis Kabel	Luas penampang mm <sup>2</sup>	KHA terus menerus A	KHA pengenal gawai proteksi A
1	2	3	4
NYIF NYIFY NYPLY <sub>w</sub> NYM/NYM- 0 NYRAMZ NYRUZY NYRUZY <sub>r</sub> NHYRUZY NHYRUZY <sub>r</sub>	1,5	18	10
	2,5	26	20
	4	34	25
	6	44	35
	10	61	50
	16	82	63
	25	108	80
	35	135	100
	50	168	125
	70	207	160

	95	250	200
	120	292	250
	150	335	250
	185	382	315
	240	453	400
	300	504	400
	400	-	-
	500	-	-

## c. KHA Kabel NYY dan Sejenisnya.

Tabel 2. 4 KHA kabel NYY dan sejenisnya

Jenis Kabel	Luas Penampang	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
1	2	3	4	5	6	7	8
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NYY	10	122	97	92	66	75	60
NYBY	16	160	105	121	89	98	80
NYFGbY							
NFRGbY	25	206	140	153	118	128	106
NYCY	35	249	174	187	145	157	131
NYCWY	50	296	212	222	176	185	159
NYSY							
NYCEY	70	365	269	272	224	228	202
NYSEY	95	438	331	328	271	275	244
NYHYS	120	499	386	375	314	313	282
NYKY							
NYKBY	150	561	442	419	361	353	324
NYKFG							
BY	185	637	511	475	412	399	371

NYKRG bY	240	743	612	550	484	3464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

### 2.6.2 Pemilihan Kabel

Dalam PUIL 2000 telah ditetapkan bahwa satuan ukuran nominal kabel adalah  $\text{mm}^2$  seperti  $1.5 \text{ mm}^2$ ,  $2.5 \text{ mm}^2$  dan seterusnya. Pengertian ukuran nominal adalah luas penampang dari inti kabel penghantar. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis kabel adalah sebagai berikut (Adiarta, 2018).

1. Ukuran luas penampang penghantar.
2. Sifat mekanis dari hantaran.
3. Pengaruh temperatur terhadap konduktor maupun isolasinya.
4. Sifat listrik, seperti hantaran jenis, kapasitas arus yang melewati.

Berdasarkan penggunaannya kabel dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut (Surismanto & Salim, 2016).

1. Kabel instalasi, yaitu kabel yang digunakan untuk instalasi dalam bangunan pada beban bertegangan rendah seperti lampu dan peralatan listrik.
2. Kabel kontrol, yaitu untuk digunakan pada instalasi dalam gedung, *switching station*, dan *industrial plant*.
3. *Power cable*, yaitu untuk digunakan pada instalasi dalam gedung maupun bawah tanah (*underground power cable*).

Penggunaan kabel harus sesuai dengan jenis konstruksi dan isolasi kabel, baik untuk kabel instalasi maupun kabel fleksibel. Berikut pada tabel 2.4 konstruksi kabel dan penggunaannya.

Tabel 2. 5konstruksi kabel instalasi dan penggunaannya

Jenis kabel	Tegangan V	Jumlah inti	Luas penampang mm <sup>2</sup>	penggunaan
Thermo plastik NYFA, NYFAF	230/400	1,3, dan 4 2 dan 3	0,5 dan 0,75	Untuk pasangan tetap
Thermo plasti tahan panas sampai 150 °C NYFA <sub>w</sub> , NYFA <sub>fW</sub> , NYFA <sub>Zw</sub> , NYFA <sub>Dw</sub> , kabel rumah thermo plastik NYA dan NYAF	230/400 400/690	1, 3, dan 4 2 dan 3 1	0,5-1,0 0,5 dan 0,75 0,5-400	Untuk pasangan tetap. Di dalam dan pada lampu dalam pipa yang dipasang diatas atau didalam plesteran
Kabel thermo plastik khusus	400/690	1	1,5-400	Untuk pasangan tetap. Didalam dan pada lampu dalam pipa yang dipasang di atas atau dalam plesteran.
Kabel lampu thermo plastik	4000-8000	1	1,5	Hanya di dalam pipa baja dalam Udara.
Kabel thermo plastik pipih NYIF NYIFY	230/400	2-5	1,5-2,5	Di dalam dan di bawah plesteran, dalam kamar mandi.

