

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Listrik

Menurut PUIL, instalasi listrik pada bangunan adalah rakitan perlengkapan listrik pada bangunan terkait yang memiliki karakteristik terkoordinasi untuk memenuhi keperluan kelistrikan spesifik bangunan. Penempatan dan pemasangan instalasi listrik harus mengacu pada standar pemasangan instalasi listrik yang tertulis pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL).

2.2 Pemutus Sirkuit/*Circuit Breaker*

Berdasarkan definisi dari PUIL 2011, *circuit breaker* atau pemutus sirkit adalah gawai saklar mekanis yang mampu menghubungkan, menghantarkan dan memutuskan arus pada kondisi sirkit normal, dan juga mampu menghubungkan, menghantarkan untuk waktu yang ditentukan dan memutuskan arus pada kondisi sirkit abnormal yang ditentukan, seperti pada kondisi hubung singkat (Badan Standardisasi Nasional, PUIL 2011, p. 32).

Pemilihan dari *circuit breaker* harus memperhatikan beberapa hal antara lain (Schneider, 2018, p. H18):

- Karakteristik kelistrikan (AC/DC, tegangan, frekuensi, dan lain – lain) dimana *circuit breaker* tersebut dipasang.
- Kondisi lingkungan seperti suhu, letak panel listrik, iklim, dan lain – lain.
- Besar arus hubung singkat pada titik instalasi tersebut.
- Karakteristik beban atau mesin yang terhubung dengan *circuit breaker* tersebut.
- Karakteristik peralatan seperti kontaktor, saklar pemutus, dan peralatan lain yang terhubung pada bagian atas atau bawah *circuit breaker* tersebut.
- Spesifikasi dan kebutuhan operasional *circuit breaker* tersebut seperti (jumlah kutub, kapasitas pemutusan, arus pengenal, kurva *trip*, dan lain- lain).
- Ketentuan pemasangan peralatan *circuit breaker* di tempat instalasi tersebut seperti harus ada perlindungan terhadap kejut listrik atau tahan terhadap efek suhu tinggi.

Berikut adalah peralatan pengaman yang umumnya terpasang pada instalasi listrik:

2.2.1 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Miniature circuit breaker (MCB) atau pemutus sirkit mini (istilah menurut PUIL 2011), adalah peralatan pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus dan memberikan

perlindungan terhadap arus berlebih yang terjadi akibat gangguan seperti hubung singkat. Secara umum, fungsi dari MCB antara lain:

- Mengamankan kabel dan peralatan listrik terhadap beban lebih dan arus hubung singkat.
- Membuka dan menutup sebuah sirkit di bawah arus pengenal MCB.

MCB mempunyai dua jenis *tripping unit* yang berfungsi untuk memutus arus akibat gangguan atau beban lebih, dua jenis *tripping unit* tersebut yaitu (Schneider, 2018, p. H11):

- *Thermal*, dimana secara *thermal*, pemutus menggunakan keping bimetal yang akan membengkok saat suhu tinggi karena beban berlebih. Hal tersebut membuat MCB *trip* sehingga arus terputus.
- *Magnetic*, pada saat terjadi arus hubung singkat, kumparan (*solenoid*) pada MCB menimbulkan medan magnet yang akan menarik *moving contact* pada MCB. Hal tersebut memungkinkan MCB untuk memutus arus hubung singkat tersebut.

Beberapa karakteristik MCB antara lain:

- Kapasitas pemutusan (*breaking capacity*) hingga 50 kA.
- Rating arus pengenal antara 1 – 125 A.

Untuk contoh peralatan MCB dengan 1 kutub dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh MCB 1 kutub.

Sumber: Schneider. (2018). *Electrical installation guide*. Schneider Electric, p. H12.

2.2.2 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) memiliki fungsi yang sama dengan MCB. MCCB umumnya memiliki rating arus pengenal yang lebih besar daripada MCB. Pada MCCB, *trip unit* yang terpasang mempunyai I_r dan I_m . I_r adalah nilai kapasitas pengaman arus beban lebih, dan

I_m adalah kapasitas pengaman arus hubung singkat. Nilai I_r dapat diatur sesuai dengan batas minimal dan maksimal peralatan *trip* unit yang terpasang di MCCB tersebut. Oleh karena itu, MCCB sering dipakai pada instalasi gedung baik perkantoran ataupun komersial. Untuk contoh peralatan MCCB dengan 3 kutub dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Contoh *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB) 3 kutub.

Sumber: Schneider. (2018). *Electrical installation guide*. Schneider Electric, p. H12.

2.3 Penentuan Rating Circuit Breaker

Untuk perhitungan dalam pemilihan kapasitas *circuit breaker*, maka perlu terlebih dahulu perlu menentukan arus nominal yang digunakan. Berikut adalah rumus untuk menentukan arus nominal yang akan mengalir pada *circuit breaker* (Schneider, 2018, p. A17):

- Untuk beban 3 fasa

$$I_{nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot \cos \varphi} \quad (2.1)$$

- Untuk beban 1 fasa

$$I_{nominal} = \frac{P}{V_{L-N} \cdot \cos \varphi} \quad (2.2)$$

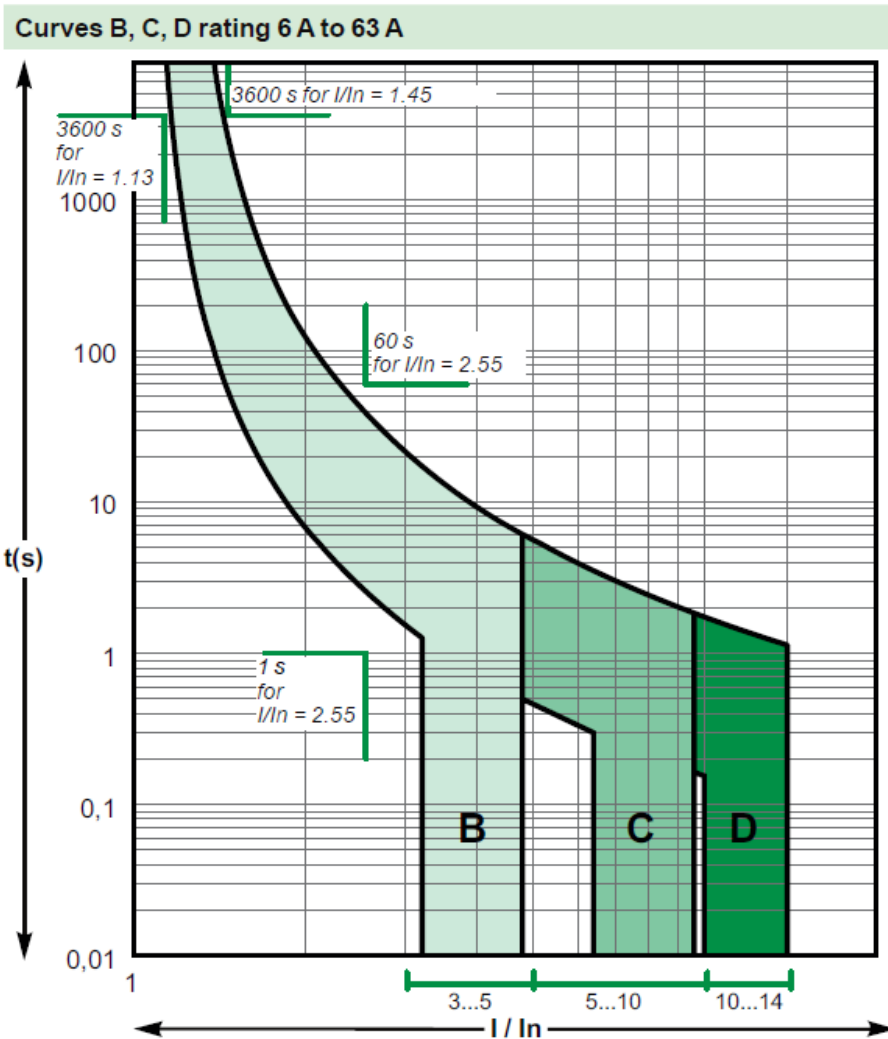
Keterangan:

