

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011)

Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 merupakan hasil revisi dari PUIL 2000. PUIL ini sekarang telah diterbitkan dengan versi paling baru tahun 2011. BSN merilisnya dengan judul SNI 0225:2011 tentang PUIL 2011. Kemudian sudah dilakukan lagi amandemen 1 pada tahun 2013, sehingga judulnya sudah berubah menjadi SNI 0225:2011/Amd 1:2013. Sebagaimana Maksud dan tujuan Persyaratan Umum Instalasi Listrik ini ialah agar instalasi listrik dapat dioperasikan dengan baik, untuk menjamin keselamatan manusia, terjaminnya keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya, terjaminnya keamanan gedung serta isinya dari bahaya kebakaran, dan tercapainya tujuan dari pencahayaan yaitu terwujudnya interior yang efisien dan nyaman.

Dalam PUIL 2011 berisikan ketentuan-ketentuan dalam pemasangan instalasi listrik, pemilihan peralatan, dan perlengkapan instalasi listrik tegangan rendah. Selain itu, diperkenalkan penggunaan peralatan dan perlengkapan instalasi dengan teknologi yang lebih maju dengan tujuan meningkatkan keamanan instalasi. Dengan adanya PUIL 2011 diharapkan keamanan instalasi listrik dapat ditingkatkan dengan mencegah maupun mengurangi resiko kecelakaan dan kerusakan peralatan listrik. (PUIL 2011).

2.2 Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan suatu perlengkapan yang dipergunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber listrik ke peralatan-peralatan yang

membutuhkan tenaga listrik. Cara memasang penyaluran tenaga listrik, dimana pada pemasanganya harus sesuai dengan peraturan-peraturan yang telah ditetapkan dalam persyaratan umum instalasi listrik (PUIL 2011). Persyaratan tersebut diperlukan agar system instalasi listrik handal dan aman ketika sudah digunakan. Instalasi tenaga listrik merupakan cara yang diterapkan dalam pemasangan sistem penyaluran jaringan tenaga listrik pada suatu jaringan listrik baik pemasangan pada sistem 1 fasa maupun 3 fasa (Priyadi 2018)

2.3 Ketentuan Umum Instalasi Listrik

Rancangan suatu sistem instalasi listrik harus memenuhi ketentuan Peraturan Umum 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.

Perancangan sistem instalasi listrik harus diperhatikan tentang keselamatan manusia, makhluk hidup lain dan keamanan harta benda dari bahaya dan kerusakan yang bisa ditimbulkan oleh penggunaan instalasi listrik. Selain itu, berfungsinya instalasi listrik harus dalam keadaan baik dan sesuai dengan maksud penggunaannya. (Badan Standardisasi Nasional 2011a)

2.4 Persyaratan Umum Instalasi Listrik

Peraturan instalasi listrik yang pertama kali digunakan sebagai pedoman beberapa instansi yang berkaitan dengan instalasi listrik adalah AVE (Algemene Voorschriften voor Electricische Sterkstroom Installaties) yang diterbitkan sebagai

Norma N 2004 oleh Dewan Normalisasi Pemerintah Hindia Belanda. AVE N 2004 ini diterjemahkan kedalam bahasa Indonesia dan diterbitkan pada tahun 1964 sebagai Norma Indonesia NI6 yang kemudian dikenal sebagai Peraturan Umum Instalasi Listrik disingkat PUIL 1964. PUIL 1964 merupakan penerbitan pertama, PUIL 1977 penerbitan kedua, PUIL 1987 penerbitan PUIL yang ketiga, dan PUIL 2000 ini merupakan terbitan keempat.

Penerbitan PUIL 1964, 1977 dan 1987 dinamakan Peraturan Umum Instalasi Listrik, pada penerbitan tahun 2000 berubah nama menjadi Persyaratan Umum Instalasi Listrik dengan tetap mempertahankan singkatannya yang sama yaitu PUIL. Penggantian dari kata peraturan menjadi persyaratan dianggap lebih tepat karena pada perkataan peraturan terkait pengertian adanya kewajiban untuk mematuhi ketentuannya dan sanksinya. Sejak AVE sampai dengan PUIL 1987 pengertian kewajiban mematuhi ketentuan dan sanksinya tidak diberlakukan karena selain mengandung hal-hal yang dapat dijadikan peraturan juga mengandung rekomendasi persyaratan teknis yang dapat dijadikan pedoman dalam pelaksanaan pekerjaan instalasi listrik. Sejak dilakukannya penyempurnaan PUIL 1964, terbitan standar IEC (International Electrotechnical Commission) khususnya IEC 60364 menjadi salah satu acuan utama disamping standar internasional lainnya.

PUIL 2000 merupakan hasil revisi dari PUIL 1987 yang dilaksanakan oleh Panitia Revisi PUIL 1987 yang ditetapkan oleh Menteri Pertambangan dan Energi dalam Surat Keputusan Menteri No:24-12/40/600.3/1999, tertanggal 30 April 1999 dan No:51-12/40/600.3/1999, tertanggal 20 Agustus 1999. Anggota Panitia Revisi PUIL tersebut terdiri dari wakil dari berbagai Departemen seperti DEPTAMBEN, DEPKES, DEPNAKER, DEPERINDAG, BSN, PT PLN, PT Pertamina, YUPTL,

APPI, AKLI, INKINDO, APKABEL, APITINDO, MKI, HAEI, Perguruan Tinggi ITB, ITI, ISTN, UNTAG, STTY-PLN, PT Schneider Indonesia dan pihak - pihak lain yang terkait.

Bagian 1 dan bagian 2 tentang Pendahuluan dan Persyaratan dasar merupakan padanan dari IEC 364-1 Part 1 dan Part 2 tentang Scope, Object Fundamental Principles and Definitions.