Kabel gantung thermo plastik tahan	230/400	2-4	0,75	Untuk lampu gantung.
Kabel rumah thermo plastik berselubung NYM dan NYM-O	230/400	1-5 2-3	1,5-35	Di atas, di dalam, di bawah plesteran dan juga pada kayu.
Kabel thermo plastik berperisai logam berselubung thermo plastik NYRUZY NYRUYr	300/500	2-51	1,5-25	Di atas, di dalam, di bawah plesteran dan juga pada kayu.
Kabel tanah berisolasi dan berselubung thermo plastik NYY NAYY	600/1200	1-4	1,5-400	Kabel tenaga di dalam ruang saluran kabel dan di alam terbuka serta di dalam tanah dengan perlindungan.
Kabel tanah berisolasi dan berselubung thermo plastik baja NYBY NABY	600-1200	2...4 3 dan 4	4-400 25-400	Di dalam ruang, saluran kabel, dan di bawah tanah untuk instalasi industri dan lemari penghubung.
Kabel tanah berisolasi dan berselubung thermo plastik dengan penghantar konsentrik NYCY NYCWY	600/1200	2..4	1,5-40	Di dalam ruang saluran kabel dan di bawah tanah untuk instalasi industri dan lemari penghubung.
Kabel tanah berisolasi dan berselubung thermo plastik	600/1200	1..4 3...4	1,5-400 25...	Di atas, di dalam, dan di bawah plesteran dan

dengan perisai pita baja NYFGbY NYRGbY				juga ada pada kayu.
---	--	--	--	------------------------

## 2.7 Gawai Proteksi

Gawai proteksi merupakan komponen untuk mendeteksi bilamana terjadi gangguan pada rangkaian instalasi listik dan memutus bagian rangkaian dari gangguan tersebut. Gawai proteksi juga dimaksudkan untuk membatasi arus yang berlebihan dan membatasi dampak busur api yang disebabkan oleh gangguan (Adiarta, 2017).

Di dalam PUIL 2011 dijelaskan bahwa gawai proteksi harus disediakan untuk mendiskoneksi arus lebih dalam konduktor sirkuit sebelum arus tersebut menyebabkan bahaya akibat efek mekanis yang merusak insulasi, sambungan terminasi ataupun bahan disekitar konduktor. Gawai proteksi harus disediakan agar secara otomatis memisahkan konduktor aktif dari sirkuit dalam peristiwa :

- 1) Arus beban lebih
- 2) Arus hubung pendek
- 3) Arus bocor ke bumi

Menurut PUIL 2011 gawai proteksi haruslah dari jenis sebagai berikut :

- 1) Sekering tertutup yang memenuhi standar
- 2) Pemutus sirkuit mini (MCB) yang memenuhi standar
- 3) Pemutus sirkuit dalam kotak tercetak yang memenuhi standar
- 4) Pemutus sirkuit yang memenuhi standar

- 5) Gawai lain yang diizinkan yang mempunyai karakteristik yang sama dengan gawai diatas, asalkan tidak dari jenis yang dapat menutup kembali secara otomatis.

Karakteristik operasi gawai yang memproteksi terhadap beban lebih harus memenuhi dua kondisi berikut

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

Dimana :