- $I_{nominal}$ adalah arus nominal yang dihitung (A)
- P adalah daya (W)
- V_{L-L} adalah tegangan *line to line* (V)
- V_{L-N} adalah tegangan *line to neutral* (V)
- $\cos \varphi$ adalah faktor daya.

Bila pada beban tersambung dalam satu *grouping* tempat *circuit breaker* tersebut terpasang tidak ada beban motor induksi dan sejenisnya, maka *rating circuit breaker* yang dipilih

akan mendekati arus nominal tersebut dengan ketentuan harus lebih besar dari arus nominal yang sudah dihitung.

Namun, bila pada beban tersambung tersebut terdapat beban motor induksi dan sejenisnya, maka perhitungan harus disesuaikan karena adanya arus *start* dari beban tersebut yang nilainya 5 hingga 7 kali dari arus nominal selama 3 hingga 5 detik. Untuk itu, pemilihan rating *circuit breaker* khususnya MCB memerlukan data pada kurva *trip* yang digunakan pada *circuit breaker* tersebut.



Gambar 2.3 Contoh kurva *trip* pada MCB.

Sumber: Schneider. (2012). *Acti9 tripping curves – Short circuit current limiting*. Schneider Electric, p. 1.

2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Nilai arus hubung singkat dapat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas *breaking* dari sebuah *circuit breaker*.

Rumus untuk menentukan arus hubung singkat pada sisi sekunder trafo yaitu (Schneider, 2018, p. G23),

$$I_{SC} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot \%Z \cdot V_{L-L}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- I_{SC} adalah arus hubung singkat yang dihitung (kA).
- S adalah daya semu transformator yang digunakan (kVA).
- $\%Z$ adalah persentase impedansi trafo (%).
- V_{L-L} adalah tegangan nominal antar fasa dari trafo dalam kondisi tanpa beban (V).

Berikut adalah rumus perhitungan arus hubung singkat pada panel – panel distribusi,

$$I_{SC} = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_t^2 + X_t^2)}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- I_{SC} adalah arus hubung singkat yang dihitung (A).
- V_{L-L} adalah tegangan nominal antar fasa dari trafo dalam kondisi tanpa beban (V).
- R_t adalah resistansi total (Ω).
- X_t adalah reaktansi total (Ω).

Pada transformator, resistansi dan reaktansi dapat ditentukan dari rumus berikut,

$$R_{TR} = \frac{P_{cu} \cdot V_{L-L}^2 \cdot 10^{-3}}{S^2} \quad (2.5)$$

$$X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} \text{ dimana } Z_{TR} = \frac{V_{L-L}^2}{S} \cdot \frac{\%Z}{100} \quad (2.6)$$

Keterangan:

- R_{TR} adalah resistansi trafo (m Ω).
- V_{L-L} adalah tegangan nominal antar fasa dari trafo dalam kondisi tanpa beban (V).
- S adalah daya semu transformator yang digunakan (kVA).
- P_{cu} adalah rugi trafo dalam keadaan berbeban (W).
- X_{TR} adalah reaktansi trafo (m Ω).
- Z_{TR} adalah impedansi trafo (m Ω).
- $\%Z$ adalah persentase impedansi trafo (%).

Pada kabel, perhitungan resistansi dan reaktansi dapat dilakukan dengan rumus berikut,

$$R_{Kabel} = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (2.7)$$

$$X_{Kabel} = 0.08 \cdot L \quad (2.8)$$

Keterangan:

- R_{Kabel} adalah resistansi kabel (Ω).
- X_{Kabel} adalah reaktansi kabel ($m\Omega$).
- ρ adalah nilai hambatan berdasarkan bahan (ρ untuk tembaga bernilai $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$)
- L adalah panjang penghantar (m)
- A adalah luas penampang penghantar (m^2)

Untuk busbar, berikut adalah rumus perhitungan resistansi dan reaktansinya,

$$R_{Busbar} = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (2.9)$$

$$X_{Busbar} = 0.15 \cdot L \quad (2.10)$$

Keterangan:

- R_{Busbar} adalah resistansi busbar (Ω).
- X_{Busbar} adalah reaktansi busbar ($m\Omega$).
- ρ adalah nilai hambatan berdasarkan bahan (ρ untuk tembaga bernilai $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$)
- L adalah panjang penghantar (m)
- A adalah luas penampang penghantar (m^2)

Untuk *circuit breaker*, resistansi dan reaktansi dapat diabaikan.

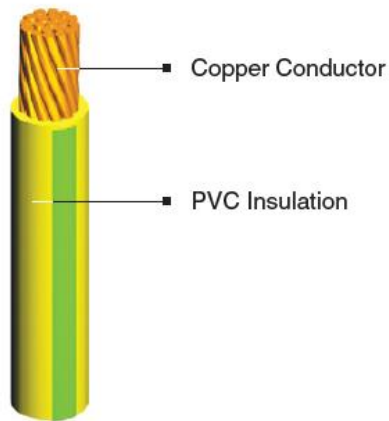
2.5 Kabel

Berdasarkan PUIL 2011, kabel berinsulasi adalah rakitan yang terdiri atas satu inti atau lebih, penutup individualnya (jika ada), proteksi rakitan (jika ada), dan penutup proteksi (jika ada).

2.5.1 Jenis Kabel

- NYA

Kabel tembaga berinti tunggal berinsulasi PVC nirseluk. Kabel ini digunakan untuk instalasi bangunan di dalam konduit dengan lokasi kering, dan untuk keperluan pengkabelan panel listrik atau panel kontrol (KMI, 2013).

