

Bagian 3 Proteksi untuk keselamatan

3.1 Pendahuluan

3.1.1 Proteksi untuk keselamatan menentukan persyaratan terpenting untuk melindungi manusia, ternak dan harta benda.

Proteksi untuk keselamatan selengkapnya meliputi:

- a) Proteksi dari kejut listrik (lihat 3.2).
- b) Proteksi dari efek termal (lihat 3.23).
- c) Proteksi dari arus lebih (lihat 3.24).
- d) Proteksi dari tegangan lebih, khususnya akibat petir (lihat 3.25).
- e) Proteksi dari tegangan kurang.
- f) Pemisahan dan penyakelaran.

CATATAN Proteksi dari tegangan kurang serta pemisahan dan penyakelaran belum dijelaskan dalam PUIL ini, tetapi akan diterbitkan dalam suplemen PUIL, dalam amandemen PUIL atau akan dimasukkan dalam revisi PUIL yang akan datang. Proteksi dari tegangan lebih yang dijelaskan adalah hanya yang diakibatkan karena petir, sedangkan yang disebabkan karena penyakelaran dan karena gangguan antara sistem tegangan tinggi dan bumi belum dijelaskan.

3.1.2 Tindakan proteksi dapat diterapkan pada seluruh instalasi, pada sebagian instalasi atau pada suatu perlengkapan.

Jika kondisi tertentu dari suatu tindakan proteksi tidak memuaskan, maka harus diambil tindakan tambahan, sehingga dengan gabungan tindakan proteksi tersebut dapat dijamin tingkat keselamatan yang sama, guna memenuhi sepenuhnya kondisi itu.

CATATAN Contoh penerapan aturan ini diberikan dalam 3.3.2.

3.1.3 Urutan di mana tindakan proteksi ditentukan tidak menimbulkan sesuatu yang relatif penting.

3.2 Proteksi dari kejut listrik

3.2.1 Ruang lingkup

Proteksi dari kejut listrik harus diberikan dengan penerapan tindakan yang sesuai, yang berupa:

- a) Proteksi dari sentuh langsung atau proteksi dalam pelayanan normal, maupun proteksi dari sentuh tak langsung atau proteksi dalam kondisi gangguan (lihat 3.3).
- b) Proteksi dari sentuh langsung atau proteksi dalam pelayanan normal (lihat 3.4).
- c) Proteksi dari sentuh tak langsung atau proteksi dalam kondisi gangguan (lihat 3.5).

3.3 Proteksi dari sentuh langsung maupun tak langsung

CATATAN Menurut IEC 364-4-41, SELV pada mulanya adalah singkatan dari *Safety Extra Low Voltage* (Tegangan Ekstra Rendah Pengaman). Kepanjangan istilah ini tidak dipergunakan lagi, tetapi saat ini dipergunakan istilah SELV saja. Istilah PELV telah dipilih untuk jenis SELV yang dibumikan. Kepanjangan istilah ini juga tidak dipergunakan, tetapi P dapat dimengerti sebagai singkatan *Protective* (Protektif). Serupa penjelasan di atas, maka *Functional Extra Low Voltage* (Tegangan Ekstra Rendah Fungsional) disingkat menjadi FELV.

3.3.1 Proteksi dengan tegangan ekstra rendah : SELV dan PELV

3.3.1.1 Proteksi dari kejut listrik dianggap sudah terpenuhi jika :

- a) tegangan nominal instalasi tidak dapat melampaui batas atas rentang tegangan I (lihat IEC 449), yaitu 50 V arus bolak balik (a.b.) atau 120 V arus searah (a.s.),

CATATAN 1 : Rentang tegangan a.b. untuk sistem yang dibumikan dinyatakan dengan nilai efektif tegangan antara fase ke bumi atau antar fase, sedangkan untuk sistem pembumian tidak efektif adalah dengan nilai efektif antar fase. Rentang tegangan a.s. untuk sistem yang dibumikan dinyatakan dengan nilai tegangan antara kutub ke bumi atau antar kutub, sedangkan untuk sistem pembumian tidak efektif adalah dengan nilai tegangan antar kutub.