$I_B$  adalah arus desain untuk sirkuit tersebut

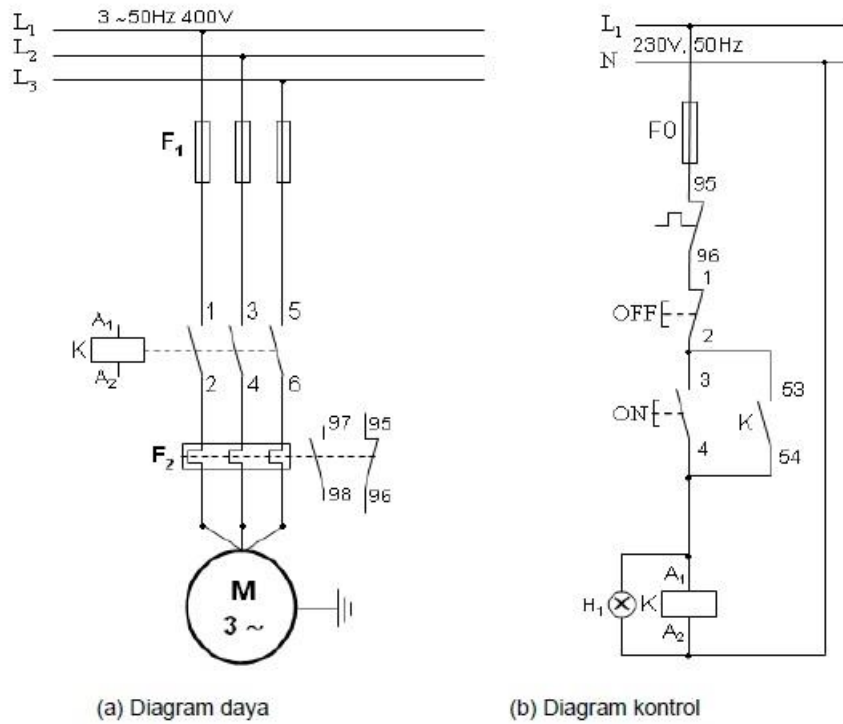
$I_Z$  adalah KHA kontinu kabel

$I_n$  adalah arus pengenal gawai proteksi

Untuk menentukan besar pengaman yang akan digunakan, maka harus ditentukan arus nominal terlebih dahulu yang kemudian dikalikan faktor safety 115 %. Dalam menentukan kapasitas gawai proteksi untuk beban motor harus diketahui jenis motor yang digunakan dan metode pengasutannya. Berikut adalah metode pengasutan motor.

#### 1. Direct on Line (DOL)

Jenis pengasutan motor direct on line adalah jenis pengasutan yang umum digunakan untuk beban motor dengan daya dibawah 5 kW. Pada pengasutan jenis ini arus starting meningkat antara 5 sampai dengan 7 kali dari arus beban penuh dan torsi hanya 1,5 sampai dengan 2,5 torsi beban penuh. Drop tegangan juga terjadi pada start awal dari pengasutan ini. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat single line diagram pada pengasutan direct on line (dunialistrikblog).

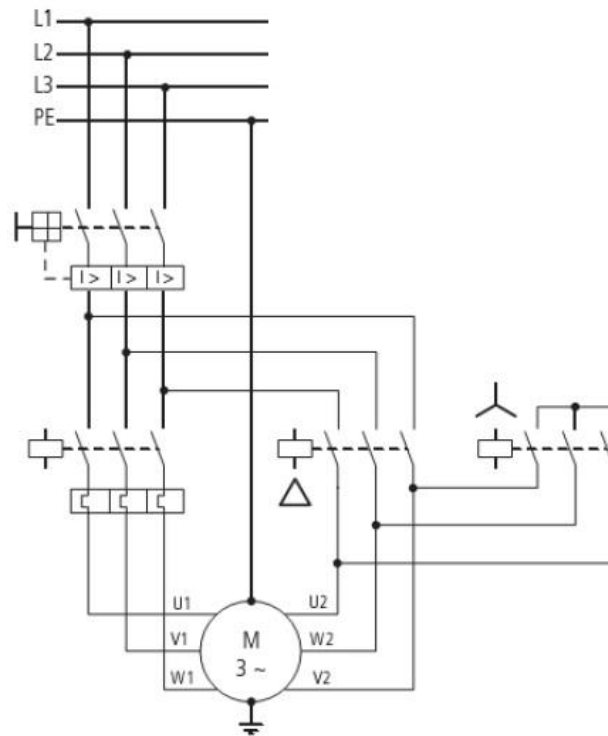


Gambar 2. 1 Rangkaian direct on line

## 2. Star Delta

Rangkaian Star delta (Y- $\Delta$ ) digunakan untuk menghindari besarnya lonjakan arus starting motor. Hubungan star digunakan untuk menurunkan tegangan yang masuk ke kumparan stator dan saat motor berjalan normal kumparan stator terhubung ke hubungan delta. Metode ini cocok digunakan untuk motor dengan daya 5,5 kW- 15 kW. Pengendalian star ke delta dapat dilakukan dengan sakelar mekanik Y / $\Delta$  atau dengan relay / kontaktor magnet. Rangkaian pengasutan star delta dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