Bagian 3 tentang Proteksi untuk keselamatan banyak mengacu pada IEC 60364 Part 4 tentang Protection for safety. Istilah yang berkaitan dengan tindakan proteksi seperti Safety Extra Low Voltage (SELV) yang dalam bahasa Indonesia adalah tegangan extra rendah pengaman digunakan sebagai istilah baku, demikian juga istilah Protective Extra Low Voltage (PELV) dan Functional Extra Low Voltage (FELV). PELV adalah istilah SELV yang dibumikan sedangkan FELV adalah sama dengan tegangan extra rendah fungsional. Sistem kode untuk menunjukan tingkat proteksi yang diberikan oleh selungkup dari sentuh langsung ke bagian yang berbahaya, seluruhnya diambil dari IEC dengan kode IP (International Protection). Kode TN mengganti kode PNP dalam PUIL 1987, demikian juga kode TT untuk kode PP dan kode IT untuk kode HP.

Bagian 4 tentang Perancangan Instalasi Listrik, dalam IEC 60364 Part 3 yaitu Assessment of General Characteristics, isi mengutip dari SAA Wiring Rules dalam Section General Arrangement tentang perhitungan kebutuhan maksimum dan penentuan jumlah titik sambung pada sirkit akhir.

Bagian 5 tentang Perlengkapan Listrik mengacu pada IEC 60364 Part 5: Selection and erection of electrical equipment dan standar National Electric Code (NEC).

Bagian 7 tentang Penghantar dan Pemasangannya tidak banyak berubah dari Bab 7 PUIL 1987. Perubahan yang ada mengacu pada IEC misalnya cara penulisan kelas tegangan dari penghantar. Ketentuan pada Bagian 7 mengutip dari standar VDE. Hal - hal yang berkaitan dengan tegangan tinggi dihapus.

Bagian 8 tentang ketentuan untuk berbagai ruang dan instalasi khusus merupakan pengembangan dari Bab 8 PUIL 1987. PUIL 2000 memasukkan klarifikasi zona yang diambil dari IEC, yang berpengaruh pada pemilihan dari perlengkapan listrik dan cara pemasangannya di berbagai ruang khusus. Ketentuan dalam Bagian 8 merupakan bagian dari IEC 60364 Part 7, Requirements for special installations or locations.

Bagian 9 meliputi Pengusahaan instalasi listrik. Pengusahaan dimaksudkan sebagai perancangan, pembangunan, pemasangan, pelayanan, pemeliharaan, pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik serta proteksinya. IEC 60364, pemeriksaan dan pengujian awal instalasi listrik dibahas dalam Part 6: Verification. PUIL 2000 berlaku untuk instalasi listrik dalam bangunan dan sekitarnya untuk tegangan rendah sampai 1000 V a.b dan 1500 V a.s, dan gardu transformator distribusi tegangan menengah sampai dengan 35 kV. Ketentuan tentang transformator distribusi tegangan menengah mengacu dari NEC 1999.

Pembagian tersebut pada dasarnya sama dengan bagian yang sama pada PUIL 1987. PUIL 2000 tidak menyebut pembagiannya dalam pasal, sub pasal, ayat atau sub ayat. Perbedaan tingkatnya dapat dilihat dari sistem penomoran dengan digit. Contoh pada Bagian 4, dibagi dalam 4.1; 4.2; dan seterusnya, sedangkan 4.2 dibagi dalam 4.2.1 sampai dengan 4.2.9 dibagi lagi dalam 4.2.9.1 sampai dengan 4.2.9.4. Jadi untuk menunjuk kepada suatu ketentuan, cukup 13 dengan menuliskan

nomor dengan jumlah digitnya. PUIL 2000 dilengkapi dengan indeks dan lampiran - lampiran pada akhir buku. Lampiran mengenai pertolongan pertama pada korban kejut listrik yang dilakukan dengan pemberian pernapasan bantuan, diambilkan dari standar SAA. (Badan Standardisasi Nasional 2011b)

2.5 Prinsip – Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Beberapa prinsip instalasi harus menjadi pertimbangan pada pemasangan suatu instalasi listrik, tujuannya adalah agar instalasi yang dipasang dapat digunakan secara optimum. Adapun prinsip – prinsip dasar tersebut adalah sebagai berikut :

1. Keamanan

Yang dimaksud adalah keamanan secara elektrik untuk manusia, ternak, dan barang lainnya apabila terjadi keadaan tidak normal dalam suatu instalasi listrik.

2. Keandalan

Yang dimaksud adalah andal secara mekanik maupun secara elektrik (instalasi bekerja pada nilai nominal tanpa timbul kerusakan). Keandalan juga menyangkut ketepatan pengaman untuk menanggapi jika terjadi gangguan.

Ketersedian

Yang dimaksud adalah kesiapan suatu instalasi melayani kebutuhan baik daya, gawai, maupun perluasan instalasi yang mencakup spare dari suatu instalasi, peralatan yang digunakan dan sebagainya.

3. Ketercapaian

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

4. Keindahan

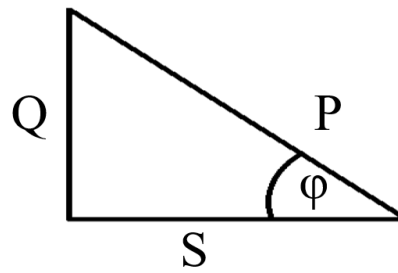
Yang dimaksud dengan keindahan adalah pemasangan instalasi listrik harus sesuai dengan dengan peraturan yang berlaku, yang posisi peralatan – peralatan listrik sesuai pada tempatnya.

