

BAB II

INSTALASI LISTRIK

Instalasi listrik ialah perlengkapan yang dipakai untuk menyalurkan energi listrik dari sumber listrik menuju beban atau perlengkapan yang membutuhkan. Perencanaan pada pemasangan instalasi listrik sangat penting bagi suatu bangunan agar bangunan tersebut memiliki fungsi yang diharapkan. Secara umum instalasi listrik bangunan terbagi menjadi dua yakni instalasi penerangan dan instalasi tenaga. Instalasi penerangan merupakan instalasi yang memiliki beban berupa penerangan sedangkan instalasi tenaga merupakan instalasi listrik yang memiliki beban kerja misalnya motor-motor listrik atau peralatan yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerakannya. Terdapat beberapa bagian dalam instalasi listrik yakni :

1. Penyediaan tenaga listrik.
2. Pembagian daya listrik.
3. Saluran daya listrik.
4. Proteksi daya listrik.
5. Pentanahan.

Di Indonesia Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) merupakan instrumen Standar Nasional Indonesia (SNI) mandatori sebagai referensi baku dalam instalasi tenaga listrik tegangan rendah pada hunian, perkantoran, fasilitas publik, maupun konstruksi lainnya. PUIL 2011 menjadi regulasi komprehensif yang mengatur perancangan, instalasi, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, hingga supervisi bangunan. Dokumen tersebut mencakup berbagai dimensi teknis terkait sistem kelistrikan, meliputi standardisasi peralatan, prosedur pengerjaan, persyaratan kondisi pemasangan, spesifikasi teknis, serta pengukuran parameter elektrik guna menjamin keamanan sistem, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 pp. 7-8)

2.1 Standar Instalasi Listrik

Peraturan instalasi listrik yang awalnya diadopsi sebagai referensi berbagai instansi terkait adalah *Algemene Voorschriften voor Electriche Sterkstroom Installaties* (AVE), yang diterbitkan sebagai regulasi N 2004 oleh Dewan

Normalisasi Pemerintah Hindia Belanda. Selanjutnya pada 1964, dokumen tersebut dialihbahasakan menjadi Norma Indonesia N16 atau Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) sebagai edisi perdana, yang kemudian mengalami revisi kedua serta ketiga pada 1977 dan 1987. Memasuki tahun 2000, nomenklatur instrumen ini bertransformasi menjadi Persyaratan Umum Instalasi Listrik dengan tetap mempertahankan akronim PUIL. Peralihan terminologi dari 'Peraturan' menjadi 'Persyaratan' dinilai lebih representatif, mengingat diksi 'Peraturan' secara semantik mengimplikasikan adanya kewajiban mutlak untuk mematuhi seluruh ketentuan beserta konsekuensi sanksi hukum yang menyertainya, sehingga penyesuaian ini dianggap lebih tepat guna dalam konteks standarisasi teknis kelistrikan nasional (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 pp. 11-13)

Dari dilakukannya penyempurnaan PUIL 1964, IEC 60346 merupakan sebagai referensi fundamental di samping regulasi internasional lainnya. Dalam pengembangan PUIL 2000, sinkronisasi terhadap IEC lebih diutamakan, kendati demikian demi aspek utilitas dan adaptabilitas kondisi lokal di Indonesia, beberapa ketentuan mengadopsi standar *National Electric Code* (NEC), *Verband Deutscher Elektrotechniker* (VDE), serta *Standards Association Australia* (SAA) secara selektif, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 pp. 11-13)

Pada tahun 2000 terdapat penyempurnaan terhadap PUIL 1987, yang dilakukan oleh panitia revisi PUIL 1987 dan ditetapkan oleh Menteri Pertambangan dan Energi tertera dalam Surat Keputusan Menteri No: 24-12/40/600.3/1999, tanggal 30 April 1999 dan No: 51-12/40/600.3/1999, tanggal 20 Agustus 1999. Anggota panitia yang terlibat dalam revisi PUIL tersebut ialah DEPTAMBEN, DEPKES, DEPNAKER, DEPERINDAG, BSN, PT. PLN, PT. Pertamina, YUPTL, APPI, AKLI, INKINDO, APKABEL, APITINDO, MKI, HAEI, PT. Scheneider Indonesia dan beberapa perguruan tinggi di Indonesia. Kemudian pada tahun 2002 pemerintah melalui Kementerian Tenaga Kerja, mengeluarkan Kepmeneker no. 75 tahun 2002, terkait pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor : SNI-04-0225-2000 pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) yang harus dipenuhi dalam perencanaan, pemasangan, penggunaan, pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik. Standar

PUIL 2000 di sempurnakan Kembali menjadi PUIL 2011 untuk menyesuaikan dengan standar internasional yaitu IEC 60634 yang keluar tahun 2009 (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 pp. 11-13)

2.2 Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Pemasangan instalasi listrik diperlukan pertimbangan beberapa aspek prinsip dasar agar instalasi listrik dapat digunakan secara efektif, optimal, dan efisien, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 pp. 8-9). Berikut prinsip dasar tersebut antara lain :

1. Keamanan (Safety)

Keamanan merupakan pertimbangan factor keamanan dari suatu instalasi listrik terkait manusia, bangunan, makhluk hidup serta peralatan itu sendiri (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 8).

2. Keandalan

Keandalan adalah instalasi listrik maupun peralatan listrik yang digunakan harus handal dan dalam kondisi baik. Prinsip ini menitikberatkan pada efektivitas serta relevansi fungsional perangkat proteksi saat terjadi anomali atau gangguan kelistrikan (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 8).

3. Kemudahan

Yang di maksud kemudahan adalah pemasangan instalasi listrik dan tata letak komponen harus mudah di jangkau oleh pengguna pada saat pengoperasian (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 8).