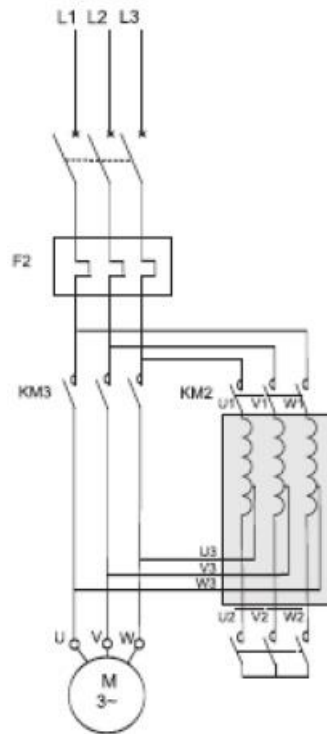


Gambar 2. 2 Rangkaian star delta

### 3. Autotransformer

Tujuan dari pengasutan ini adalah untuk menurunkan tegangan induksi awal pada stator sehingga rangkaian ini biasa dikenal sebagai kompensator pengasutan atau kompensator pengasutan. Rangkaian ini dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis dengan menggunakan relay yang dapat memberikan tegangan penuh pada saat motor berjalan kencang. Saat pengasutan, tegangan pada motor turun menjadi 50% hingga 80% dari tegangan maksimum trafo, hal ini menghasilkan arus pengasutan yang kecil. Setelah trafo naik, tegangan diputus. Keuntungan dari metoda starting ini adalah tegangan motor pada saat distart pada kondisi torsi yang telah besar daripada metoda starting dengan tahanan primer (primary resistance starting), pada penurunan

tegangan yang sama dan arus jaringan yang sama. Gambar rangkaian Autotransformer dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 3 Rangkaian autotransformer

Dalam menentukan kapasitas arus pemutus MCB dan MCCB sirkuit akhir untuk beban motor menggunakan ketentuan sebagai berikut.

$$I_{MCB} = I_{n_{motor}} \times X\% \quad 2.12$$

Keterangan :

- $I_n$  adalah Arus nominal motor (A)

-  $X = 250\%$  untuk motor sangkar dan serempak dengan pengasutan bintang segitiga dan DOL.

- X = 200 % untuk motor sangkar dan serempak dengan pengasutan autotransformer atau motor sangkar reaktansi tinggi .
- X = 150 % untuk motor slip ring dan motor DC.

Dalam menentukan gawai proteksi yang digunakan pada sirkuit utama dan sirkuit cabang dapat menggunakan rumus berikut.

$$GP_{Sirkuit\ utama} = GP_{terbesar} + \sum_{In\ cabang\ lain} \quad 2.13$$

$$GP_{Sirkuit\ cabang} = GP_{terbesar} + \sum_{In\ sirkuit\ akhir} \quad 2.14$$

### 2.7.1 Jenis Circuit Breaker

Jenis circuit breaker yang sering digunakan pada instalasi listrik pada sebuah bangunan antara lain sebagai berikut (Schneider Electric).

#### 1. Miniature Circuit Breaker (MCB)

Miniature Circuit breaker (MCB) merupakan peralatan pengaman untuk mengamankan rangkaian dari arus beban lebih dan arus hubung singkat. MCB dilengkapi dengan komponen thermis dan relay elektromagnetik. MCB akan memutus rangkaian bila terjadi arus hubung singkat ataupun arus yang melebihi rating MCB. MCB memiliki rating dari 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, hingga 62A. MCB banyak digunakan pada rangkaian satu fasa maupun tiga fasa.

#### 2. Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) merupakan salah alat pengaman suatu rangkaian yang dalam operasinya memiliki dua fungsi yaitu sebagai

pengaman dan penghubung. MCCB memiliki rating arus yang cukup tinggi dan bisa disesuaikan. MCCB biasanya digunakan pada arus lebih dari 100 A (Sunarno, 2006).

### 3. Air Circuit Breaker (ACB)

Air Circuit Breaker (ACB) merupakan pengaman dengan sarana pemadam busur api berupa udara. ACB dapat digunakan pada tegangan rendah maupun tegangan menengah. Percikan busur api yang bisa timbul akibat proses switching maupun gangguan menggunakan udara pada tekanan ruang atmosfer. ACB memiliki kemampuan hantar arus maksimal yang sangat besar jika dibandingkan dengan MCB dan MCCB, kemampuan ACB 630 A sampai 6300 A. ACB banyak digunakan pada panel distribusi utama tegangan rendah dimana sangat dibutuhkan pengaman dengan tingkat pengamanan yang tinggi.