- b) disuplai dari salah satu sumber yang tercantum dalam 3.3.1.2, dan

- c) semua kondisi dalam 3.3.1.3 terpenuhi, dan ditambah dengan :

- 1) 3.3.1.4 terpenuhi untuk sirkit tidak dibumikan (SELV), atau
- 2) 3.3.1.5 terpenuhi untuk sirkit dibumikan (PELV).

CATATAN 2 :

- a) Jika sistem disuplai dari sistem yang bertegangan lebih tinggi, seperti ototransformator, potensiometer, gawai semikonduktor dan sebagainya, sirkit keluaran dianggap sebagai perluasan sirkit masukan dan harus diberi proteksi dengan tindakan proteksi yang diterapkan pada sirkit masukan.
- b) Untuk pengaruh eksternal tertentu, dapat dipersyaratkan batas tegangan yang lebih rendah.
- c) Dalam sistem a.s. dengan baterai, tegangan pemuatan dan tegangan mengambang baterai melampaui tegangan nominal baterai, yang tergantung pada jenis baterai. Hal ini tidak mensyaratkan suatu tindakan proteksi selain yang ditentukan dalam Ayat ini. Tegangan pemuatan harus tidak melampaui nilai maksimum 75 V a.b. atau 150 V a.s., sesuai dengan situasi lingkungan seperti diberikan dalam tabel I dari IEC 1201.

3.3.1.2 Sumber untuk SELV dan PELV

3.3.1.2.1 Suatu transformator pemisah pengaman sesuai dengan IEC 742.

3.3.1.2.2 Suatu sumber arus yang memberikan tingkat keselamatan yang ekivalen dengan yang diberikan oleh transformator pemisah pengaman dalam 3.3.1.2.1 (seperti misalnya motor generator dengan kumparan yang memberikan pemisahan yang ekivalen).

3.3.1.2.3 Suatu sumber elektrokimia (misalnya baterai) atau sumber lain yang terpisah dari sirkit yang bertegangan lebih tinggi (misalnya generator yang digerakkan oleh diesel).

3.3.1.2.4 Gawai elektronik tertentu yang memenuhi standar yang sesuai jika tindakan telah diambil, agar menjamin tegangan pada terminal keluaran tidak dapat melampaui nilai yang ditentukan dalam 3.3.1.1, meskipun dalam hal gangguan internal. Sungguhpun demikian, tegangan yang lebih tinggi pada terminal keluaran diperbolehkan, jika dijamin bahwa dalam hal sentuh langsung atau tidak langsung, tegangan pada terminal keluaran akan segera berkurang hingga ke nilai tersebut atau lebih rendah.

CATATAN :

- a) Contoh gawai demikian termasuk perlengkapan pengujian isolasi.
- b) Bilamana tegangan yang lebih tinggi ada pada terminal keluaran, maka dianggap memenuhi persyaratan ini, jika tegangan pada terminal keluaran ketika diukur dengan voltmeter yang mempunyai resistans internal sekurang-kurangnya 3000 Ω berada di dalam batas yang ditentukan dalam 3.3.1.1.

3.3.1.2.5 Sumber terpasang berpindah (*mobile*), misalnya transformator pemisah pengaman atau motor generator, harus dipilih atau dipasang sesuai persyaratan untuk proteksi dengan menggunakan perlengkapan kelas II atau dengan isolasi yang ekuivalen (lihat 3.8).

3.3.1.3 Susunan sirkit

3.3.1.3.1 Bagian aktif sirkit SELV dan PELV harus diseparasi secara listrik satu sama lain dan dari sirkit lain. Susunannya harus menjamin separasi listrik tidak kurang dari yang ada antara sirkit masukan dan keluaran transformator pemisah pengaman.