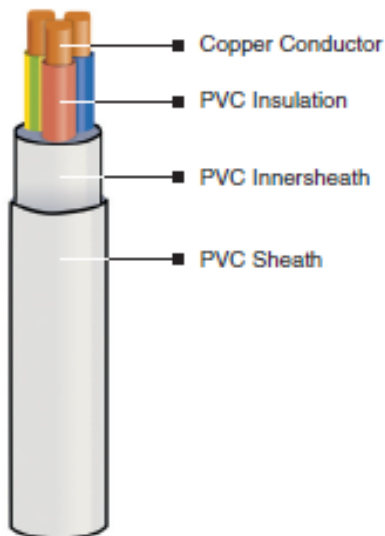


Gambar 2.4 Kabel NYA.

Sumber: KMI. (2012). *Kabel NYA*. Kabel Metal Indonesia, p. 1.

- NYM

Kabel tembaga multiinti berinsulasi dan berselubung PVC. Kabel ini digunakan untuk instalasi bangunan di dalam konduit dengan lokasi kering, dan untuk keperluan pengkabelan panel listrik. Kabel ini cukup tahan terhadap api (KMI, 2013).



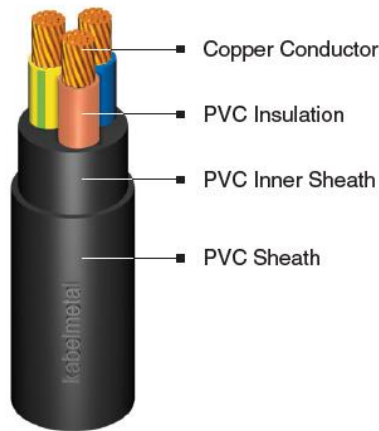
Gambar 2.5 Kabel NYM.

Sumber: KMI. (2012). *Kabel NYM*. Kabel Metal Indonesia, p. 2.

- NYY

Kabel multiinti berinsulasi dan berselubung PVC dengan tegangan pengenalan sampai dengan 1 kV. Kabel ini dapat digunakan dalam instalasi *indoor*, *cable trunking*, dan instalasi

outdoor dengan ditanam. Kabel ini dapat dijumpai di lingkungan industri, pembangkit, dan jaringan distribusi perumahan (KMI, 2013).



Gambar 2.6 Kabel NYY.

Sumber: KMI. (2012). *Kabel NYY*. Kabel Metal Indonesia, p. 3.

2.5.2 Pemilihan Kabel

Pemilihan jenis kabel dilakukan dengan mempertimbangkan penerapan pada instalasi tersebut, lokasi pemasangan kabel, jumlah inti yang diperlukan, dan ada tidaknya gangguan mekanis pada kabel yang berpotensi merusak kabel. Penentuan ukuran kabel harus memperhatikan beberapa hal yaitu (Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2016):

- Mampu menghantarkan arus beban penuh permanen dan arus lebih waktu pendek normal.
- Tidak menyebabkan drop tegangan yang mungkin menyebabkan kinerja buruk pada beban tertentu.

Untuk menghitung ukuran kabel perlu terlebih dahulu menentukan besar arus yang mengalir pada kabel.

$$I_{kabel} = I_{nominal} \times Safety\ Factor \quad (2.4)$$

Dimana,

- I_{kabel} adalah arus yang melewati kabel (A).
- $I_{nominal}$ adalah arus nominal yang ditentukan dari rumus 2.1 dan 2.2 (A).
- $Safety\ Factor$ bernilai 1,3.

Nilai I_{kabel} akan digunakan dalam pemilihan ukuran kabel berdasarkan tabel *electrical data* kabel yang dipakai (contoh *electrical data* kabel pada Tabel 2.1).

Tabel 2.1

Electrical Data Kabel NYA KMI.

Electrical Data

Nom. Cross Sect. (mm ²)	Conductor		Insulation	Inductance (mH/km)	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec (kA)
	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 70°C	Insulation Resistance at 70°C		in pipe	in air	
	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)	Min. (M.Ω.km)		Max. (A)	Max. (A)	
1.5	12.1	14.478	0.0100	0.320	15	24	0.17
2.5	7.41	8.866	0.0090	0.309	19	32	0.29
4	4.61	5.516	0.0077	0.290	25	42	0.46
6	3.08	3.685	0.0065	0.276	33	54	0.69
10	1.83	2.190	0.0065	0.274	45	73	1.15
16	1.15	1.376	0.0050	0.260	61	98	1.84
25	0.727	0.870	0.0050	0.257	83	129	2.88
35	0.524	0.627	0.0040	0.249	103	158	4.03
50	0.387	0.464	0.0045	0.248	132	197	5.75
70	0.268	0.321	0.0035	0.240	165	245	8.05
95	0.193	0.232	0.0035	0.239	207	290	10.93
120	0.153	0.184	0.0032	0.235	235	345	13.80
150	0.124	0.150	0.0032	0.235	-	390	17.25
185	0.0991	0.121	0.0032	0.235	-	445	21.28
240	0.0754	0.093	0.0032	0.233	-	525	27.60
300	0.0601	0.075	0.0030	0.232	-	605	34.50

* Further information about rating factor for certain cable arrangement can be found on supplementary technical information

Sumber: KMI. (2012). *Kabel NYA*. Kabel Metal Indonesia, p. 1.

2.6 Pemilihan Genset

Genset memiliki fungsi untuk menyediakan sumber listrik cadangan saat terjadi gangguan pada penyedia listrik utama (PLN). Selain itu, genset juga memiliki fungsi sebagai pembantu *supply* listrik menuju beban saat terjadi beban puncak, atau untuk memasok beban secara tetap.

Genset dalam pemakaiannya memiliki beberapa jenis rating antara lain:

- **Stand – By**
Digunakan untuk men-*supply* beban sewaktu-waktu ketika sumber penyedia listrik utama (PLN) mengalami gangguan atau pemadaman berkala. Tipe ini tidak mempunyai kapasitas beban lebih (*overload capability*). Namun, tipe ini memiliki waktu operasi maksimal sebesar 400 jam per tahun.
- **Prime Power**
Digunakan untuk men-*supply* beban dalam kondisi *emergency* dan waktu beban puncak. Tipe ini memiliki kapasitas beban lebih sebesar 10%. Tipe ini juga memiliki waktu operasi tidak terbatas.

- *Base Load*

Digunakan untuk men-*supply* beban secara terus menerus secara konstan dalam jangka waktu tidak terbatas. Tipe ini tidak mempunyai kapasitas beban lebih.

Untuk menentukan berapa kapasitas genset yang diperlukan untuk men-*supply* beban, berikut adalah rumus yang dapat digunakan,

$$S_{Genset} = \frac{P_{SLD} \cdot PB \cdot DF}{\cos\phi \cdot Eff_{genset}} \quad (2.5)$$

Dimana,

- S_{Genset} adalah kapasitas genset yang dicari (VA).
- PB adalah faktor perkembangan beban.
- DF adalah *demand factor*.
- Eff_{genset} adalah pembebanan optimal genset (%).
- $\cos\phi$ adalah faktor daya (asumsi bernilai 0,8).