5. Ekonomis

Yang dimaksud ekonomis adalah biaya yang dikeluarkan untuk instalasi harus sehemat mungkin karena besarnya biaya saja tidak selalu menjamin mutu suatu instalasi, namun walaupun demikian mutu peralatan tetaplah menjadi perhatian utama(Pradana 2016a)

2.6 Daya Listrik Arus AC

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha yang memiliki satuan watt dan merupakan perkalian dari tegangan dengan satuan volt (V) dan arus dengan satuan ampere (I). Selain itu, daya listrik merupakan laju energi listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Perubahan arus dan tegangan yang terjadi pada masukan daya dapat mempengaruhi besarnya nilai daya listrik yang dikeluarkan (Jurnal – Analisis Ketepatan Pengukur Daya dan Faktor Daya Listrik Berbasis Arduino UNO R3 328P). Terdapat tiga daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Ketiga daya tersebut dinyatakan dalam segitiga daya sesuai dengan yang ditunjukkan Gambar 2.9(Jurnal – Analisis Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina Ledok Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem)



Gambar 2.1 Segitiga daya

Gambar 2.1 menunjukkan segitiga daya yang merupakan segitiga dengan fungsi untuk menggambarkan hubungan matematika antara tipe – tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri. Dari Gambar 2.1, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$S = V \times I \dots \dots \dots (2.1)$$

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

$\cos \phi$ = Faktor Daya Aktif

$\sin \phi$ = Faktor Daya Reaktif

2.6.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Adapun persamaan dalam daya aktif tiga phasa sebagai berikut :

$$P_{3\text{fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \varphi \dots \dots \dots (2.4)$$

2.6.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Satuan daya reaktif 3 phasa adalah sebagai berikut

$$Q_{3\text{fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \varphi \dots \dots \dots (2.5)$$

2.6.3 Daya Semu

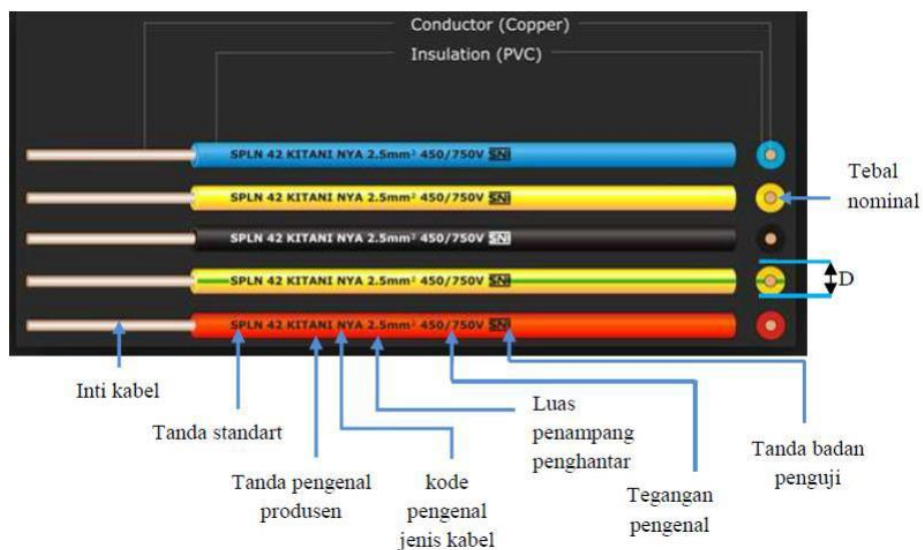
Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam satu jaringan. Satuan daya semu untuk 3 phasa adalah

$$S_{3\text{fasa}} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \dots \dots \dots (2.6)$$

2.7 Jenis – Jenis Kabel

1. Kabel NYA

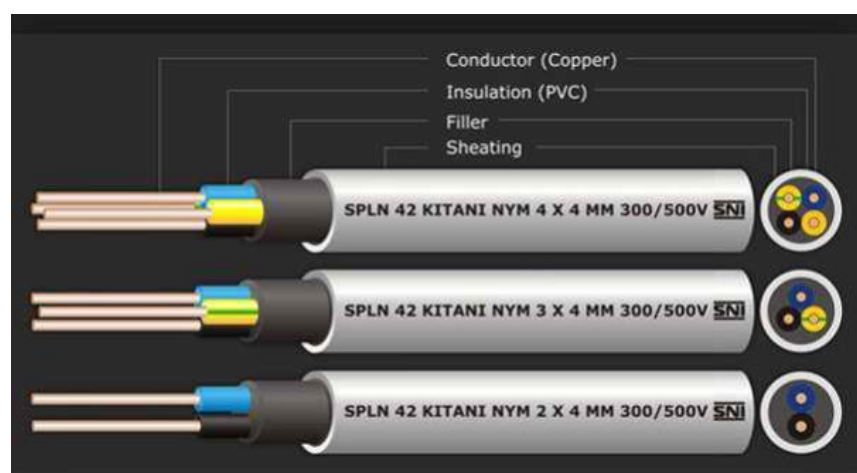
Berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, dan seringnya untuk instalasi kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang. (Pradana 2016b)



Gambar 2.2 Kabel NYA
(Sumber: Hapiddin, Asep. 2009)

2. Kabel NYM

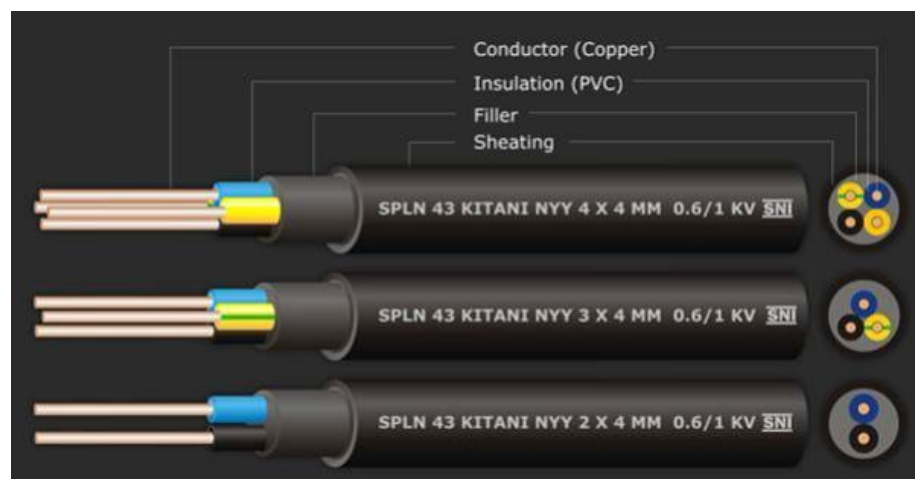
Kabel NYM memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2,3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.3 Kabel NYM
(Sumber: Hapiddin, Asep. 2009)

3. Kabel NYY

Kabel NYY memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam), ada yang berinti 2,3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus. Saluran-saluran dan pada tempat-tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan, atau untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.(nugraha n.d.)