CATATAN :

- a) Persyaratan ini tidak meniadakan hubungan dari sirkit PELV ke bumi (lihat 3.3.1.5).
- b) Pada khususnya, separasi listrik yang tidak kurang daripada yang diberikan antara kumparan masukan dan keluaran transformator pemisah pengaman, diperlukan antara bagian aktif perlengkapan listrik seperti relai, kontaktor, sakelar bantu, dan setiap bagian sirkit yang bertegangan lebih tinggi.
- c) Tegangan a.s. untuk sirkit SELV dan PELV yang dibangkitkan oleh konverter semikonduktor (lihat IEC 146-2) mensyaratkan sirkit tegangan a.b. internal untuk menyuplai rak penyearah. Tegangan a.b. internal melampaui tegangan a.s. untuk alasan fisik. Sirkit a.b. internal ini tidak dianggap sebagai "sirkuit tegangan yang lebih tinggi" di dalam pengertian ini. Antara sirkit internal dan sirkit tegangan eksternal yang lebih tinggi dipersyaratkan separasi proteksi (sesuai IEC 536-2).

3.3.1.3.2 Penghantar sirkit masing-masing sistem SELV dan PELV sebaiknya secara fisik terpisah dari penghantar setiap sirkit lain. Bila persyaratan ini tidak dapat dipenuhi, dipersyaratkan salah satu susunan berikut ini :

- a) Penghantar sirkit SELV dan PELV harus terselungkup dalam selubung bukan logam di samping isolasi dasarnya.
- b) Penghantar sirkit pada tegangan berbeda harus dipisah dengan suatu tabir logam yang dibumikan atau suatu selubung logam yang dibumikan.

CATATAN Dalam susunan di atas, isolasi dasar setiap penghantar hanya perlu sesuai dengan tegangan sirkit yang merupakan bagiannya.

- c) Sirkit pada tegangan yang berbeda dapat berada dalam suatu kabel multipenghantar atau kelompok penghantar lainnya, tetapi penghantar sistem SELV dan PELV secara individual atau kolektif harus diisolasi dari tegangan tertinggi yang ada.

3.3.1.3.3 Tusuk kontak dan kotak kontak untuk sistem SELV dan PELV harus memenuhi persyaratan berikut :

- a) Tusuk kontak harus tidak dapat masuk kotak kontak sistem tegangan lain.
- b) Kotak kontak harus tidak dapat dimasuki tusuk kontak sistem tegangan lain.
- c) Kotak kontak harus tidak mempunyai kontak penghantar proteksi.

3.3.1.4 Persyaratan untuk sirkit tegangan ekstra rendah yang tidak dibumikan (SELV)

3.3.1.4.1 Bagian aktif sirkit SELV harus tidak terhubung ke bumi atau ke bagian aktif atau ke penghantar proteksi yang merupakan bagian sirkit lain.

3.3.1.4.2 Bagian konduktif terbuka (BKT) tidak boleh secara sengaja disambung ke :

- a) bumi, atau
- b) penghantar proteksi atau BKT sirkit lain, atau
- c) bagian konduktif ekstra (BKE), kecuali bahwa jika perlengkapan listrik sudah menjadi sifatnya dipersyaratkan untuk dihubungkan ke BKE, maka harus dijamin bahwa bagian tersebut tidak dapat mencapai tegangan yang melampaui tegangan nominal yang ditentukan dalam 3.3.1.1.

CATATAN Jika BKT sirkit SELV besar kemungkinannya saling sentuh dengan BKT sirkit lain, baik secara kebetulan maupun secara sengaja, maka proteksi dari kejut listrik tidak lagi tergantung hanya pada proteksi oleh SELV tetapi juga pada tindakan proteksi yang dikenakan pada BKT sirkit lain tersebut.