4. Ketersediaan

Ketersediaan ialah kesiapan sistem kelistrikan dalam memfasilitasi kebutuhan daya, perangkat elektrikal, maupun ekspansi jaringan. Pengembangan instalasi diupayakan tidak menginterupsi sistem eksisting, melainkan cukup melalui integrasi pada sumber cadangan (*spare*) yang telah diproyeksikan sebelumnya guna menjamin kontinuitas operasional secara menyeluruh (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 8).

5. Pengaruh Lingkungan

Pengaruh lingkungan ialah implikasi yang dihasilkan terhadap ekosistem sekitar akibat implementasi serta operasional instalasi listrik. Pada perencanaan instalasi listrik harus mempertimbangkan pengaruh negatif lingkungan terhadap instalasi listrik yang dipasang dan pengaruh negatif instalasi listrik terhadap lingkungan (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 9).

6. Keindahan

Keindahan ialah standarisasi tata letak komponen serta peralatan listrik yang terorganisir secara visual tanpa mengesampingkan kepatuhan terhadap regulasi teknis maupun norma operasional yang telah ditetapkan dalam standar instalasi nasional (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 9).

7. Ekonomis

Ekonomis merupakan biaya yang dikeluarkan dalam perencanaan, pemasangan instalasi listrik tidak terlalu banyak akan tetapi kualitas dan mutu instalasi yang terpasang baik, melalui perhitungan presisi serta pertimbangan teknis tanpa mengesampingkan parameter keamanan, reliabilitas, ergonomi, ketersediaan, implikasi lingkungan, maupun estetika (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 9).

2.3 Sistem Penerangan Buatan Pada Bangunan

Sistem penerangan buatan merupakan suatu mekanisme pencahayaan pada bangunan yang bersumber dari cahaya lain selain cahaya alami matahari, secara prinsip pencahayaan buatan harus dapat menerangi suatu ruangan dengan efisien. Kebutuhan pencahayaan pada setiap ruangan berbeda-beda sesuai dengan fungsinya (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 88). Perlu diperhatikan faktor-faktor dalam perancangan pencahayaan buatan antara lain :

1. Gambar ruangan, luas ruangan dan perencanaan tata letak lampu.
2. Kontruksi langit-langit.
3. Warna pantulan dinding dan langit-langit.
4. Fungsi ruangan.
5. Kondisi ruangan (temperature, kelembapan dan debu).

Setelah diketahui faktor-faktor diatas, maka dibuatlah estimasi penerangan buatan dengan Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Kuat Penerangan

Kuat penerangan adalah suatu ukuran dari cahaya yang menginterseksi suatu bidang permukaan. Satuan internasional yang digunakan adalah lux (lx), yang didefinisikan sebagai intensitas cahaya pada area seluas 1 m², atau lm/m² (lumen per meter persegi). Metodologi intensitas tersebut diimplementasikan dalam perancangan sistem pencahayaan interior, yang berfokus pada kalkulasi fluks total guna mencapai tingkat iluminasi spesifik yang dipersyaratkan pada suatu area kerja tertentu (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024). Kebutuhan setiap ruangan dapat menentukan Tingkat iluminasi yang dibutuhkan, standar kuat penerangan untuk berbagai tempat dapat disesuaikan pada kebutuhan aktivitas yang teratur dalam SNI 03-6575-2001 dapat dilihat pada (table 2.1).

Tabel 2. 1 Rekomendasi Tingkat Penerangan
(Badan Standardisasi Nasional, 2011 hal. 5-6)

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	
Dapur	350	1 atau 2	
Garasi	350	1 atau 2	
Perkantoran :			
Ruang direktur	350	1 atau 2	

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaannya (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Ruang kerja	350	1 atau 2	
Ruang komputer	350	1 atau 2	Gunakan armature 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 Restaurant :			
Lobby, koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertical sangat penting untuk menciptakan suasana/Kesan ruang yang baik.
Ballroom/ruang sidang	200	1	Sistem pencahayaan harus di rancang untuk menciptakan suasana yang

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
			sesuai sitem pengendalian “switching” dan “dimming” dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.
Ruang makan	250	1	
Cafetaria	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	
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

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaannya (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
			Bidang vertical 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	Pencahayaannya pada bidang vertical pada rak barang.
Toko alat listrik (TV, Radio/tape, mesin cuci, dan lain-lain)	250	1 atau 2	
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

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
			pencahayaannya yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat.
Gereja	200	1 atau 2	Idem
Vihara	200	1 atau 2	Idem

2. Koefisien Penggunaan

Koefisien penggunaan merupakan cahaya yang didistribusikan oleh armatur, baik melalui pancaran ke atas maupun ke bawah. Terminologi ini didefinisikan sebagai rasio antara fluks luminus yang mencapai bidang kerja terhadap total output cahaya yang dipancarkan oleh seluruh sumber lampu dalam sistem pencahayaan. Faktor yang mempengaruhi koefisien penggunaan ialah sebagai berikut :

- Intensitas armatur cahaya yang dikeluarkan.
- Perbandingan antara keluaran cahaya dari armature dengan keluaran cahaya dari lampu di dalam armature.
- Pantulan cahaya dari langit-langit, dinding serta lantai.
- Posisi pemasangan armature.
- Dimensi ruangan.

Besaran koefisien utilitas untuk sebuah armatur dipublikasikan oleh produsen berdasarkan hasil pengujian teknis dari instansi otoritas yang berwenang.