2.7 Grouping

Menurut PUIL 2011, *grouping* adalah pengelompokan beban listrik dengan tujuan memudahkan dalam pemeliharaan peralatan listrik maupun penanganan ketika terjadi gangguan pada peralatan listrik. Pada bangunan bukan rumah, jumlah titik beban dibatasi dalam tiap sirkuit sesuai dengan tabel 2.2 di bawah ini. Untuk beban penerangan, *grouping* sebaiknya dilakukan dalam satu daerah yang sama. Untuk beban stop kontak, sebaiknya untuk stop kontak 3 fasa harus dikelompokkan dalam satu *grouping* tersendiri. Demikian juga untuk beban seperti *air conditioner* (AC), beban motor atau mesin masing – masing dikelompokkan dalam *grouping* tersendiri untuk mempermudah perawatan dan pemeliharaan, serta perbaikan bila terjadi kerusakan.

Tabel 2.2

Pembebanan dan Jumlah Titik Sambung tiap Sirkuit Akhir Beban Campuran dalam Instalasi Listrik.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai pengenal dari gawai proteksi (a) A		Beban maksimum yang diperbolehkan A	Jumlah titik sambung maksimum	Kontribusi setiap titik pada beban total, A (jumlahnya tidak boleh melampaui dari nilai dalam kolom 3)					
Pemutus sirkit atau proteksi lebur kemampuan tinggi	Sekering yang dapat dikawati kembali.			Titik penerangan (b)	KKB atau KK fase tunggal atau multifase 10 A		KK fase tunggal atau multifase 15 A	KK fase tunggal atau multifase 20 A	Perlengkapan magun atau stasioner yang dipasang magun (e)
					(g)				
				Tanpa AC magun	Dengan AC magun (f)				
10	-	10	20	0,5	-	-	-	-	Beban tersambung
16	-	16	20	0,5	2	1,1	15	-	
20	-	20	25	0,5	2	1	12	20	
25	-	25	30	0,5	2,1	1	10	20	
32	-	32	35	0,5	2	1	8	16	
-	8	8	20	0,5	-	-	-	-	
-	12	12	20	0,5	-	-	-	-	
-	16	16	20	0,5	5,5	5,5	15	-	
-	20	20	20	0,5	5	5	12	20	
-	25	25	30	0,5	5	5	10	20	
-	32	32	35	0,5	4	4	8	16	

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Persyaratan umum instalasi listrik (PUIL) 2011*. BSN, p. 68.

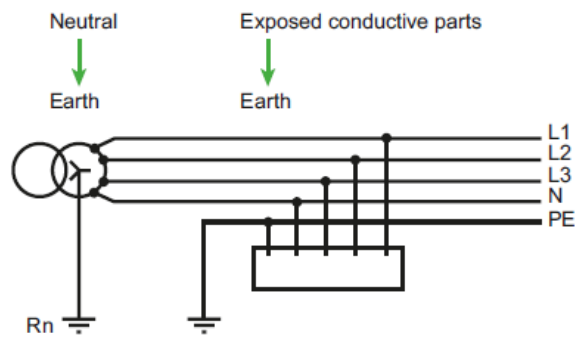
2.8 Grounding

Berdasarkan definisi PUIL 2011, pembumian sistem terdiri atas pembumian proteksi dan pembumian fungsional. Pembumian proteksi adalah pembumian suatu titik atau beberapa titik dalam suatu sistem atau dalam suatu instalasi atau dalam perlengkapan untuk keperluan keselamatan listrik. Sementara pembumian fungsional adalah pembumian dengan keperluan selain keselamatan listrik.

Beberapa jenis pembumian sistem pada instalasi kelistrikan antara lain (Schneider, 2018, p. E4):

- **TT (Terra – Terra)**

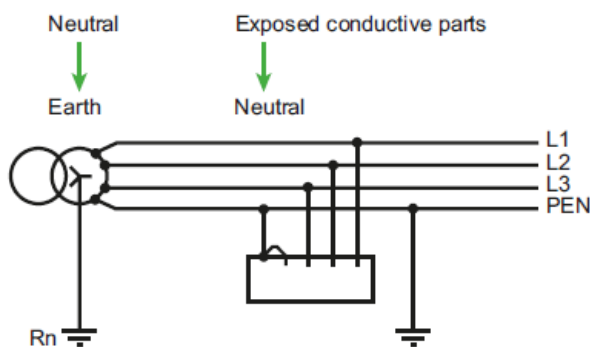
Sistem yang titik netral nya disambungkan ke tanah. Namun peralatan dan bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke tanah melalui jalur pembumian tersendiri.



Gambar 2.7 Pembumian TT (*Terra – Terra*).

Sumber: Schneider. (2018). *Electrical installation guide*. Schneider Electric, p. E4.

- **TN – C (*Terra – Neutral Combined*)**

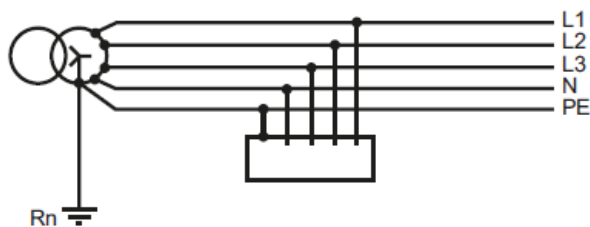


Gambar 2.8 Pembumian TN – C (*Terra – Neutral Combined*).

Sumber: Schneider. (2018). *Electrical installation guide*. Schneider Electric, p. E4.

Sistem pembumian dimana jalur pembumian dan netral digabung menjadi satu menjadi jalur PEN (*Protective Earth and Neutral*). Sistem ini tidak dianjurkan untuk konduktor dengan luas penampang kurang dari 10 mm² atau untuk jalur peralatan portable.

- **TN – S (*Terra – Neutral Separated*)**



Gambar 2.9 Pembumian TN – S (*Terra – Neutral Separated*).

Sumber: Schneider. (2018). *Electrical installation guide*. Schneider Electric, p. E4.

Sistem pembumian dimana jalur netral dan PE (*protective earth*) dipisah sehingga memiliki jalur tersendiri pada sistem. Sistem ini dianjurkan untuk konduktor dengan luas penampang kurang dari 10 mm² atau untuk jalur peralatan portabel.

Untuk pemilihan luas penampang konduktor *grounding* dapat menggunakan panduan sebagai berikut,

Tabel 2.3

Luas Penampang Minimum Konduktor Proteksi

Luas penampang konduktor lin <i>S</i> mm ²	Luas penampang minimum konduktor proteksi terkait mm ²
	Jika konduktor proteksi berbahan sama seperti konduktor saluran
$S \leq 16$	<i>S</i>
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Sumber : Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Persyaratan umum instalasi listrik (PUIL) 2011*. BSN, p. 362.