3.3.1.4.3 Jika tegangan nominal melampaui 25 V a.b. efektif atau 60 V a.s. bebas riak, proteksi dari sentuh langsung harus dilengkapi dengan:

- a) penghalang atau selungkup yang memberikan tingkat proteksi sekurang-kurangnya IPXXB, atau
- b) isolasi yang mampu menahan tegangan uji 500 V a.b. efektif selama 1 menit.

Jika tegangan nominal tidak melampaui 25 V a.b. efektif atau 60 V a.s. bebas riak, proteksi dari sentuh langsung umumnya tidak diperlukan.

CATATAN “Bebas riak” secara konvensional didefinisikan untuk tegangan riak sinusoidal sebagai suatu kandungan riak tidak lebih dari 10 % nilai efektif; nilai puncak maksimum tidak melampaui 140 V untuk sistem a.s. bebas riak 120 V nominal dan 70 V untuk sistem a.s. bebas riak 60 V nominal.

3.3.1.5 Persyaratan untuk sirkit yang dibumikan (PELV)

Jika sirkit dibumikan dan bila SELV sesuai 3.3.1.4 tidak dipersyaratkan, maka persyaratan 3.3.1.5.1 dan 3.3.1.5.2 harus dipenuhi.

3.3.1.5.1 Proteksi dari sentuh langsung harus dijamin dengan :

- a) penghalang atau selungkup yang memberikan tingkat proteksi sekurang-kurangnya IPXXB, atau
- b) isolasi yang mampu menahan tegangan uji 500 V a.b. efektif selama 1 menit.

3.3.1.5.2 Proteksi dari sentuh langsung sesuai dengan 3.3.1.5.1 tidak diperlukan di dalam atau di luar bangunan, jika disediakan ikatan penyama potensial utama sesuai dengan 3.7.2, dan susunan pembumian dan BKT dari sistem PELV dihubungkan oleh penghantar proteksi ke terminal pembumian utama, dan tegangan nominal tidak melampaui:

- a) 25 V a.b. efektif atau 60 V a.s. bebas riak, bila perlengkapan secara normal hanya digunakan dalam lokasi kering dan tidak diharapkan adanya sentuhan secara luas antara bagian aktif dengan tubuh manusia.
- b) 6 V a.b. efektif atau 15 V a.s. bebas riak dalam semua kasus lain.

CATATAN Pembumian sirkit dapat dicapai dengan hubungan yang cocok ke bumi di dalam sumbernya sendiri.

3.3.2 Sistem PELV

3.3.2.1 Umum

Jika karena alasan fungsional digunakan suatu tegangan dalam rentang tegangan I tetapi semua persyaratan 3.3.1 yang berkaitan dengan SELV atau PELV tidak terpenuhi, dan bila SELV atau PELV tidak diperlukan, maka tindakan suplemen yang diuraikan dalam 3.3.2.2 dan 3.3.2.3 harus diambil untuk menjamin proteksi dari sentuh langsung maupun tidak langsung. Kombinasi tindakan ini dikenal sebagai FELV.

CATATAN Kondisi demikian misalnya dapat dijumpai bila sirkit yang berisi perlengkapan (seperti transformator, relai, sakelar kendali jarak jauh, kontaktor) diisolasi tidak memadai berkaitan dengan sirkit yang bertegangan lebih tinggi.

3.3.2.2 Proteksi dari sentuh langsung

Proteksi dari sentuh langsung harus dilengkapi dengan :

- a) penghalang atau selungkup sesuai 3.4.2, atau
- b) isolasi yang berkaitan dengan tegangan uji minimum yang dipersyaratkan untuk sirkit primer.

Bagaimanapun, jika isolasi perlengkapan yang merupakan bagian dari sirkit FELV tidak mampu menahan tegangan uji yang ditentukan untuk sirkit primer, maka isolasi bagian tidak konduktif dari perlengkapan yang dapat terjangkau harus diperkuat selama pemasangan, sehingga dapat menahan tegangan uji 1500 V a.b. efektif selama 1 menit.