Gambar 2.4 Kabel NYY
(Sumber: Hapiddin, Asep. 2009)

2.8 Jenis-jenis Isolasi

Jenis-jenis isolasi yang dipakai pada penghantar listrik meliputi :

1. Isolasi dari pvc (poly vinyl chlorid).
2. Isolasi dari xple (corss linkage poly ethiline) isolasi dari karet.
3. Isolasi dari ethiline.
4. Isolasi dari yute.
5. Isolasi kertas.

2.9 Pemilihan Luas Penampang

Luas penampang biasanya memiliki satuan mm^2 atau sama dengan milimeter persegi, satuan ini menentukan ukuran area luas penampang dari bagian konduktor atau inti kabel jadi yang terukur hanyalah ukuran konduktor (inti kabel) tidak termasuk pelindung atau isolator pada kabel.

Satuan mm^2 ini sangat sering digunakan untuk kabel, misalnya ukuran kabel $3 \times 4 \text{mm}^2$, maksudnya adalah kabel tersebut memiliki 2 inti kabel dengan masing-masing memiliki luas penampang 4mm^2 , angka 4mm^2 adalah luas penampang konduktor bukan diameter kabel. (Nugraha n.d.)

Luas penampang adalah luas permukaan bidang datar rata yang berbentuk lingkaran. Sehingga mencari luas penampang sama dengan mencari luas lingkaran yaitu :

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

A = Luas penampang penghantar

r = Jari jari penghantar

$\pi = 3,14$

Dalam pemilihan luas penampang penghantar untuk instalasi listrik harus mempertimbangkan beberapa hal dibawah ini :

1. Kuat Hantar Arus (KHA)
2. Kondisi suhu/sifat lingkungan
3. Kemungkinan perluasan

2.9.1 Kapasitas Hantar Arus (KHA)

Untuk menentukan kapasitas hantar arus (KHA) dari penghantar yang digunakan terlebih dahulu harus diketahui besarnya arus nominal atau arus maksimum yang diserap oleh beban. Untuk mengetahui arus nominal yang diserap oleh beban, terlebih dahulu diketahui arus nominalnya. Penentuan arus nominal dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut ini

Untuk satu fasa :

$$I_{\text{fasa}} = \frac{P_{1\text{fasa}}(\text{watt})}{V_{L-N} \times \cos\phi} \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk tiga fasa :

$$I_{\text{line}} = \frac{P_{3\text{fasa}}(\text{watt})}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos\phi} \text{ (A)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Seperti yang telah dipersyaratkan dalam PUIL 2011 2.2.2.2 bahwa setiap konduktor harus mempunyai KHA (Kapasitas Hantar Arus), tidak kurang dari arus yang mengalir di dalamnya. Setelah memperoleh hasil perhitungan arus beban yang akan dilewatkan pada penghantar, maka untuk mencari KHA kabel dapat dihitung dengan rumus sesuai PUIL 2011 yaitu : (Nugraha n.d.)

Untuk KHA sirkit Akhir :

$$I_z = 125\% \times I_n \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk KHA sirkit Cabang :

$$I_z \text{ cabang} = I_z \text{ akhir terbesar} + \sum I_n \text{ beban lainnya} \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk KHA sirkit utama :

$$I_z \text{ utama} = I_z \text{ cabang terbesar} + \sum I_n \text{ beban lainnya} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

I_n = Arus nominal (Ampere)

P = Daya yang diserap (Watt)

V_{L-N} = Tegangan fasa dengan netral (Volt)

V_{L-L} = Tegangan fasa dengan fasa (Volt)

$\cos \phi$ = Faktor daya

I_z = KHA kabel penghantar (Ampere)

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

I_n lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

Tabel 2. 1 Kapasitas kuat hantar arus NYM (KHA)

Jenis kabel	Luas penampang	KHA terus menerus	KHA pengenal gawai proteksi
	mm ²	A	A
1	2	3	4
	1,5	18	10
	2,5	26	20
	4	34	25
	6	44	35
NYIF	10	61	50
NYIFY	16	82	63
NYPLYw			
NYM/NYM-0	25	108	80
NYRAMZ	35	135	100
NYRUZY	50	168	125
NYRUZYr	70	207	160
NHYRUZY	95	250	200
NHYRUZYr	120	292	250
NYBUY			
NYLRZY, dan	150	335	250
Kabel fleksibel	185	382	315
berinsulasi PVC	240	453	400
	300	504	400
	400	-	-
	500	-	-

Tabel 2. 2 Kapasitas kuat hantar arus kabel NYY

SNI 0225:2011/Amd 1:2013

Tabel K.52.3.5a – KHA terus menerus untuk kabel tanah inti tunggal, berkonduktor tembaga, berinsulasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem a.s. dengan voltase kerja maksimum 1,8 kV; serta untuk kabel tanah 2-inti, 3-inti dan 4-inti berkonduktor tembaga, berinsulasi dan berselubung PVC yang dipasang pada sistem a.b. trifase dengan voltase pengenal 0,6/1 kV (1,2 kV), pada suhu ambien 30 °C.

Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Inti tunggal		2-inti		3-inti dan 4-inti	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
1	2	3	4	5	6	7	8
NYY NYBY NYFGbY NYRGbY NYCY NYCWY NYSY NYCEY NYSEY NYHSY NYKY NYKBY NYKFGBY NYKRGbY	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
	10	122	79	92	66	75	60
	16	160	105	121	89	98	80
	25	206	140	153	118	128	106
	35	249	174	187	145	157	131
	50	296	212	222	176	185	159
	70	365	269	272	224	228	202
	95	438	331	328	271	275	244
	120	499	386	375	314	313	282
	150	561	442	419	361	353	324
	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	-	-	-	-

CATATAN KHA terus menerus kabel tanah ini dihitung berdasarkan kondisi tersebut dalam 7.3.4.2 dan 7.3.4.4.

Tabel 2. 3 Kapasitas kuat hantar arus kabel NYA

SNI 0225:2011/Amd 1:2013

Tabel K.52.3.1 – KHA terus menerus yang diperbolehkan dan proteksi untuk kabel instalasi inti tunggal berinsulasi PVC pada suhu ambien 30 °C dan suhu konduktor maksimum 70 °C

Jenis Konduktor	Luas penampang nominal mm ²	KHA terus menerus		KHA pengenal gawai proteksi	
		Pemasangan dalam conduit ^(x) sesuai 7.13	Pemasangan di udara ^(xx) sesuai 7.12.1	Pemasangan dalam conduit	Pemasangan di udara
1	2	3	4	5	6
NYFA NYFAF NYFAZ NYFAD NYA NYAF	0,5	2,5	-	2	-
	0,75	7	15	4	10
	1	11	19	6	10
	1,5	15	24	10	20
	2,5	20	32	16	25
	4	25	42	20	35
	6	33	54	25	50
	10	45	73	35	63
	16	61	98	50	80
	25	83	129	63	100
NYFAw NYFAFw NYFAZw NYFADw dan NYL	35	103	158	80	125
	50	132	198	100	160
	70	165	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

CATATAN ^(x) Untuk satu atau lebih kabel tunggal tanpa selubung^(xx) Untuk kabel tunggal dengan jarak sekurang-kurangnya sama dengan diameternya

2.9.2 Sifat Lingkungan

Pada pemasangan penghantar kita harus memperhitungkan kondisi dan sifat lingkungan, tempat penghantar tersebut ditempatkan. Pemasangan penghantar beragam cara dan tempatnya. Jika penghantar dipasang atau ditanam dalam tanah

maka harus memperhitungkan kondisi tanah tersebut, misal tanah basah, tanah lembab, ataupun tanah kering. Hal ini akan berhubungan dengan pertimbangan bahan isolasi penghantar yang akan dipergunakan.

Faktor lain yang harus diperhitungkan dalam pemilihan penghantar adalah kekuatan mekanis. Penghantar di bawah jalan raya atau jalan tol akan berbeda dengan pemasangan pada rumah tempat tinggal. Untuk penghantar yang terkena beban mekanis, harus dipasang di dalam pipa baja atau pipa beton, untuk pelindungnya (Nugraha n.d.).

2.9.3 Kemungkinan Perluasan

Di setiap pemasangan instalasi listrik, harus disediakan atau diperhitungkan untuk faktor perluasan atau penambahan beban di masa yang akan datang. Ketika terjadi penambahan beban, maka akan terjadi kenaikan arus beban yang akan mengacu pada perhitungan kuat hantar arus (KHA) penghantar untuk memilih luas penampang penghantar yang digunakan.

Oleh karena dalam pemilihan penghantar, dipilih satu atau dua tingkat nilai KHA penghantar di atas nilai nominal bebannya. Hal ini juga untuk mengantisipasi jatuh tegangan yang lebih besar.

2.10 Pengaman Instalasi Listrik

Salah satu faktor teknis yang perlu diperhatikan dalam penyediaan dan penyaluran daya listrik adalah kualitas daya. Faktor ini meliputi stabilitas tegangan, kontinuitas pelayanan, keandalan pengamanan dan kapasitas daya yang sesuai kebutuhan. Pengaman adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk melindungi komponen listrik dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan seperti arus beban lebih ataupun arus hubung singkat. Pengaman yang baik adalah

pengaman yang langsung merespon atau trip ketika terjadi gangguan. Jenis gangguan yang paling sering terjadi dalam keadaan sistem berjalan normal adalah gangguan arus lebih atau biasa disebut beban lebih.

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

Fungsi pengaman dalam distribusi tenaga listrik yaitu :

- a) Isolasi, untuk memisahkan instalasi atau bagiannya dari catu daya listrik untuk alasan keamanan.
- b) Kontrol, untuk membuka atau menutup sirkit instalasi selama kondisi operasi normal untuk tujuan operasi dan perawatan.
- c) Proteksi, untuk pengamanan kabel, peralatan listrik dan manusianya terhadap kondisi tidak normal seperti beban lebih, hubung singkat dengan memutuskan arus gangguan dan mengisolasi gangguan yang terjadi.(Pradana 2016b)

2.10.1 Minature Circuit Breaker (MCB)

Minature Circuit Breaker (MCB) adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCB merupakan kombinasi fungsi fuse dan fungsi pemutus arus. MCB dapat digunakan sebagai pengganti fuse dan juga untuk mendeteksi arus lebih.



Gambar 2.5 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)
(Sumber: Saini, Makmur. 2022)

2.10.2 Case Circuit Breaker (MCCB)

Case Circuit Breaker (MCCB) adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCCB mempunyai unit trip yang dapat diset I_r (merupakan pengaman terhadap arus lebih) dan I_m (merupakan pengaman terhadap arus short circuit). MCCB memiliki arus nominal hingga 3200 A dan kapasitas pemutusan short circuit hingga 150 kA pada jaringan tegangan rendah *Circuit Breaker* (MCCB).