3. Faktor Refleksi

fenomena pantulan cahaya paralel yang mengenai permukaan medium reflektor. Dalam sistem pencahayaan interior, medium refleksi tersebut mencakup permukaan dinding (rw), langit-langit (rp), serta lantai (rm) (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 43). Faktor refleksi dipengaruhi oleh warna medium pantulnya yaitu :

- a. Warna putih : 0,7
- b. Warna muda : 0,5
- c. Warna sedang : 0,3
- d. Warna gelap : 0,2

4. Indeks Ruangan

Indeks ruangan merupakan perbandingan ukuran suatu ruangan (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 44)

5. Koefisien Depresi (Penyusutan)

Koefisien depresi atau koefisien rugi-rugi cahaya ialah perbandingan antara Tingkat pencahayaan setelah periode operasional tertentu terhadap intensitas pencahayaan pada kondisi instalasi awal. Parameter yang memengaruhi fluktuasi koefisien depresiasi tersebut mencakup:

- a. Kebersihan dari lampu serta armatur.
- b. Kebersihan dari lampu serta armatur.
- c. Penurunan keluaran cahaya lampu selama waktu penggunaan.
- d. Penurunan keluaran cahaya lampu sebab penurunan tegangan listrik.

Penentuan besaran koefisien ini umumnya didasarkan pada estimasi pemeliharaan preventif yang optimal; dalam standar teknis, nilai depresiasi biasanya ditetapkan sebesar 0,8 (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 45).

6. Jumlah Armatur Lampu

Untuk mendapatkan tingkat pencahayaan pada setiap ruangan di perlukan perhitungan jumlah armature. Perhitungan fluks luminus total yang dibutuhkan guna memperoleh tingkat pencahayaan yang direncanakan.

2.4 Proteksi Pada Instalasi Listrik

Terdapat beberapa permasalahan atau gangguan yang mungkin akan terjadi pada sistem instalasi listrik antara lain arus lebih dan penurunan tegangan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan peralatan dan perlengkapan proteksi pada sistem instalasi listrik. Pemasangan proteksi pada instalasi listrik bertujuan sebagai berikut :

1. Memproteksi pada gangguan yang terjadi di suatu tempat agar tidak berdampak pada tempat yang lain.
2. Memproteksi pada saat terdapat perbaikan, pemeliharaan atau penambahan instalasi listrik.
3. Pengamanan terhadap manusia, peralatan yang digunakan, dan lingkungan sekitar dari bahaya arus listrik.

2.4.1 Arus Lebih

Pengertian arus lebih berdasarkan PUIL 2011 ialah nilai arus yang melebihi dari nilai pengenalnya (*overcurrent*)-IEV 826-11-14, untuk penghantar konduktor arus pengenalnya adalah Kemampuan Hantar Arus (KHA).

1. Beban lebih atau *over load*, Peristiwa ini terjadi pada saat arus yang mengalir dalam sistem kelistrikan melebihi 50% sampai dengan 100% arus pengenalnya. Pada kasus ini terjadi secara bertahap seperti, penggunaan kabel penghantar yang tidak sesuai dengan nilai KHA maka akan menyebabkan penghantar menjadi panas kemudian mengakibatkan kabel meleleh dan menimbulkan percikan api.
2. Hubung singkat, merupakan terhubungnya fasa dan netral atau fasa dengan pentanahan. Masing-masing koneksi memiliki nilai resistansi rendah yang menyebabkan arus mengalir menjadi lebih tinggi pada sistem.

2.4.2 Drop Voltage

Drop voltage atau dengan nama lain jatuh tegangan adalah kesalahan tegangan terhadap tegangan pengenal, seperti tegangan yang lebih rendah dari tegangan normal pada saat arus melalui penghantar (Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 48). Drop voltage atau jatuh tegangan pada instalasi listrik disebabkan oleh :

1. Panjang kabel penghantar.

Semakin Panjang pada sebuah penghantar, maka tahanan dalam sebuah penghantar semakin besar. Faktor ini menyebabkan jatuh tegangan semakin besar karena adanya hambatan dalam bahan penghantar.

2. Luas penampang penghantar.

Luas penampang penghantar akan berbanding terbalik dengan tahananannya. Semakin besar konduktor sebuah penghantar maka akan semakin kecil hambatan pada suatu penghantar.

3. Tahanan jenis penghantar.

Pemilihan bahan penghantar akan mempengaruhi nilai jatuh tegangan karena berkaitan dengan jenis tahanan dari bahan tersebut.

4. Besaran arus.

Peningkatan intensitas arus listrik pada penghantar berbanding lurus dengan besarnya nilai rugi tegangan dalam sistem.

Sesuai dengan Standar Nasional Indonesi (SNI 0225:2011) atau PUIL 2011 nilai jatuh tegangan adalah $\leq 4\%$ dari voltase pengenalan. Deviasi jatuh tegangan yang melampaui ambang batas berisiko merusak peralatan, karena beban beroperasi secara paksa akibat degradasi tegangan saat kebutuhan daya konstan. Kondisi ini menginduksi akumulasi panas berlebih pada penghantar yang berpotensi memicu kegagalan isolasi hingga risiko kebakaran sistem (Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 48).

Tabel 2. 2 Penurunan Tegangan Pada Kabel Tembaga

Ukuran kabel tembaga			RDC 20° C	RAC 90° C	XAC 50° Hz	Tegangan jatuh susunan kabel trefoil di udara	Rati ng Am p	Tegangan jatuh L = 100 m I = 80% Rating kabel trefoil di udara	Tega nga n jatu h
mm ²	AWG	wire	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mV/Amp/ m	Amp	Volt	Volt
1,5	#14	1/1.38	11.9	15.23	0,012	27	18	39	30