## 2.8 Sistem Penumbumian

Sistem penumbumian merupakan suatu sistem keamanan terhadap peralatan listrik dari lonjakan listrik terutama dari sambaran petir dengan meniadakan beda potensial sebagai pelepasan muatan listrik berlebih pada suatu sirkuit listrik dan mengalirkannya ke bumi. Sistem penumbumian digambarkan sebagai interkoneksi antara suatu sirkuit listrik dengan bumi.

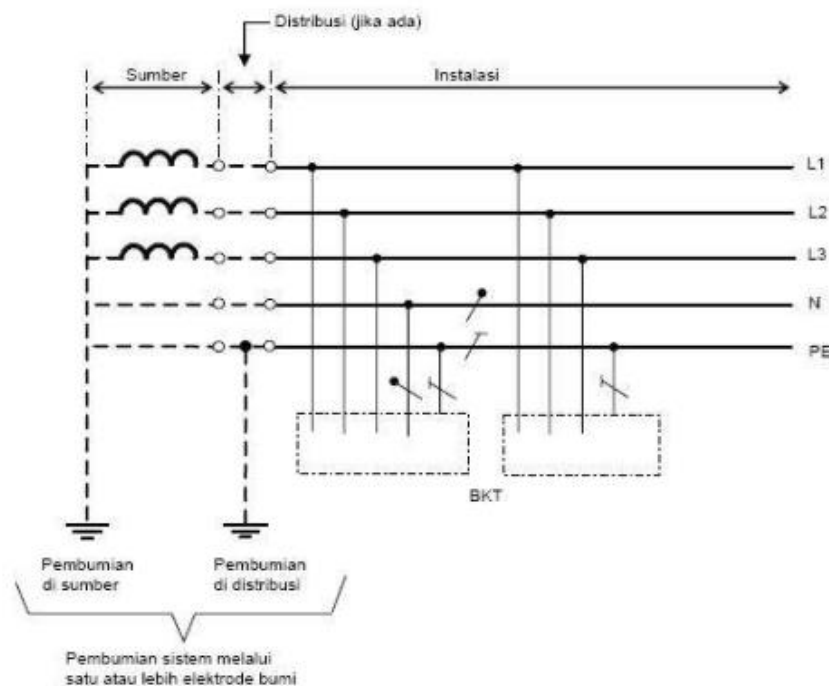
Sistem penumbumian diharapkan memiliki nilai resistansi penumbumian sekecil mungkin karena dengan hambatan yang kecil dapat mengalirkan arus berlebih ke tanah. Faktor yang mempengaruhi resistansi penumbumian disuatu tempat adalah tahanan elektroda penumbumian, tahanan penumbumian dengan kontak tanah disekitarnya dan tahanan jenis tanah. Dalam SNI 04-0225-2000 dijelaskan bahwa sebuah bangunan gedung agar

terhindar dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai resistansi pembumian kurang dari  $5 \Omega$ , sedangkan untuk peralatan elektronik membutuhkan nilai kurang dari  $3 \Omega$  dan beberapa perangkat lainnya membutuhkan nilai kurang dari  $1 \Omega$ .

### 2.8.1 Jenis Sistem Pembumian

Jenis sistem pembumian yang umum digunakan di Indonesia seperti yang tertera pada PUIL 2011 adalah sebagai berikut.