Dari tabel diatas, ukuran luas penampang konduktor untuk *grounding* dapat ditentukan dari ukuran konduktor fasa (*S*) yang digunakan.

2.9 Peralatan Listrik

Berikut adalah penjelasan beberapa peralatan listrik yang digunakan dalam rancangan gambar kelistrikan yang akan dibuat.

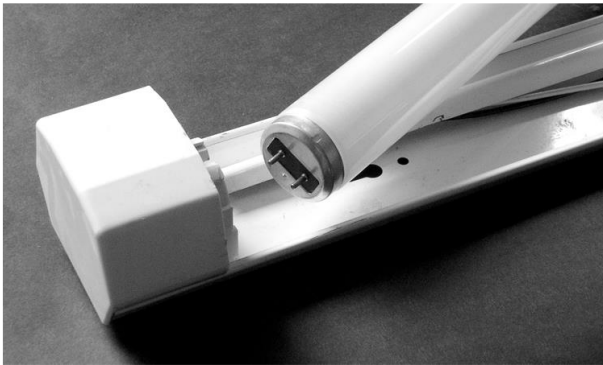
2.9.1 Lampu

Peralatan lampu digunakan untuk keperluan penerangan dalam instalasi. Menurut SNI 03 – 6575 – 2001, terdapat 2 golongan lampu antara lain:

- **Lampu pijar**

Lampu pijar menghasilkan cahaya dengan pemanasan kawat filamennya pada suhu yang tinggi (umumnya berbahan *wolfram*) dengan cara dialiri listrik. Pemanasan kawat filamen lampu pijar tersebut akan membuat kawat tersebut berpijar menghasilkan cahaya. Kelebihan dari lampu pijar adalah konstruksi dan pemasangan yang sederhana, biaya yang murah, serta

beberapa tipe lampu yang masuk kategori ini adalah lampu HID (*High – Intensity Discharge*) seperti lampu *mercury – vapor*, *metal – halide*, dan *high – pressure sodium*.



Gambar 2.11 Contoh lampu *fluorescent* tabung atau *tube lamp* (TL).

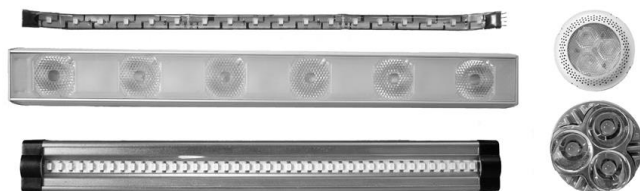
Sumber: Grondzik W. T. & Kwok A. G. (2018). *Mechanical and electrical equipment for buildings (12th edition)*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., p. 652.

Pada lampu *fluorescent* tabung, cahaya dihasilkan oleh bubuk fosfor pada dinding bola lampu yang diaktifkan oleh radiasi ultraviolet dari proses pelepasan energi elektron gas merkuri. Reaksi tersebut menghasilkan cahaya yang bisa dilihat / *visible light* (Grondzik & Kwok, 2015, p. 650).

Selain lampu pijar dan lampu pelepasan gas, terdapat lampu berjenis *Solid – State Lighting* (Grondzik & Kwok, 2015, p. 667) yang menggunakan lampu berjenis LED (*Light Emitting Diode*).

- **Lampu LED**

Lampu LED menggunakan bahan semi konduktor untuk menghasilkan cahaya. Lampu ini memiliki kelebihan mudah dalam pemasangan, lebih tahan lama daripada lampu pijar dan semua jenis lampu pelepasan gas (bisa tahan hingga 50.000 jam), memiliki efisiensi tinggi, dan menghasilkan *color rendering index* (CRI) yang baik (Grondzik & Kwok, 2015, p. 667).



Gambar 2.12 Beberapa bentuk lampu LED.

Sumber: Grondzik W. T. & Kwok A. G. (2018). *Mechanical and electrical equipment for buildings (12th edition)*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., p. 667.

2.9.2 Stop Kontak/Kotak Kontak

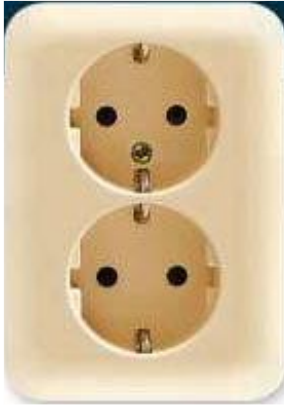
Stop kontak atau kotak kontak (nama menurut PUIL) merupakan merupakan tempat untuk mendapatkan sumber tegangan listrik yang diperlukan untuk benda yang menggunakan listrik (alat-alat elektronik, alat-alat rumah tangga, dan lain sebagainya). Berdasarkan PUIL ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan pemasangan stop kontak yaitu :

- *Stop* kontak dan tusuk kontak untuk penggunaan kasar harus dilengkapi wadah/selungkup logam yang cukup kuat atau bahan yang tahan terhadap kerusakan mekanis.
- Dalam ruang lembab dan panas, selungkup logam *stop* kontak dan tusuk kontak harus dibumikan.
- Pada ruangan lembab, *stop* kontak yang terpasang di dinding harus dilengkapi dengan ruang pembuangan air.
- Untuk *stop* kontak yang dipasang di luar atau lingkungan basah harus dilengkapi dengan penutup agar kedap terhadap air pada saat tusuk kontak dipasang ataupun tidak dipasang.
- *Stop* kontak yang dipasang di luar harus ditempatkan sedemikian sehingga penutup stop kontak tidak terkena genangan air.
- *Stop* kontak yang ditempatkan pada lantai harus tertutup dalam kotak lantai yang khusus diizinkan untuk penggunaan ini.
- *Stop* kontak yang dipasang di dinding untuk instalasi listrik domestik (rumah tangga) harus dipasang dengan ketinggian sekurang-kurangnya 1,25 m dari lantai, kecuali stop kontak dari jenis putar atau tutup



Gambar 2.13 Stop kontak dengan pembumian.

Sumber: Broco. (2017). *Gracio series brochure*. Retrieved from brocoindustries.com.



Gambar 2.14 Stop kontak ganda.

Sumber: Broco. (2017). *Gracio series brochure*. Retrieved from brocoindustries.com.




Gambar 2.15 Stop kontak lantai.

Sumber: Broco. (2017). *Floor socket outlet brochure*. Retrieved from brocoindustries.com.



Gambar 2.16 Stop kontak *outdoor* dengan tutup.

Sumber: Broco. (2017). *Atlantic series brochure*. Retrieved from brocoindustries.com.