Ukuran kabel tembaga			RDC 20° C	RAC 90° C	XAC 50° Hz	Tegangan jatuh susunan kabel trefoil di udara	Rati ng Amp p	Tegangan jatuh L = 100 m I = 80% Rating kabel trefoil di udara	Tega nga n jatu h
mm ²	AWG	wire	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mV/Amp/ m	Amp	Volt	Volt
2,5	#12	1/1.78	7.14	9.139	0.099	16	25	32	25.5
4	#10	1/2.25	4.47	5.722	0.093	10	34	27	21.8
6	#8	1/2.76	2.97	3.802	0.088	6.8	44	24	18.9
10	#6	1/3.57	1.77	2.266	0.084	4	60	19	15.5
16	#4	7/1.70	1.13	1.446	0.081	2.5	80	16	13.4
25	#2	7/2.14	0.712	0.911	0.081	1.6	105	13	11.3
35	#1	7/2.52	0.514	0.658	0.078	1.15	130	12	10.3
50	2/0	19/1.78	0.379	0.485	0.094	0.87	215	15	13.2
70	3/0	19/2.14	0.262	0.335	0.090	0.61	270	13	12.1
95	4/0	19/2.52	0.189	0.242	0.087	0.45	335	12	11.4
120	250 mcm	37/2.03	0.150	0.192	0.084	0.37	390	11.5	11
150	300 mcm	37/2.25	0.122	0.157	0.084	0.31	445	11	10.9
185	400 mcm	37/2.50	0.097	0.126	0.084	0.26	510	10.6	10.7
240	500 mcm	61/2.25	0.074	0.097	0.081	0.22	606	10.7	10.6
300	600 mcm	61/2.25	0.059	0.078	0.080	0.195	701	10.9	10.7
400	750 mcm	61.2.85	0.046	0.063	0.079	0.175	820	11.5	11.1
500	1000 mcm	61.3.2	0.036	0.051	0.078	0.16	936	12	11.3

2.4.3 *Miniature Circuit Braker (MCB)*

MCB merupakan peralatan pengaman arus listrik dari beban lebih (*overload*) dan hubung singkat. Terdapat 2 komponen pada MCB yaitu termis dan relai elektromagnetik, masing-masing fungsinya ialah untuk pengamanan dari arus lebih dan hubung singkat. Thermal terbuat dari bahan logam bimetal, agar pada saat terkena panas akibat arus lebih maka bimetal akan melengkung dan memutuskan kontak MCB sedangkan relai elektromagnetik menggunakan bahan kumparan yang mudah terinduksi pada saat terkena arus lebih sehingga mengakibatkan putusnya tuas MCB, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024).



Gambar 2. 1 Miniature Circuit Braker

Terdapat 2 jenis MCB yaitu 1 fasa dan 3 fasa, 1 fasa biasanya digunakan untuk instalasi rumah sederhana dan sebagai pembatas KWH beban pengaman, batas pengaman penggunaan artinya batasan daya yang digunakan seperti 400 atau 900 watt, jika penggunaan melebihi batasan tersebut MCB akan memutuskan secara otomatis. MCB 3 fasa digunakan untuk instalasi listrik berkapasitas besar.

Kelebihan penggunaan MCB sebagai berikut :

1. Sebagai pengaman dari arus berlebih dan hubung singkat 1 fasa maupun 3 fasa.
2. Dapat difungsikan kembali pasca aktivasi sistem proteksi akibat fenomena arus hubung singkat maupun beban lebih.

3. Memiliki respon baik apabila terjadi gangguan seperti *over load* atau hubung singkat.

2.4.4 Air Circuit Braker (ACB)

Air Circuit Braker (ACB) ialah perangkat proteksi otomatis yang mengutilisasi media udara guna memadamkan busur api elektrik saat terjadi proses pemutusan atau penyambungan rangkaian listrik (Basuki Nur Hutomo, 2019 p. 33). Selain sebagai pengaman arus lebih ACB memiliki fungsi lain, yaitu :

1. UVT (Under Voltage Trip) berperan untuk memberikan perlindungan pada saat tidak ada tegangan listrik, maka ACP tidak bisa difungsikan.
2. CC (Closing Coil) berperan untuk menyalakan ACB secara otomatis.
3. Kemampuan hantar arus ACB mencapai hingga 6000 A dan dilengkapi dengan selektor pilihan batas arus maksimum ACB. Diimplementasikan pada sistem kelistrikan industri berdaya tinggi, perangkat ini umumnya diaplikasikan untuk instalasi tiga fasa yang memerlukan kapasitas pemutusan (*breaking capacity*) lebih besar guna menjamin stabilitas serta keamanan jaringan distribusi.



Gambar 2. 2 Air Circuit Braker

2.4.5 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) memiliki fungsionalitas serupa dengan MCB dalam memproteksi sistem dari fenomena beban lebih maupun hubung singkat. Diferensiasi utama terletak pada fleksibilitas parameter pemutusan arus yang dapat dikalibrasi sesuai kebutuhan beban spesifik, (Basuki Nur Hutomo, 2019 p. 32). MCCB mengintegrasikan kapasitas hantar arus kontinu yang jauh melampaui MCB, dengan rating nominal mencapai 1000 A. Perangkat ini dirancang secara modular untuk diaplikasikan pada berbagai level tegangan, mulai dari kategori tegangan rendah hingga jangkauan tegangan menengah.



Gambar 2. 3 *Moulded Case Circuit Braker* (MCCB)

2.4.6 Arus Nominal Pengaman

Untuk pemilihan rating pengaman alat produksi instalasi listrik, terlebih dahulu harus diketahui arus nominal kapasitas dari alat proteksi tersebut, (Ismansyah, 2009). Arus nominal pengaman dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Arus pada tegangan 1 fasa

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos\phi} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Arus pada tegangan 3 fasa

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Diketahui :

I_n = Arus nominal (A)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (V)

$\cos\phi$ = Faktor daya

Sesuai dengan PUIL 2011 besar nilai KHA perlengkapan yang dibebani arus lebih adalah 125% dari arus pengenal. Maka didapat persamaan :

$$I_{KHA} = I_n \times 1,25 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal (A)