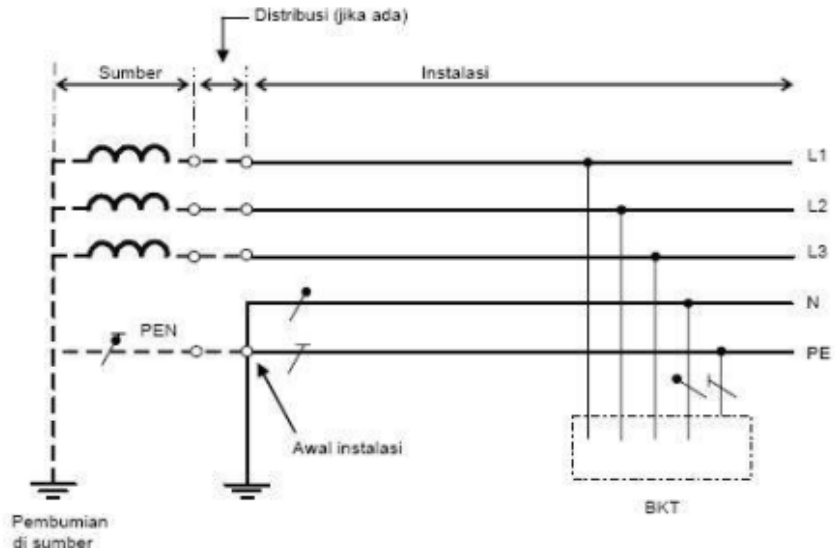
#### 1. Sistem TN-S



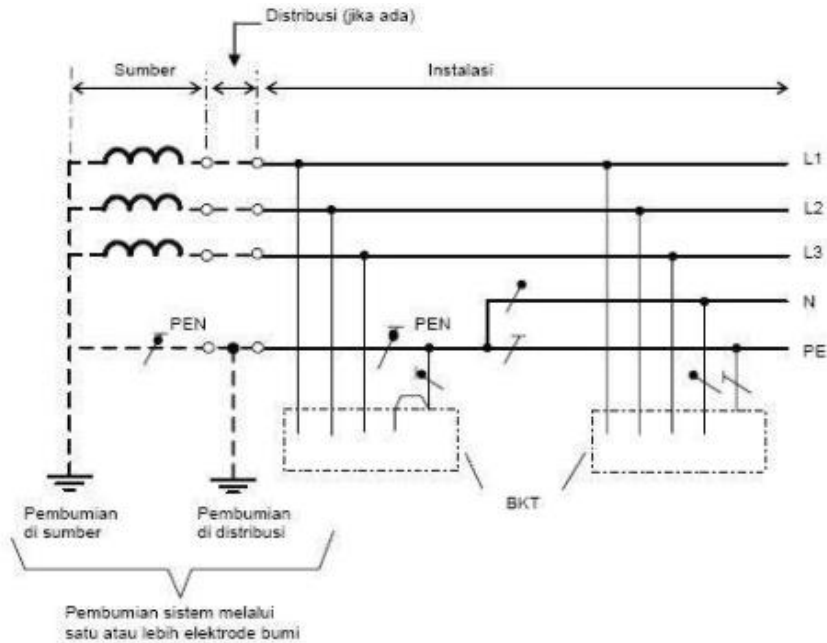
Gambar 2. 4 Sistem pembumian TN

Sistem ini merupakan sistem yang lengkap karena mempunyai 5 konduktor untuk sistem 3 fasa dan 3 konduktor untuk sistem 1 fasa. Sistem daya TN mempunyai satu titik yang dibumikan langsung pada sumber, BKT instalasi dihubungkan ke titik tersebut melalui konduktor proteksi.

2. Sistem TN-C-S



Gambar 2. 5 Sistem TN-C-S dengan PE dan N terpisah

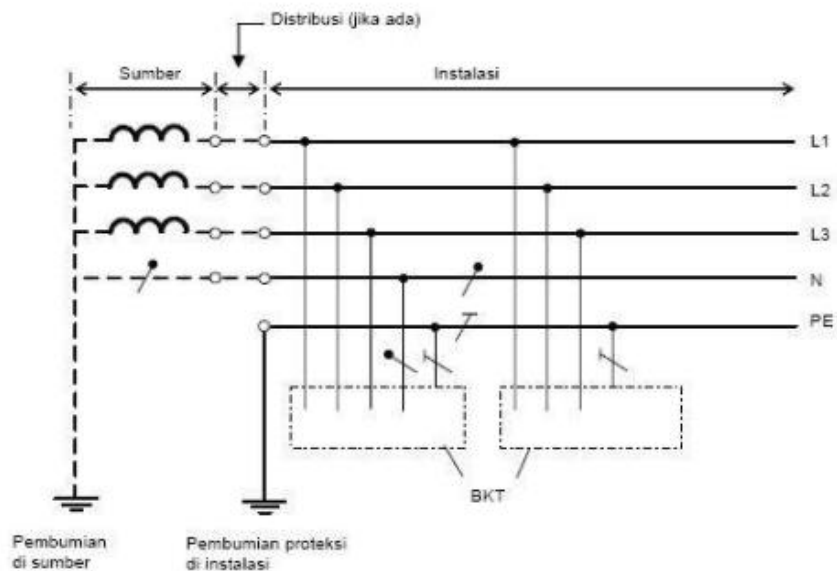


Gambar 2. 6 Sistem TN-C-S dengan PE dan N terpisah di tempat lain

Sistem ini merupakan sistem yang paling lazim di Indonesia yang merupakan gabungan dari sistem TN C dan S. Pada sistem ini satu titik di sumber dibumikan. BKT dihubungkan ke konduktor PE yang tergabung dengan konduktor N untuk kemudian