	Kotak kontak
	Kotak kontak ganda, misalnya untuk 3 buah tusuk kontak
	Kotak kontak dengan kontak pengaman, misalnya kontak pembumian
	Kotak kontak tertutup

Gambar 2.17 Beberapa simbol untuk *stop* kontak.

Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Persyaratan umum instalasi listrik* (PUIL). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

2.10 Sakelar

Sakelar (*on – off*) adalah gawai yang digunakan untuk menutup dan membuka satu sirkuit listrik atau lebih. Pada instalasi listrik bangunan, pemasangan sakelar harus memperhatikan beberapa panduan berikut (Kementrian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2016):

- Pemasangan sakelar sebaiknya terpasang di dinding dengan ketinggian sekurang – kurangnya 1,25 m dari lantai.
- Sakelar dipasang sehingga posisi kontak semua tuas atau tombol sakelar dalam satu instalasi seragam. Seperti contoh, pada semua sakelar, sirkuit akan terhubung bila tuas ditekan di atas.

Berdasarkan PUIL terdapat beberapa jenis sakelar menurut fungsinya, antara lain:



















- Sakelar tunggal.
- Sakelar berkutub ganda.
- Sakelar berkutub tiga.
- Sakelar deret (seri).
- Sakelar tukar/saklar hotel.
- Sakelar silang.

Jenis sakelar lain yaitu:

- *Cam Switch.*
- Sakelar putar.
- Sakelar tarik.
- Sakelar tombol tekan.

Menurut letak pemasangannya saklar dibagi menjadi 2 yaitu:

- Sakelar *inbow.*
- Sakelar *outbow.*

			Sakelar Tunggal
			Sakelar Ganda (Sakelar Dua kutub)
			Sakelar Tiga Kutub
			Sakelar Seri
			Sakelar Tukar
			Sakelar Silang

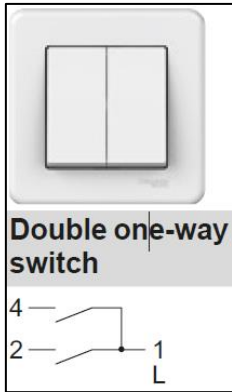
Gambar 2.18 Macam – macam simbol sakelar.

Sumber : Kementrian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2016). *Keselamatan dan pemasangan instalasi listrik voltase rendah untuk rumah tangga*. Retrieved from https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/d8197-buku-puil-2011.pdf.



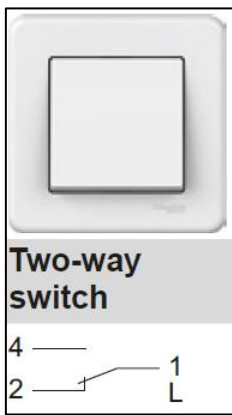
Gambar 2.19 Saklar 1 Way 1 Gang.

Sumber : Schneider. (2018). *Leona complete wiring devices catalogue (version 1.1)*. Schneider Electric, p. 6.



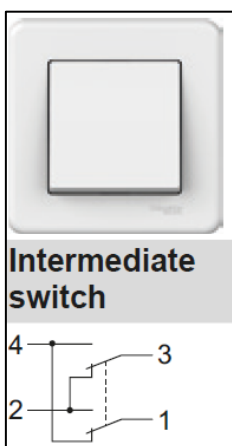
Gambar 2.20 Saklar 1 Way 2 Gang.

Sumber : Schneider. (2018). *Leona complete wiring devices catalogue (version 1.1)*. Schneider Electric, p. 6.



Gambar 2.21 Saklar 2 Way 1 Gang.

Sumber : Schneider. (2018). *Leona complete wiring devices catalogue (version 1.1)*. Schneider Electric, p. 6.



Gambar 2.22 Saklar *intermediate*.

Sumber : Schneider. (2018). *Leona complete wiring devices catalogue (version 1.1)*. Schneider Electric, p. 6.



Gambar 2.23 Cam Switch.

Sumber : MERZ. (2016). *Schaltgeräte – Switchgear – Cam switches encapsulated standard unit (GA, GZ, GS Standard, N)*. MERZ, p. 4.

2.11 Panel

Menurut definisi PUIL 2011, panel distribusi adalah rakitan yang berisikan berbagai jenis perlengkapan hubung bagi dan kendali yang terkait dengan satu atau lebih sirkit listrik keluar, yang disuplai dari satu atau lebih sirkit listrik masuk, bersama-sama dengan terminal untuk konduktor netral dan konduktor proteksi.

Pada panel distribusi, tipe konstruksi panel yang digunakan adalah *box – type assemblies* (Siep, 2000, p. 132). Bahan konstruksi panel dapat dibuat dari bahan logam lembaran.

Bila panel dipasang pada ruangan yang terbuka untuk umum maka konstruksi panel dan peletakannya harus didesain agar tidak membahayakan orang – orang yang ada di ruangan tersebut. Berdasarkan tempat pemasangannya, ada beberapa lokasi pemasangan panel yaitu (Seip, 2000, p. 134):

- Di lantai bebas berdiri (*free standing*) di dalam ruangan (Contoh : *Main Distribution Panel* dalam bentuk kubikel – kubikel).
- Menempel di tembok (*wall – mounted*).
- Pada dudukan/struktur pemasangan tersendiri.

2.12 *Single Line Diagram (SLD)*

Diagram garis tunggal atau *single line diagram* (SLD) merupakan salah satu kelengkapan dari desain instalasi listrik. *Single line diagram* menunjukkan beberapa informasi antara lain (Badan Standardisasi Nasional, 2011, p. 34) :

- Diagram PHBK (Perlengkapan Hubung Bagi dan Kendali) lengkap dengan keterangan mengenai ukuran dan besaran pengenalan komponennya;
- Keterangan mengenai jenis dan besar beban yang terpasang dan pembagiannya;
- Pembumian sistem.
- Ukuran dan jenis konduktor yang dipakai.

2.13 Desain Pencahayaan

Dalam mendesain peletakan titik dan jenis lampu yang digunakan, perlu dipertimbangkan beberapa aspek berikut (Dharmasetiawan & Puspakesuma, 1991):

- Tingkat kuat penerangan (Iluminansi)

Tingkat kuat penerangan atau iluminasi ditentukan oleh kuat cahaya yang jatuh pada suatu luas permukaan. Iluminansi rata – rata (dalam lux) adalah arus cahaya dalam lumen (lm)

dibagi dengan luas daerah dalam m². Sebagai acuan untuk menentukan tingkat kuat penerangan yang diperlukan dalam sebuah ruangan, dapat dilihat pada tabel di bawah berikut:

Tabel 2.4

Tingkat Kuat Penerangan Minimum dan Kelompok Renderasi Warna yang Direkomendasikan pada Berbagai Jenis Ruang