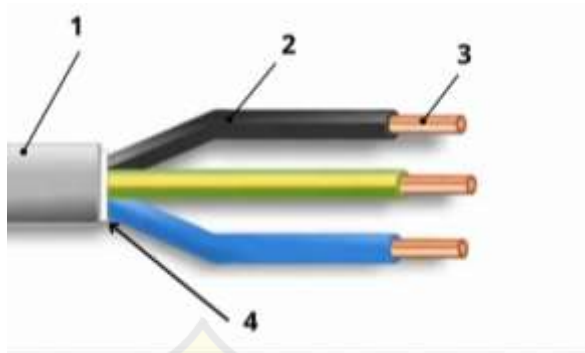
I_{KHA} = Arus KHA (A)

2.5 Penghantar Instalasi Listrik

Penghantar arus listrik disebut kabeL yang terbuat dari bermacam-macam bahan, khususnya bagian yang digunakan untuk penghantar arua (*isolator*). Bahan isolator umumnya menggunakan tembaga karena harganya terjangkau dan memiliki daya hantar yang baik, (Surismanto, 2018 p. 9). Terdapat bermacam-macam kabel yang biasa digunakan dalam instalasi listrik yaitu :

1. Kabel NYM

Kabel NYM ialah kabel yang mempunyai konduktor lebih dari satu memiliki bentuk keras dan terbuat dari tembaga dengan lapisan berbahan PVC. Kabel NYM dipakai pada instalasi tetap bangunan, biasanya penempatannya diluar atau didalam tembok. Kabel NYM memiliki bermacam-macam ukuran tergantung pada berapa jumlah inti kabel tembaga seperti 2, 3 atau sampai dengan 4. Kabel NYM dilapisi isolasi sebanyak 2 lapis, menjadikan tingkat keamanannya lebih baik dari kabelnya. (Surismanto, 2018 p 10)



Keterangan :

1. Isolasi PVC
2. Selubung
3. Konduktor
4. Lapisan pembungkus inti

Gambar 2. 4 Kabel NYM

2. Kabel NYA

Kabel NYA ialah salah satu jenis kabel listik yang digunakan di Indonesia. NYA terbuat dari bahan tembaga serabut yang memiliki lapisan bahan isolasi PVC. Kabel NYA biasa digunakan instalasi dalam gedung, rumah tangga dan industri, (Surismanto, 2018 p. 10)

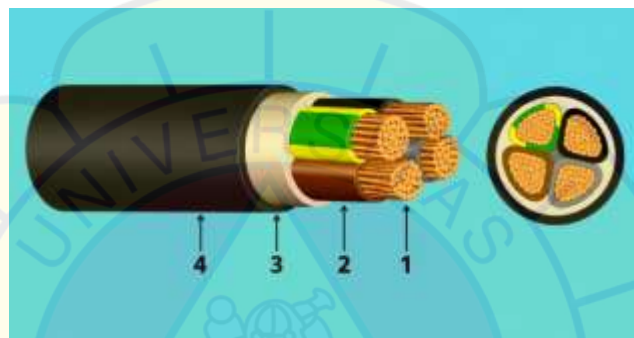


Gambar 2. 5 Kabel NYA

Kabel NYA mempunyai dua jenis, yaitu kabel NYA dan kabel NYAF, Kabel NYA digunakan untuk instalasi dalam bangunan atau gedung sedangkan kabel NYAF digunakan untuk instalasi pada alat-alat atau mesin yang bergerak.

3. Kabel NYY

Kabel NYY memiliki konstruksi standar yang terdiri atas konduktor tembaga berisolasi PVC dengan tambahan selubung luar berbahan serupa. Kabel ini diimplementasikan untuk infrastruktur kelistrikan tegangan rendah hingga menengah, dengan kapasitas isolasi nominal yang mampu menahan tegangan operasional serta arus listrik hingga ambang 1000 V (Surismanto, 2018 p. 11)



Keterangan :

1. Konduktor
2. Selubung
3. Lapisan pembungkus inti
4. Isolasi PVC

Gambar 2. 6 Kabel NYY

Fungsi kabel NYY sendiri sebagai penghubung antara peralatan listrik dengan sumber listrik yang berbeda di luar peralatan tersebut. Keunggulan kabel NYM seperti, daya tahan terhadap suhu panas, dingin dan bahan kimia, mudah dipasang dan dapat digunakan untuk jarak jauh.

4. Kabel BC

Kabel BC merupakan konduktor kabel saja yang digunakan pada saluran udara dan penghantar pembumian. Kabel *Bare Core* (BC) secara teknis diidentifikasi sebagai penghantar tanpa pelindung, mengingat konstruksinya hanya terdiri dari konduktor tanpa aplikasi material isolasi eksternal. Secara klasifikasi, kabel BC terbagi menjadi varian aluminium dan tembaga. Konduktor tembaga murni dikenal sebagai *Bare Copper*

Conductor (BCC), sementara varian aluminium secara spesifik diklasifikasikan sebagai *All Aluminium Conductor* (AAC), (Basuki Nur Hutomo, 2019 p. 24).



Gambar 2. 7 Kabel BC

Pemilihan luas penampang kabel pada instalasi listrik yang akan digunakan di tentukan oleh Kemampuan Hantar Arus (KHA) pada suatu kabel. Kuat Hantar Arus (KHA) ialah intensitas arus maksimum yang dialirkan konduktor secara kontinu pada parameter spesifik tanpa menyebabkan suhu operasional tunaknya (*steady state*) melampaui ambang batas termal yang telah ditetapkan standar (Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011).

Tabel 2. 3 Kemampuan Hantar Arus Tembaga
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 313)

Metode Instalasi	Ukuran (mm ²)	Jumlah Konduktor Berbeban dan Jenis Instalasi			
		Dua PVC	Tiga PVC	Dua XLPE	Dua PVC
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178

	95	216	179	252	211
Metode Instalasi	Ukuran (mm ²)	Jumlah Konduktor Berbeban dan Jenis Instalasi			
		Dua PVC	Tiga PVC	Dua XLPE	Dua PVC
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396

Sesuai dengan Standard Nasional Indonesia kemampuan hantar arus kabel NYY dapat dilihat pada (tabel 2.4) dibawah.