Gambar 2.6 *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)
(Sumber: Saini, Makmur. 2022)

Kutub	Kapasitas MCB (Ampere)	Bentuk Fisik
1	2 A	
	4 A	
	6 A	
	10 A	
	16 A	
	20 A	
	25 A	
	35 A	
	50 A	
	63 A	
2	2 A	
	4 A	
	6 A	
	10 A	
	16 A	
	20 A	
	25 A	
	35 A	
	50 A	
	63 A	
3	6 A	
	10 A	
	16 A	
	20 A	
	25 A	
	35 A	
	50 A	
	63 A	

Gambar 2.7 List brosur MCB dipasaran

2.10.3 Arus Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan bahaya terbesar terhadap kontinuitas pelayanan. Peralatan proteksi harus mampu mengatasi pengaruh hubung singkat. Arus hubung singkat atau short circuit current mempunyai nilai lebih besar dari arus rata-rata atau arus normalnya. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan membahayakan manusia.

Tujuan analisa hubung singkat antara lain adalah

- Menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian - bagian atau titik - titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik.

- b. Menentukan setingan relay dan koordinasi pengaman untuk mengamankan sistem dari keadaan abnormal dalam waktu yang seminimal mungkin.

Maka untuk menentukan nominal pengaman pembagi atau rating pengaman adalah

Untuk Gp sirkit Akhir:

$$Gp_{Akhir} = 115\% \times I_n \text{ beban} \dots \dots (2.13)$$

Untuk Gp sirkit Cabang:

$$Gp_{Cabang} = Gp_{Akhir} \text{ terbesar} \times \sum I_n \text{ beban lainnya} \dots \dots (2.14)$$

Untuk Gp sirkit Akhir:

$$Gp_{Utama} = Gp_{cabang} \text{ terbesar} \times \sum I_n \text{ beban lainnya} \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

I_n = Arus beban (Ampere)

GP = Gawai Proteksi

Untuk sirkit akhir yang menyuplai bebrapa motor, nilai pengenalan atau setelan gawai proteksi hubung pendek, tidak boleh melebihi nilai terbesar dihitung menurut Tabel 5.5-2 untuk masing masing motor, ditambah dengan jumlah arus beban penuh motor lain dalam sirkit akhir itu

Maka berikut merupakan gambar tabel nilai pengenalan persentase arus beban penuh dari PUIL

Tabel 5.5-2 Nilai pengenalan atau setelan tertinggi gawai proteksi sirkit motor terhadap hubung pendek

Jenis motor	Prosentase arus beban penuh	
	Pemutus sirkit %	Pengaman lebur %
Motor sangkar atau serempak, dengan pengasutan bintang segitiga., langsung pada jaringan, dengan reaktor atau resistor, dan motor fase tunggal	250	400
Motor sangkar atau serempak, dengan pengasutan autotransformator, atau motor sangkar reaktans tinggi.	200	400
Motor rotor lilit atau arus searah	150	400

Gambar 2.8 Tabel nilai pengenalan atau setelan tertinggi gawai proteksi sirkit motor terhadap hubung pendek

Dari gambar 2.8 dapat disimpulkan persentase yang digunakan untuk pemutus sirkit pada motor pompa pada penelitian ini adalah 150%. maka persamaan untuk menentukan rating gawai proteksi motor pompa pada penelitian ini adalah Untuk Gp sirkit Akhir Motor pompa:

$$I_{MCB} = I_{n_{motor}} \times X\% \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

I_n = Arus Nominal Motor

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.

2.11 Pembedian/Gronding

Pembedian adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan dan mengamankan komponen komponen instalasi dari bahaya tegangan maupun arus abnormal.

Nilai dari tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan . sebuah bangunan gedung agar terhindar dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai pentanahan $<5 \Omega$, sedangkan untuk peralatan elektronika dibutuhkan nilai tahanan pentanahan $<3 \Omega$ bahkan beberapa perangkat yang sensitif membutuhkan nilai tahanan pentanahan $<1 \Omega$. Upaya mendapatkan nilai pentanahan $<3 \Omega$ untuk peralatan elektronik cukup sulit karena nilai pentanahan juga dipengaruhi oleh faktor jenis tanah, suhu dan kelembaban, dan kondisi elektrolit tanah. Seperti terlihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.

1	2	3	4	5	6	7
Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah liat & tanah ledang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Resistansi jenis ($\Omega\text{-m}$)	30	100	200	500	1000	3000

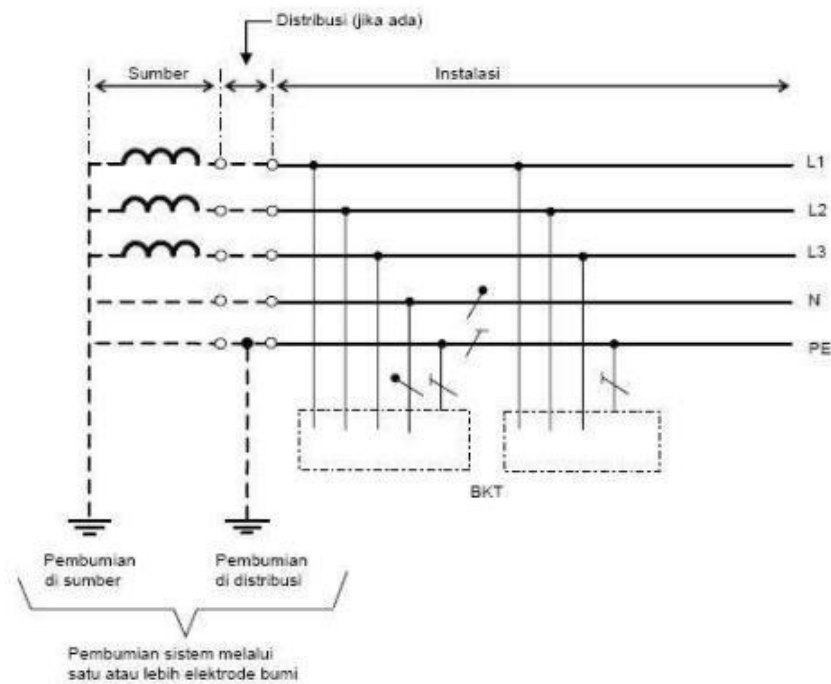
Gambar 2.9 Resistansi jenis tanah
(Sumber: PUIL 2011)

Dalam sistem pentanahan semakin kecil nilai tahanan maka semakin baik terutama untuk pengamanan personal dan peralatan, beberapa standart yang telah disepakati adalah bahwa saluran tranmisi substasion harus direncanakan sedemikian rupa sehingga nilai tahanan pentanahan tidak melebihi 1Ω untuk tahanan pentanahan pada komunikasi system/ data dan maksimum harga tahanan yang diijinkan 5Ω pada gedung / bangunan.