Fungsi ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna	Keterangan
Rumah Tinggal :			
Teras	60	1 atau 2	
Ruang tamu	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang makan	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang kerja	120 ~ 250	1	
Kamar tidur	120 ~ 250	1 atau 2	
Kamar mandi	250	1 atau 2	
Dapur	250	1 atau 2	
Garasi	60	3 atau 4	
Perkantoran :			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang kerja	350	1 atau 2	
Ruang komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor.
Ruang rapat	300	1 atau 2	
Ruang gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang arsip	150	3 atau 4	
Ruang arsip aktif	300	1 atau 2	
Lembaga Pendidikan :			
Ruang kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Laboratorium	500	1	
Ruang gambar	750	1	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Kantin	200	1	
Hotel dan Restoran			
Lobby, koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana/kesan ruang yang baik.
Ballroom/ruang sidang.	200	1	Sistem pencahayaan harus di rancang untuk menciptakan suasana yang sesuai. Sistem pengendalian "switching" dan "dimming" dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.
Ruang makan.	250	1	
Cafeteria.	250	1	
Kamar tidur.	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala tempat tidur dan cermin.
Dapur.	300	1	
Rumah Sakit/Balai pengobatan			
Ruang rawat inap.	250	1 atau 2	

Tabel 2.4 (lanjutan)

Tingkat Kuat Penerangan Minimum dan Kelompok Renderasi Warna yang Direkomendasikan pada Berbagai Jenis Ruang

Fungsi ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna	Keterangan
Ruang operasi, ruang bersalin.	300	1	Gunakan pencahayaan setempat pada tempat yang diperlukan.
Laboratorium	500	1 atau 2	
Ruang rekreasi dan rehabilitasi.	250	1	
Pertokoan/Ruang pameran.			
Ruang pameran dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil).	500	1	Tingkat pencahayaan ini harus dipenuhi pada lantai. Untuk beberapa produk tingkat pencahayaan pada bidang vertikal juga penting.
Toko kue dan makanan.	250	1	
Toko buku dan alat tulis/gambar.	300	1	
Toko perhiasan, arloji.	500	1	
Toko Barang kulit dan sepatu.	500	1	
Toko pakaian.	500	1	
Pasar Swalayan.	500	1 atau 2	Pencahayaan pada bidang vertikal pada rak barang.
Toko alat listrik (TV, Radio/tape, mesin cuci, dan lain-lain).	250	1 atau 2	
Industri (Umum).			
Ruang Parkir	50	3	
Gudang	100	3	
Pekerjaan kasar.	100 ~ 200	2 atau 3	
Pekerjaan sedang	200 ~ 500	1 atau 2	
Pekerjaan halus	500 ~ 1000	1	
Pekerjaan amat halus	1000 ~ 2000	1	
Pemeriksaan warna.	750	1	
Rumah ibadah.			
Mesjid	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat.
Gereja	200	1 atau 2	Idem
Vihara	200	1 atau 2	idem

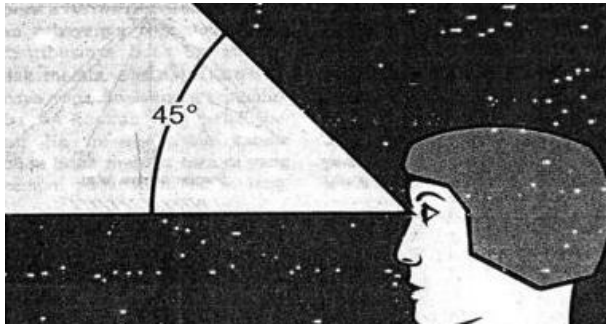
Sumber: Badan Standardisasi Nasional. (2001). SNI 03 – 6575 – 2001: Tata cara perancangan sistem cahaya buatan pada bangunan. BSN, p. 5 - 6.

- **Kepadatan cahaya (Luminansi)**

Kepadatan cahaya atau luminansi adalah kuat cahaya di suatu bidang dalam candela (cd) dibagi dengan luas bidang tersebut dalam m². Satuan kepadatan cahaya atau luminansi dinyatakan dalam cd/m². Semakin tinggi kepadatan cahaya suatu permukaan, maka semakin terang pula permukaan tersebut.

- Kesilauan atau *glare*

Kesilauan adalah keadaan terjadinya gangguan penglihatan/*visual* karena pancaran cahaya ke mata. Kesilauan dapat disebabkan oleh kesalahan peletakan titik lampu dan atau kesalahan pemilihan jenis lampu sehingga distribusi cahaya tidak merata. Umumnya, semua sumber cahaya yang berada pada sudut cahaya 45° di depan mata akan menimbulkan silau.



Gambar 2.24 Area sudut pandang yang menimbulkan silau.

Sumber: Dharmasetiawan, C. & Puspakesuma, L. (1991). *Teknik pencahayaan dan tata letak lampu – Jilid 1*. Jakarta : Grasindo., p. 6.

- Arah pencahayaan dan pembentukan bayangan

Arah pencahayaan mempengaruhi pembentukan bayangan pada benda. Bayangan dapat memperjelas dan menimbulkan efek pada benda. Pada ruangan, arah pencahayaan dan bayangan menentukan area kegiatan suatu ruangan. Sebagai contoh, daerah yang memiliki sedikit bayangan digunakan dalam bekerja khususnya pekerjaan yang memerlukan ketelitian tinggi sedangkan untuk daerah yang memiliki banyak bayangan dapat digunakan untuk tempat beristirahat.

- Warna cahaya dan renderasi warna (*colour rendering index*)

Peralatan lampu yang digunakan dalam penerangan ruangan memiliki bermacam – macam warna. Warna cahaya dari peralatan lampu yang digunakan perlu disesuaikan dengan jenis ruangan tersebut karena warna cahaya menentukan hasil pantulan warna yang diterima oleh mata. Kemampuan dalam menghasilkan warna dari pantulan cahaya yang diterima mata dibandingkan dengan warna aslinya disebut *colour rendering index* (CRI) atau *Ra* dengan satuan dalam persen (%). Apabila sebuah warna yang dihasilkan dari pantulan cahaya sama seperti warna aslinya maka *Ra* cahaya tersebut bernilai 100%. Contoh efek warna cahaya dan *colour rendering index* dapat dilihat pada tabel 2.4.

- Kondisi dan iklim ruangan

Kondisi dan iklim ruangan berpengaruh terhadap desain pencahayaan. Pemasangan dan peletakan peralatan lampu yang digunakan harus disesuaikan dengan peralatan lain yang digunakan untuk tata udara guna memberikan kenyamanan bagi pengguna di dalam ruangan.

Tabel 2.5

Efek Warna Cahaya dan *Color Rendering Index* (CRI).