Tabel 2. 4 Kemampuan Hantar Arus Kabel NYY
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 524)

Luas Penampang Kabel	KHA Terus Menerus					
	Inti Tunggal		2-Inti		3-Inti dan 4-Inti	
	Tanah	Udara	Tanah	Udara	Tanah	Udara
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
Luas Penampang Kabel	KHA Terus Menerus					
	Inti Tunggal		2-Inti		3-Inti dan 4-Inti	
	Tanah	Udara	Tanah	Udara	Tanah	Udara
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	-	-	-	-

Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia luas penampang konduktor dapat dilihat pada (tabel 2.6) dibawah ini :

Tabel 2. 5 Luas Penampang Minimum Konduktor Proteksi
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 362)

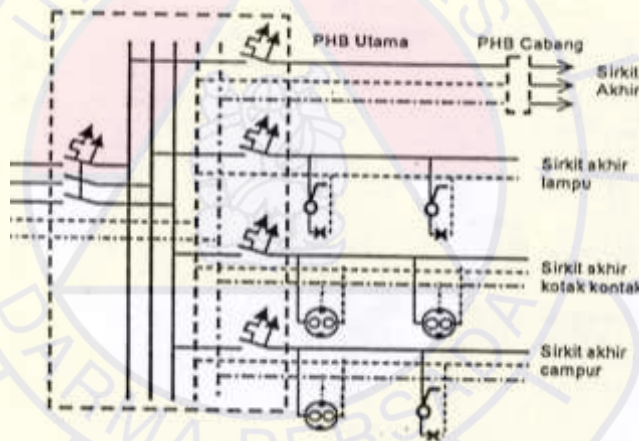
Luas penampang konduktor lin S mm ²	Luas penampang minimum konduktor proteksi terkait mm ²
	Jika konduktor proteksi berbahan sama seperti konduktor saluran
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

2.6 Panel Hubung Bagi (PHB)

Panel Hubung Bagi (PHB) ialah infrastruktur kelistrikan yang mengemban fungsi penerimaan suplai energi dari penyedia daya untuk didistribusikan lebih lanjut. Perangkat ini mengatur transmisi energi listrik melalui sirkuit utama menuju panel distribusi sekunder maupun langsung ke sirkuit akhir beban, yang mencakup elemen pencahayaan serta titik kontak peralatan listrik lainnya di dalam

lingkup konstruksi bangunan, (Basuki Nur Hutomo, 2019 pp. 13-14) Fungsi utama dari PHB antara lain :

1. Menerima energi listrik yang berasal dari alat pembatas dan pengukur seperti pengukur daya listrik.
2. Mendistribusikan energi listrik yang diterima ke beban-beban atau sub PHB lainnya.
3. Tempat pemasangan alat pengaman listrik, seperti MCB, MCCB, fuse dan lainnya.
4. Tempat peletakan indikator seperti, ammeter, voltmeter, frequency meter sebagai alat mengontrol kestabilan listrik.
5. Sebagai cabang instalasi listrik untuk membagi aliran listrik ke beberapa sirkit.



Gambar 2. 8 Bagian-Bagian Panel Hubung Bagi

2.6.1 Pengelompokan Perlengkapan Sirkuit

Berdasarkan dengan PUIL 2011 Pasal 511.2.5 ngkat Hubung Bagi dan Kendali (PHBK) yang mengintegrasikan berbagai sirkuit hilir fase tunggal maupun fase tiga, untuk beban daya serta pencahayaan, wajib mengelompokkan gawai proteksi, sakelar, dan terminal secara terorganisir sesuai kategorisasi teknisnya, (Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 438). Yaitu sebagai berikut :

1. Kelompok komponen instalasi tenaga sebaiknya dipisahkan secara struktural dari modul pencahayaan.

2. Kelompok perangkat fase tunggal, fase dua, maupun fase tiga wajib dilakukan secara mandiri guna menjamin efisiensi serta keamanan operasional.

2.6.2 Panel Distribusi

Panel distribusi merupakan pusat pengaturan dan distribusi daya listrik yang menggabungkan sirkit dari berbagai Lokasi ke dalam pusat kendali. Melalui panel ini, arus listrik dialirkan ke berbagai sirkit cabang sehingga mudah dikontrol dan pengaturan pasokan listrik ke beberapa cabang area dalam suatu bangunan. Panel Distribusi memiliki fungsi utama membagi daya listrik menjadi sirkit terpisah, sehingga apabila terjadi kerusakan atau perbaikan maka tidak perlu mematikan listrik pada satu area . Terdapat beberapa jenis panel distribusi sebagai berikut :

1. Medium Voltage Main Distribution Panel (MVMDP), yang berfungsi mendistribusikan listrik tegangan menengah sekitar 20 kV terutama dari gardu PLN.
2. Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP), yang berfungsi mengalirkan listrik tegangan rendah yaitu 220 volt dan 380 volt dari transformator ke berbagai panel distribusi yang lebih kecil.
3. Main Distribution Panel (MDP) merupakan panel distribusi utama yang mendistribusikan listrik ke panel-panel dengan skala yang lebih kecil.

2.7 Busbar

Busbar merupakan komponen yang digunakan dalam panel listrik untuk menghantarkan dan mendistribusikan arus listrik dari sumber masuk ke beberapa titik keluaran atau beban. Busbar terbuat dari batang logam yang memiliki bentuk plat kaku dan ukuran disesuaikan dengan kebutuhan. Busbar berfungsi sebagai penghantar utama distribusi listrik dalam panel yang menghubungkan sumber listrik lain seperti MCB dan MCCB, memudahkan pemasangan, dan mengurangi resiko panas berlebih.