CATATAN Nilai tegangan ini dapat ditinjau kembali untuk masa yang akan datang, tergantung pada hasil standar internasional dalam koordinasi isolasi tegangan rendah.

3.3.2.3 Proteksi dari sentuh tak langsung

Proteksi dari sentuh tak langsung harus dilengkapi dengan :

- a) hubungan BKT perlengkapan sirkit PELV ke penghantar proteksi sirkit primer, asalkan penghantar proteksi tersebut diberikan salah satu tindakan proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis yang dijelaskan dalam 3.7; hal ini tidak menghalangi hubungan penghantar aktif sirkit FELV ke penghantar proteksi sirkit primer, atau

- b) hubungan BKT perlengkapan sirkit FELV ke penghantar ikatan penyama potensial yang tidak dibumikan dari sirkit primer, jika proteksi dengan separasi listrik sesuai 3.11 diterapkan pada sirkit primer.

3.3.2.4 Tusuk kontak dan kotak kontak

Tusuk kontak dan kotak kontak untuk sistem PELV harus memenuhi persyaratan berikut:

- a) tusuk kontak harus tidak dapat masuk ke kotak kontak sistem tegangan lain, dan
- b) kotak kontak harus tidak dapat dimasuki tusuk kontak sistem tegangan lain.

3.4 Proteksi dari sentuh langsung (proteksi dari kejut listrik dalam pelayanan normal atau proteksi dasar)

CATATAN :

- a) Yang disebut sentuh langsung adalah sentuh langsung pada bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik. Bagian aktif perlengkapan atau instalasi listrik adalah bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkit listriknya, yang dalam keadaan pelayanan normal umumnya bertegangan dan atau dialiri arus.
- b) Bahaya sentuh langsung dapat diatasi/ditanggulangi dengan cara :
 - 1) Proteksi dengan isolasi bagian aktif (lihat 3.4.1).
 - 2) Proteksi dengan penghalang atau selungkup (lihat 3.4.2).
 - 3) Proteksi dengan rintangan (lihat 3.4.3).
 - 4) Proteksi dengan penempatan di luar jangkauan (lihat 3.4.4).
 - 5) Proteksi tambahan dengan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS) (lihat 3.4.5).
- c) Pengecualian :

Sentuh langsung yang tidak dapat dihindari karena masalah teknis dan operasi seperti pada mesin las, tungku lebur, dan instalasi elektrolitik, bahayanya dapat dicegah jika lantai ruang kerja tempat operator berdiri dilapisi isolasi sesuai 3.9.4, atau operator mengenakan sepatu berisolasi atau menggunakan perkakas yang berisolasi. Selain itu harus dipasang tanda bahaya.

3.4.1 Proteksi dengan isolasi bagian aktif

CATATAN Isolasi dimaksudkan untuk mencegah setiap sentuh dengan bagian aktif.

3.4.1.1 Bagian aktif harus seluruhnya tertutup dengan isolasi yang hanya dapat dilepas dengan merusaknya.

Untuk perlengkapan buatan pabrik, isolasi harus sesuai dengan standar yang relevan untuk perlengkapan listrik tersebut.

Untuk perlengkapan lainnya, proteksi harus dilengkapi dengan isolasi yang mampu menahan stres yang mungkin mengenainya dalam pelayanan, seperti pengaruh mekanik, kimia, listrik dan termal. Lapisan cat, lapisan vernis, lapisan email, lapisan lak, lapisan oksida, semua jenis lapisan serat dan produk sejenisnya, walaupun diimpregnasi, umumnya dianggap tidak mempunyai isolasi yang memadai untuk proteksi dari kejut listrik dalam pelayanan normal.