Lamp	CRI (approximate)	CCT (K)	Whiteness	Colors		Notes
				Enhanced	Grayed	
FLUORESCENT						
Warm white	52	3050	Yellowish	Orange yellow	Red, blue, green	
Cool white	62	4200	White	Yellow Orange Blue	Red	
Cool white deluxe	77	4050	White	Green Orange Yellow	Red	
Triphosphor	75	2800	Yellowish	Red Orange	Deep red, blue	
	80	3000	Pale yellowish	Red Orange Green	Deep red	
MERCURY						
Clear	20	7000	Blue–green	Blue Green	Red Orange	Poor overall color rendering
Deluxe	45	3700	Pale purplish	Deep blue, red	Blue–green	Shift over life to greenish
METAL–HALIDE						
Clear	65	4000	White	Blue Green Yellow	Red	May shift to pinkish over life
Phosphor-coated	80	4200	White	Blue Green Yellow	None	Shifts to pinkish over life
HIGH-PRESSURE SODIUM						
Standard	21	2100	Yellowish	Yellow Green	Red, blue	
Color-corrected	60	2200	Yellowish-white	Red Green Yellow	Blue	CRI decreases slightly over life
INCANDESCENT						
Incandescent	99+	2900	Yellowish	Red, orange, yellow	Blue, green	

Sumber: Grodzik W. T. & Kwok A. G. (2015). *Mechanical and electrical equipment for building (12th edition)*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., p. 636.

Selain faktor – faktor di atas, desain pencahayaan juga harus memperhatikan reflektansi dari materi yang digunakan dalam bangunan atau ruangan. Reflektansi tersebut

berpengaruh pada penyebaran cahaya lampu yang didesain. Dalam desain pencahayaan, reflektansi biasa dimunculkan dalam bentuk persentase, seperti pada tabel 2.5 di bawah ini,

Tabel 2.6

Reflektansi Beberapa Bahan.

Material	Reflectance (%)
Aluminum	85
Asphalt (free from dirt)	7
Bluestone, sandstone	18
Brick	
Light buff	48
Dark buff	40
Dark red glazed	30
Red	15
Yellow ochre	25
White	75
Cement	27
Chromium	65
Concrete	55
Copper	40
Earth (moist cultivated)	7
Granolite pavement	17
Glass	
Clear	7
Reflective	20–30
Tinted	7
Grass (dark green)	6
Gravel	13
Granite	40
Marble (white)	45
Macadam	18
Marble	45
Paint (white)	
New	75
Old	55
Plaster	
Smooth	80
Rough	40
Stippled	40
Slate (dark clay)	8
Snow	
New	74
Old	64
Vegetation (mean)	25

Sumber: Grodzik W. T. & Kwok A. G. (2015). *Mechanical and electrical equipment for building (12th edition)*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., p. 280.

2.14 Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan pada distribusi listrik akibat adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi tersebut disebabkan oleh adanya gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan frekuensi fundamentalnya (Contoh, bila frekuensi fundamental 50 Hz, maka gelombang harmonisa terbentuk pada frekuensi 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 350 Hz, dan seterusnya). Gelombang – gelombang harmonisa tersebut bercampur dengan gelombang aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat/*distorted waveform*.

Umumnya, gelombang harmonisa berasal dari beban non linier. Contoh beban non linier adalah peralatan yang memiliki rangkaian *diode bridges*, *rectifiers*, TV LED, komputer, lampu *fluorescent* yang menggunakan *ballast* elektronik, dan sebagainya.

Dalam menentukan baik buruknya tingkat harmonisa pada sebuah instalasi listrik, dapat dilihat pada nilai THD (*Total Harmonic Distortion*). THD merupakan perbandingan nilai efektif komponen harmonisa dengan nilai fundamental komponen beban. Berdasarkan standar IEEE 519, terdapat 2 nilai THD yaitu THD arus dan THD tegangan. Untuk batas maksimal kedua nilai THD tersebut dapat dilihat pada tabel 2.6 dan tabel 2.7 (*Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.*, 2014, p. 85, 90). Selain itu, juga terdapat TDD (*Total Demand Distortion*) yang merupakan perbandingan total komponen harmonisa terhadap komponen maksimum dari beban.

Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai THD dan TDD dari tegangan dan arus (Dugan, McGranagan, Santoso, & Beaty, 2004),

$$THD_{\text{arus}} = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{\text{max}}} I_h^2}}{I_1} \quad (2.6)$$

$$THD_{\text{tegangan}} = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{\text{max}}} V_h^2}}{V_1} \quad (2.7)$$

$$TDD_{\text{arus}} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} I_h^2}}{I_{\text{max}}} \quad (2.8)$$

$$TDD_{\text{tegangan}} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} V_h^2}}{V_{\text{max}}} \quad (2.9)$$

Dimana,

- I_h adalah arus rms pada harmonisa ke – h (A).
- I_1 adalah arus rms pada orde ke – 1 (A).
- V_h adalah tegangan rms pada harmonisa ke – h (A).
- V_1 adalah tegangan rms pada orde ke – 1 (A).

- I_{max} adalah arus beban maksimum (A).
- V_{max} adalah tegangan beban maksimum (V).

Tabel 2.7

Batas Maksimal Distorsi Arus Untuk Sistem Tegangan 120 V hingga 69 kV.

Batas Maksimal Distorsi Arus Harmonisa Dalam Persen Terhadap I_L						
Orde Harmonisa Individu (harmonisa ganjil) ^{a,b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$25 \leq h < 35$	TDD
<20 ^c	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

^a Harmonisa genap dibatasi pada nilai 25% dari harmonisa ganjil diatas.

^b Distorsi arus yang menimbulkan DC *offset* cth : *converter half-wave*, tidak diijinkan.

^c Semua peralatan penghasil daya dibatasi oleh nilai – nilai yang tertera tanpa melihat nilai I_{SC}/I_L sebenarnya.
Dimana,
 I_{SC} = Arus hubung singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*)
 I_L = Arus beban maksimal (komponen frekuensi fundamental) pada PCC dalam keadaan berbeban normal.

Sumber: *Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., 2014. IEEE recommended practices and requirement for harmonic control in electrical power system. New York : Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., p. 90.*

Tabel 2.8

Batas Maksimal Distorsi Tegangan

Tegangan Bus (V) pada PCC	Harmonisa Individu (%)	<i>Total Harmonic Distortion</i> THD (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5 ^a

^a Sistem tegangan tinggi dapat memiliki nilai THD sebesar 2,0%, penyebabnya adalah terminal HVDC dimana efeknya akan melemah pada titik - titik di jaringan dimana pengguna kelak terhubung.

Sumber: *Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., 2014. IEEE recommended practices and requirement for harmonic control in electrical power system. New York : Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., p. 85*

Pada tabel 2.6, untuk menganalisa harmonisa arus, diperlukan I_{SC} dan I_L pada PCC (*Point of Common Coupling*). Titik PCC dapat dipilih berdasarkan lokasi dimana terdapat beberapa pelanggan yang tersambung pada sistem kelistrikan (Dugan et al, 2004). Oleh karena itu, PCC dapat dipilih pada sisi sekunder trafo yang men-*supply* pelanggan.