dibumikan. Konduktor proteksi PE dan Konduktor N pada instalasi pelanggan terpisah tapi dihubungkan disatu titik.

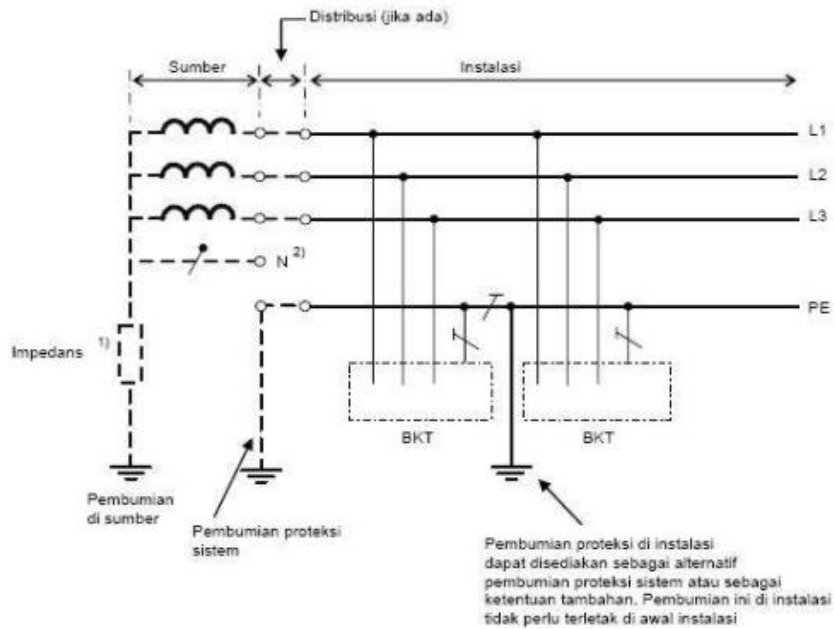
### 3. Sistem TT



Gambar 2. 7 Sistem pembumian TT

Sistem TT hanya mempunyai satu titik yang dibumikan langsung dan BKT instalasi dihubungkan ke elektrode bumi yang independen secara listrik dari elektrode bumi sistem suplai. Sistem ini adalah sistem yang paling lazim di Eropa. Di Indonesia sistem ini digunakan pada instalasi yang menggunakan alat elektronik dan komunikasi.

#### 4. Sistem IT



Gambar 2. 8 Sistem IT

Pada sistem IT sumber diisolasi atau dihubungkan dengan impedans yang cukup tinggi terhadap bumi sehingga dapat dianggap diisolasi juga . BKT dihubungkan ke konduktor PE untuk kemudian langsung dibumikan tanpa dihubungkan ke konduktor N. Konduktor PE dan N terpisah di seluruh instalasi. Konduktor N dapat didistribusikan maupun tidak. Sistem IT juga lazim digunakan di Indonesia untuk instalasi yang memerlukan kontinuitas pelayanan (misalnya pada sebagian instalasi rumah sakit). Pada sistem ini bila terjadi gangguan pertama, gawai proteksi tidak akan trip.