Gambar 2. 9 Busbar

Sesuai dengan PUIL 2011 Pasal 510.5.3.1 dalam menentukan luas penampang busbar panel dapat menggunakan persamaan seperti pada persamaan luas penampang penghantar tembaga, yaitu KHA dikaliakn dengan 125% (Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 400) ukuran tembaga dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Pembebanan Konduktor Yang Diperbolehkan Untuk Penampang Persegi
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 446)

Ukura n	Luas Penamp ang	Berat	Pembebanan Kontinue (A)							
			Arus Bolak-Balik							
			Dilapisi lapisan konduktif (Jumlah Batang)				Telanjang (Jumlah Batang)			
m	mm ²	Kg/m	1	2	3	4	1	2	3	4
12 x 2	24	0,23	125	225	-	-	110	200	-	-
15 x 2	30	0,27	155	270	-	-	140	240	-	-
15 x 3	45	0,40	185	330	-	-	170	300	-	-
20 x 2	40	0,36	205	350	-	-	185	315	-	-
20 x 3	60	0,53	245	425	-	-	220	380	-	-
20 x 5	100	0,89	325	550	-	-	290	495	-	-
25 x 3	75	0,67	300	510	-	-	270	460	-	-
25 x 5	125	1,11	385	670	-	-	350	600	-	-
30 x 3	90	0,80	380	600	-	-	315	540	-	-
30 x 5	150	1,34	450	780	-	-	400	700	-	-
40 x 5	200	1,78	600	1000	-	-	520	900	-	-

Ukuran	Luas Penampang	Berat	Pembebanan Kontinue (A)							
			Arus Bolak-Balik							
			Dilapisi lapisan konduktif (Jumlah Batang)				Telanjang (Jumlah Batang)			
m	mm ²	Kg/m	1	2	3	4	1	2	3	4
40 x 10	400	3,56	835	1599	2060	2800	760	1350	1650	2500
50 x 5	250	2,23	700	1200	1750	2310	630	1100	1550	2100
50 x 10	500	4,46	1025	1800	2450	3330	920	1620	2200	3000
60 x 5	300	2,67	825	1400	1983	2650	750	1300	1800	2400
60 x 10	600	5,34	1200	2100	2800	3800	1100	1860	2500	3400
80 x 5	400	3,56	1060	1800	2450	3300	950	1650	2700	2900
80 x 10	800	7,12	1540	2600	3450	4600	1400	2300	3100	4200
100 x 5	500	4,45	1310	2200	2950	3800	1200	2000	2800	3400
100 x 10	1000	8,90	1880	3100	4000	5400	1700	2700	3600	4800

2.8 Daya Listrik

Daya listrik ialah laju transfer energi listrik yang terjadi dalam sebuah sirkit atau rangkaian listrik. Besaran daya listrik dipengaruhi oleh tegangan (V), arus (I), dan hambatan listrik, daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik yang digunakan dalam sistem internasional adalah watt (W).

2.8.1 Macam-Macam Daya Listrik Arus Bolak-Balik

Pada dasarnya daya listrik arus bolak balik dibagi menjadi tiga, khususnya beban yang memiliki impedansi (Z), yakni :

1. Daya nyata atau daya aktif (Watt)

Daya aktif ialah konsumsi energi riil yang dikonversi menjadi kerja mekanis oleh beban. Besaran ini diperoleh melalui kalkulasi perkalian daya semu dengan faktor daya (Cosphi). Akumulasi daya reaktif dari beban induktif maupun kapasitif berpotensi mendegradasi nilai daya aktif dalam sistem (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 115). Daya aktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P = V \times I \times \cos (\varnothing) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

P = Daya aktif

V = Tegangan

I = Arus listrik

Cosphi = Faktor daya

2. Daya Semu (VA)

Daya semu ialah totalitas kapasitas elektrik yang disalurkan penyedia daya sebelum terinterfensi oleh beban spesifik. Secara teknis, besaran ini mencerminkan daya total yang dialirkan ke konsumen, di mana beban resistif murni mengonsumsi energi dengan karakteristik nilai daya semu tersebut (R) (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 115).

Daya semu dapat dihitung dengan persamaan :

$$S = V \times I \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

S = Daya semu

V = Tegangan

I = Arus listrik

3. Daya Reaktif (VAR)

Daya reaktif ialah energi sirkulasi yang memicu inefisiensi sistem serta penurunan faktor daya. Untuk memitigasi eksedensi daya reaktif tersebut, kapasitor bank diintegrasikan pada sirkuit berbeban induktif sebagai langkah kompensasi serta optimasi penggunaan daya (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 116). Untuk menghitung daya reaktif menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$1 \text{ Phasa } Q = V \times I \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

$$3 \text{ Phasa } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

Q = Daya semu

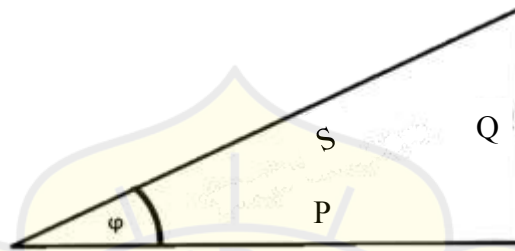
V = Tegangan

I = Arus listrik

φ = Faktor daya

2.8.2 Segitiga Daya

Segitiga daya ialah representasi grafis hubungan matematis antara daya semu, aktif, serta reaktif yang diintegrasikan melalui formulasi prinsip trigonometri, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 116).