2.11.1 Jenis Sistem Pembumian

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

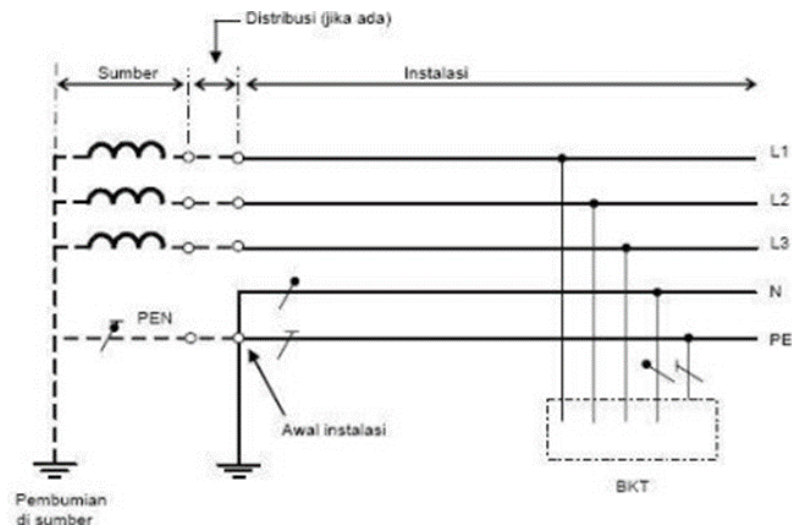
1. Sistem TN-S



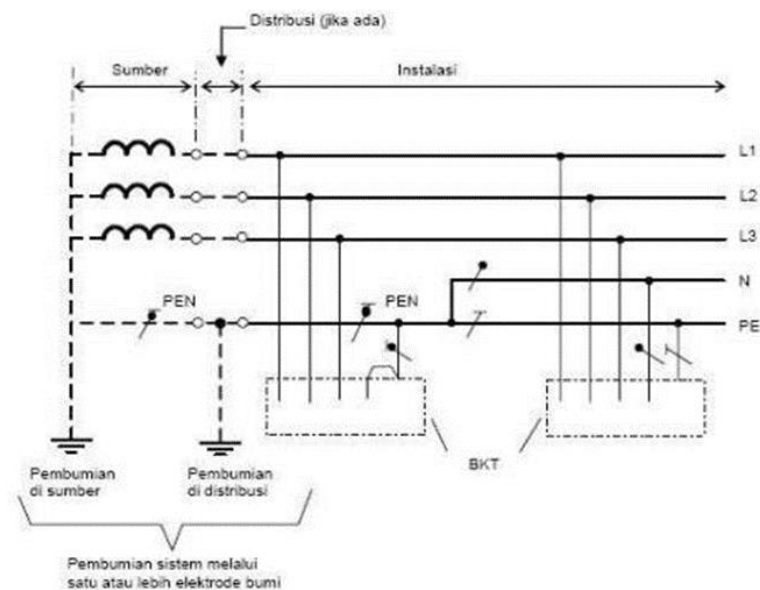
Gambar 2.10 Sistem pembumian TN

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



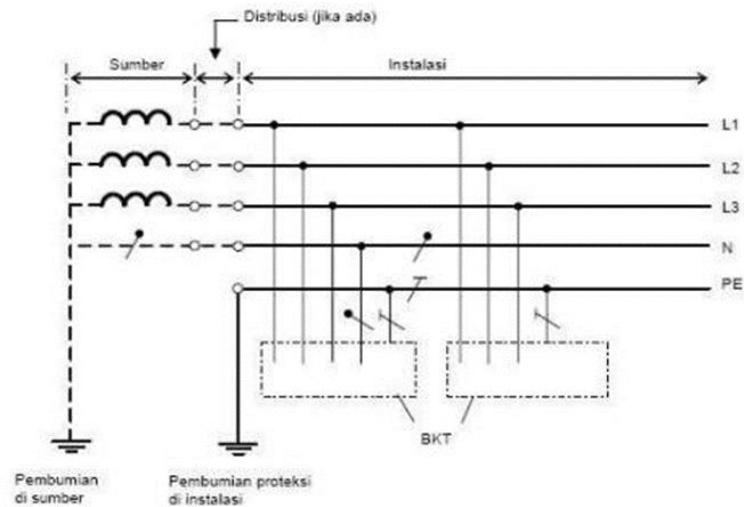
Gambar 2.11 Sistem TN-C-S dengan PE dan N terpisah



Gambar 2.12 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 disumber 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.