Jenis pembumian sistem	Proteksi tambahan terhadap sentuh langsung	Gawai proteksi untuk sentuh tak langsung	Gawai proteksi untuk bahaya kebakaran	Rekomendasi	Contoh penerapan
1. Sistem TT	GPAS ≤ 30 mA	GPAS	GPAS ≤ 500 mA	Bila proteksinya lengkap, direkomendasikan untuk instalasi dengan risiko bahaya dan gangguan paling kecil, termasuk masalah kesesuaian elektromagnet (KEM atau EMC)	Semua bangunan perkantoran dan industri yang memerlukan instalasi yang handal, termasuk gedung pintar dan industri komputer, elektronik, telekomunikasi.
2. Sistem TN-S	GPAS ≤ 30 mA	GPAL atau GPAS	GPAS ≤ 500 mA	Seperti sistem TT	Seperti sistem TT
3. Sistem TN-C	Tidak bisa	GPAL	Tidak bisa	Dilarang karena risiko sentuh langsung dan kebakaran tinggi serta mempunyai masalah KEM	
4. Sistem TN-C-S	GPAS ≤ 30 mA	GPAL atau GPAS	GPAS ≤ 500 mA	Dengan konduktor netral dihubungkan dengan konduktor proteksi di PHBK konsumen, serta dibumikan, merupakan sistem yang umum berlaku di Indonesia	Untuk rumah tangga, industri dan perkantoran yang tidak peka terhadap masalah KEM.
5. Sistem IT	GPAS ≤ 30 mA	Gawai monitor insulasi GPAL atau GPAS	GPAS ≤ 500 mA	Direkomendasikan jika kontinuitas suplai menjadi kebutuhan utama	Untuk ruang khusus di rumah sakit, dan industri atau perkantoran khusus.

Gambar 2. 9 Rekomendasi pemilihan sistem menurut SNI PUIL 2011

### 2.8.2 Penghantar Pembumian

Penghantar yang digunakan pada sistem pembumian biasa menggunakan bare copper ( BC) yaitu jenis kabel tanpa isolasi. Selain itu penghantar pembumian juga dapat menggunakan kabel AAC, NYY dan NYA. Dalam menentukan ukuran penghantar pembumian perlu diketahui besarnya arus hubung singkat (*short circuit current*) yang dapat dicari menggunakan rumus berikut.

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot VL - L.Z \%} \quad 2.15$$

Keterangan :

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (A)

S = Daya (VA)

Z = Impedansi transformator

VL-L = Tegangan fasa-fasa (V)

Setelah diketahui besar arus hubung singkatnya kemudian dapat ditentukan ukuran penghantar pembumian menggunakan tabel berikut.

Tabel 2. 6 Pemilihan ukuran penghantar pembumian

<b>Electrical Properties</b>						
	<b>Current Ratings</b>					
<b>Cable Size (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ground (A)</b>	<b>Ducts (A)</b>	<b>Air (A)</b>	<b>Impedance (<math>\Omega</math>/km)</b>	<b>Volt Drop (mV/A/m)</b>	<b>1 s Short- Circuit Rating (kA)</b>
1.5	23	18	18	14.48	25.080	0.17
2.5	30	24	24	8.87	15.363	0.28
4.0	38	31	32	5.52	9.561	0.46
6.0	48	39	40	3.69	6.391	0.69
10.0	64	52	54	2.19	3.793	1.15
16.0	82	67	72	1.38	2.390	1.84
25.0	126	101	113	0.8749	1.515	2.87
35.0	147	120	136	0.6335	1.097	4.02
50.0	176	144	167	0.4718	0.817	5.75
70.0	215	175	207	0.3325	0.576	8.05
95.0	257	210	253	0.2460	0.427	10.92
120.0	292	239	293	0.2012	0.348	13.80
150.0	328	269	336	0.1698	0.294	17.25
185.0	369	303	384	0.1445	0.250	21.27
240.0	422	348	447	0.1220	0.211	27.60
300.0	472	397	509	0.1090	0.189	34.50

### 2.8.3 Elektroda Pembumian

Elektroda pembumian merupakan penghantar yang di tanam di dalam tanah menggunakan kedalaman yang bervariasi dan kontak langsung dengan tanah. Jenis

elektroda yang digunakan biasanya jenis pelat, batang dan elektroda pita. Untuk mengetahui tahanan pembumian dari sistem pembumian menggunakan elektroda batang tunggal dapat menggunakan rumus dibawah ini.

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \quad 2.16$$

Keterangan :

R = Tahanan pembumian untuk batang tunggal (ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis material ( Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (m)

A = Luas penampang (m)

Tabel 2. 7 Tahanan berdasarkan jenis tanah

No	Jenis tanah	Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
1	Tanah yang mengandung air garam	5-6
2	Rawa	30
3	Tanah liat atau ladang	100
4	Pasir basah	200
5	Baru kerikil basah	500
6	Pasir batu dan kerikil kering	1000
7	batu	3000