Gambar 2. 10 Segitiga Daya Listrik

Dari segitiga daya diatas, maka dapat dihitung dengan memakai persamaan berikut ini :

$$P = S \times \cos(\varphi) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \dots \dots \dots (2.9)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (VA)

Q = Daya Reaktif (VAR)

φ = Faktor daya

2.8.3 Faktor Daya

Faktor daya ini merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) terhadap daya semu (VA), yang mencerminkan proporsi arus kerja efektif dalam suatu sirkuit terhadap totalitas arus yang mengalir masuk ke dalam seluruh jaringan sistem kelistrikan, (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 115) Sudut fasa faktor daya adalah selisih fase antara fase tegangan dan fasa arus. Faktor daya dapat disimbolkan dengan $\cos \varphi$, dimana ;

$$\cos(\phi) = \frac{P}{S} = \frac{kW}{KVA} \dots \dots \dots (2.11)$$

Salah satu contoh, apabila arus terbelakang (lagging) dari tegangan dan tegangan mendahului arus dengan sudut fasa maka bisa dinamakan dengan beban yang memiliki sifat induktif, dan apabila arus mendahului (leading) maka dinamakan rangkaian yang memiliki sifat kapasitif, serta apabila arus sefase dengan tegangan maka dinamakan rangkaian yang memiliki sifat resistif. Faktor daya memiliki nilai range antara 0-1 dan dinyatakan pada bentuk persen (%).

2.9 Pentanahan

Pentanahan atau pembumian merupakan sistmen kelistrikan yang berfungsi untuk menghubungkan peralatan listrik ke dalam tanah (bumi) dengan standard PUIL 2011, sehingga dapat melindungi manusia dari sengatan listrik (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 91).

Terdapat faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahan yang baik, anantara lain :

1. Tanah

Hambatan jenis tanah merupakan faktor untuk menentukan besarnya hambatan pentanahan RG. Semakin kecil nilai hambatan tanah maka semakin kecil hambatan system pentanahan (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 92). Sesuai PUIL 2011, nilai tahanan jenis tanah sangat berbeda sesuai dengan jenis tanahnya akan terlihat pada (tabel 2.7).

Tabel 2. 7 Hambatan Jenis Tanah
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 358)

Jenis Tanah	Resistansi Jenis (ohm-m)
Tanah Rawa	30
Tanah liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Bahan dan dimensi elektrode bumi harus memiliki jenis material tahan terhadap korosi dan memiliki kuat mekanis yang memadai, ukuran minimum biasa untuk elektrode bumi akan terlihat pada tabel (2.8).

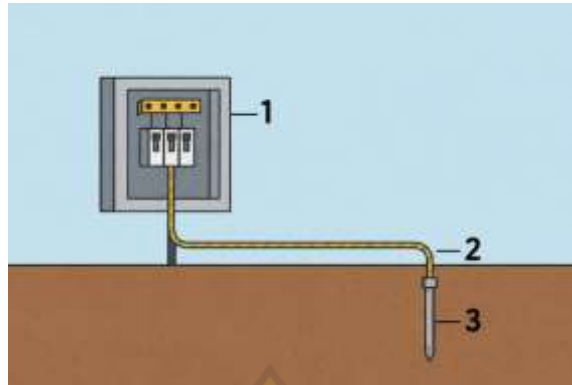
Tabel 2. 8 Ukuran Minimum Bahan dan Dimensi Elektrode Pembumian
(Badan Standardisasi Nasional-PUIL, 2011 p. 356)

Bahan	Permukaan	Bentuk	Ukuran Minimum		
			Diameter mm	Luas Penampang mm ²	Tebal mm
Tembaga	Polos	Strip	-	50	-
		Kawat bulat untuk elektrode permukaan	-	25	-
		Konduktor pilin	-	25	-
		Pipa	20	-	2
		Pelat	-	0,5 m ² -1 m ²	1,5
	Berlapis timah putih	Konduktor pilin	1,8 untuk serat kawat individual	25	-
	Berlapis seng	Pita	-	50	2

Jenis-jenis elektroda pentanahan, yaitu :

1. Elektroda batang (ROD)

Elektroda batang merupakan jenis elektroda dari pipa besi atau tembaga yang ditanam ke dalam tanah. Elektroda jenis ini adalah salah satu yang paling mudah dalam pemasangannya dengan cara menancapkan ke dalam tanah dan tidak memerlukan lahan yang luas. (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 94)



Keterangan :

1. Conductor Pembumian
2. Elektrode Pembumian
3. Elektrode Pembumian

Gambar 2. 11 Elektrode Batang (Rod)

Elektroda batang dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$RG = RR = \frac{\rho}{2\pi LR} \left\{ 1n \left(\frac{4LR}{AR} \right) - 1 \right\} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan

RG = Tahanan pentanahan (ohm)

RR = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (ohm)

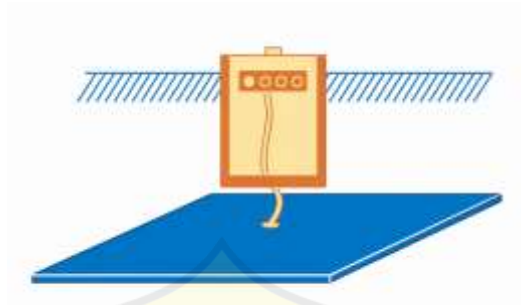
ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

LR = Panjang elektroda (meter)

AR = Diameter elektroda (meter)

2. Elektroda pelat

Elektroda pelat terbuat dari bahan pelat logam yang memiliki bentuk utuh atau berlobang. Jenis ini digunakan apabila elektroda yang dibutuhkan kecil dan ditanam didalam. (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 95)



Gambar 2. 12 Elektroda Pelat

3. Elektroda pita

Elektroda pita merupakan elektroda yang terbuat dari bahan hantaran yang berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang ditanam secara dalam. Jenis elektroda ini sulit dalam pemasangannya, tahanan pentanahan yang dihasilkan dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya (Rimbawati, ST., MT, et al., 2024 p. 97)