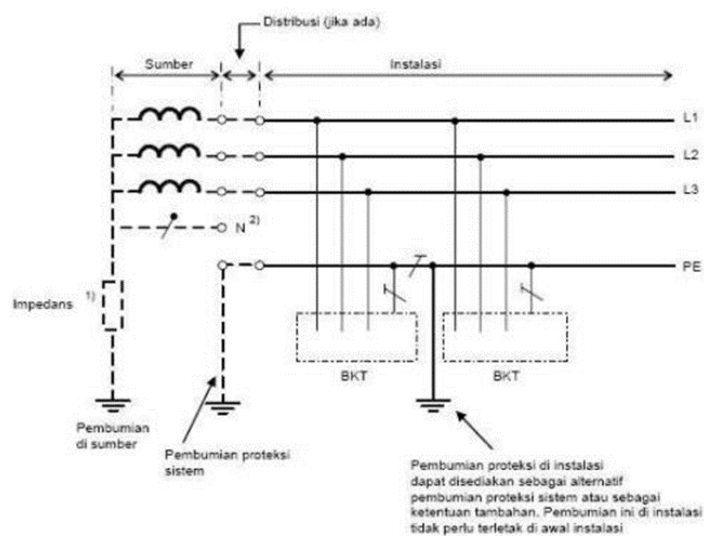
3. Sistem TT



Gambar 2.13 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 2.14 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 $\leq$ 30 mA	GPAS	GPAS $\leq$ 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 $\leq$ 30 mA	GPAL atau GPAS	GPAS $\leq$ 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 $\leq$ 30 mA	GPAL atau GPAS	GPAS $\leq$ 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 $\leq$ 30 mA	Gawai monitor insulasi GPAL atau GPAS	GPAS $\leq$ 500 mA	Direkomendasikan jika kontinuitas suplai menjadi kebutuhan utama	Untuk ruang khusus di rumah sakit, dan industri atau perkantoran khusus.

Gambar 2.15 Rekomendasi pemilihan sistem menurut SNI PUIL 2011

2.11.2 Penghantar Penumian

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

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot Z\%} \quad (2.17)$$

Keterangan :

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

S = Daya (VA)

Z = Impedansi transformator

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

Setelah diketahui besar arus hubung singkatnya kemudian dapat ditentukan untuk ukuran penghantar penumian menggunakan data pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Pemilihan ukuran penghantar pembedian

Electrical Properties						
	Current Ratings					
Cable Size (mm ²)	Ground (A)	Ducts (A)	Air (A)	Impedance (Ω /km)	Volt Drop (mV/A/m)	1 s Short- Circuit Rating (kA)
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

2.11.3 Elektroda Pembedian

Elektroda pembedian 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 pembedian dari sistem pembedian menggunakan elektroda batang tunggal dapat menggunakan persamaan 2.18 dibawah ini.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2.18)$$

Keterangan :

R = Resistansi pembumian (ohm)

ρ = Resistivitas tanah (ohm.m)

L = Panjang elektroda (m)

a = Jari jari elektroda (m)

Bahan elektroda yang banyak/umum digunakan PLN adalah pipa baja yang digalvanisir yang dilengkapi dengan rel tembaga dan tembaga bulat (BC). Sedangkan ukuran pipa baja yang digalvanisir adalah 1 ½ sepanjang 2,75 m dan rel tembaga sebagai perlengkapannya mempunyai ukuran 17 x 3 mm² tapi pada umumnya banyak dipakai tembaga bulat ukuran 50 mm². Ukuran tembaga bulat untuk bahan electrode adalah 5/8 sepanjang 2m.

Adapun elektroda yang biasa digunakan untuk sistem pembumian terdapat 3 jenis, yaitu:

1. Elektrode Pita

Elektode pita adalah yang terbuat dari penghantar yang berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya di tanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala jala atau kombinasi dari bentuk tersebut, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam 0,5 – 1,0 m. pemasangan electrode pita harus disusun simetris dengan sudut jari-jari minimal 60⁰.

2. Elektrode Batang

Elektrode batang adalah electrode dari pipa besi, baja profil atau batang logam lainnya yang ditanam dengan kedalaman minimum 2,5 meter.

3. Elektrode Pelat

Elektrode pelat adalah electrode dari bahan logam utuh atau berlubang, umumnya ditanam secara dalam dengan kedalaman 0,5 – 1,0 meter, 1 meter dibawah permukaan tanah.

2.12 Genset

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator memperoleh energi mekanis dari prime mover. Generator arus bolak-balik (AC) dikenal dengan sebutan alternator.

Sedangkan genset merupakan bagian dari generator. Genset merupakan suatu lat yang dapat mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Generator terpasang satu poros dengan motor diesel, yang biasanya menggunakan generator sinkron (alternator) pada pembangkitan.

Suplai daya listrik dari PLN sangat berpengaruh terhadap penyediaan energi listrik bagi masyarakat. Energi listrik dari PLN, tidak selalu continue dalam penyalurannya suatu saat pasti terjadi pemadaman dari PLN. Oleh karena itu untuk pensuplyan cadangan listrik sebagai back-up suplai cadangan utama yaitu genset harus sangat diperhatikan.

Dalam menentukan kapasitas genset berdasarkan SNI (ISO 8528-1-2009) tertulis “daya keluaran rata-rata yang diijinkan P_{pp} (Daya rata-rata yang diperkenankan) untuk pengoperasian selama 24 jam tidak melebihi 70% dari

PrP(daya penggerak mula) kecuali diizinkan lain oleh pabrikan mesin.” Dan faktor safety yang harus dimasukan dalam melakukan perhitungan dengan alasan sebagai berikut.

1. Pertimbangan kebutuhan genset sebagai sumber utama listrik

Penting untuk memilih genset dengan kapasitas yang lebih besar dari kebuthan aktual. Dikarenakan operasi genset pada kapasitas maksimum pada waktu yang lama dapat merusak mesin.

2. Pertimbangan faktor efisiensi pada genset

Memperhitungkan faktor efisiensi genset dalam menghitung kapasitas yang dibutuhkan.

3. Faktor cadangan (Margin of safety)

Sangat disarankan untuk memiliki margin cadangan dalam perhitungan kapasitas dari mesin genset. Hal ini akan membantu mengatasi lonjakan hebat yang tidak terduga dan memberikan fleksibilitas yang lebih.

Maka setelah beberapa pertimbangan diatas berikut kesimpulan persamaan dalam menentukan kapasitas genset yaitu :

$$\textbf{Kapasitas genset} = \frac{\textbf{P total beban terpasang}}{70\%} \dots\dots\dots(2.18)$$

P = Total beban daya aktif terpasang pada gedung

70% = Merupakan faktor safety