CATATAN Jika isolasi diterapkan selama pemasangan instalasi, mutu isolasi harus ditetapkan dengan pengujian yang sama dengan jaminan mutu isolasi pada perlengkapan serupa buatan pabrik.

3.4.1.2 Jika tempat kabel masuk ke dalam perlengkapan listrik berada dalam jangkauan, maka lapisan isolasi dan selubung kabel harus masuk ke dalam kotak hubung, atau dalam hal tanpa kotak hubung, ke dalam perlengkapan tersebut. Lapisan logam pelindung kabel tidak boleh dimasukkan ke dalam kotak hubung, tetapi boleh ke dalam mof ujung kabel atau mof sambungan kabel.

3.4.2 Proteksi dengan penghalang atau selungkup

CATATAN :

- a) Penghalang atau selungkup dimaksudkan untuk mencegah setiap sentuh dengan bagian aktif.
- b) Penjelasan mengenai kode IP lihat 3.4.6.

3.4.2.1 Proteksi yang diberikan oleh selungkup terhadap sentuh langsung ke bagian berbahaya adalah proteksi manusia terhadap :

- a) sentuh dengan bagian aktif tegangan rendah yang berbahaya,
- b) sentuh dengan bagian mekanik yang berbahaya,
- c) mendekati bagian aktif tegangan tinggi yang berbahaya di bawah jarak bebas yang memadai di dalam selungkup.

CATATAN Proteksi dapat diberikan :

- a) oleh selungkup itu sendiri,
- b) oleh penghalang sebagai bagian dari selungkup atau oleh jarak di dalam selungkup.

3.4.2.2 Bagian aktif harus berada di dalam selungkup atau di belakang penghalang yang memberi tingkat proteksi paling rendah IP2X, kecuali jika terjadi lubang bukaan yang lebih besar selama penggantian suku cadang, seperti pemegang lampu tertentu, kotak kontak atau pengaman lebur (sekering), atau jika lubang bukaan yang lebih besar diperlukan agar perlengkapan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan persyaratan yang relevan dengan perlengkapan tersebut, maka :

- a) harus diambil tindakan pencegahan yang sesuai untuk menghindarkan manusia atau ternak menyentuh bagian aktif secara tidak sengaja, dan
- b) harus dijamin, bila dapat dilaksanakan, bahwa manusia harus sadar bahwa bagian aktif dapat tersentuh melalui lubang dan harus tidak boleh tersentuh dengan sengaja.

3.4.2.3 Permukaan bagian atas yang horizontal dari penghalang atau selungkup yang dengan mudah terjangkau harus memberikan tingkat proteksi paling sedikit IP4X.

3.4.2.4 Penghalang dan selungkup harus terpasang dengan kokoh di tempatnya dan mempunyai kestabilan dan daya tahan yang memadai untuk mempertahankan tingkat proteksi yang dipersyaratkan dan mempertahankan separasi yang memadai dari bagian aktif dalam kondisi pelayanan normal yang dikenal, dengan memperhitungkan pengaruh eksternal yang relevan.

3.4.2.5 Jika diperlukan untuk melepas penghalang atau membuka selungkup atau untuk melepas bagian selungkup, maka hal ini hanya mungkin :

- a) dengan menggunakan kunci atau perkakas, atau
- b) sesudah pemutusan suplai ke bagian aktif yang diberi proteksi oleh penghalang atau selungkup tersebut, dan pengembalian suplai hanya mungkin sesudah pemasangan kembali atau penutupan kembali penghalang atau selungkup, atau
- c) jika ada suatu penghalang antara yang memberikan tingkat proteksi paling rendah IP2X untuk mencegah sentuh dengan bagian aktif, maka penghalang demikian hanya dapat dilepas dengan menggunakan kunci atau perkakas.

3.4.3 Proteksi dengan rintangan

CATATAN Rintangan dimaksudkan untuk mencegah sentuh tidak sengaja dengan bagian aktif, tetapi tidak mencegah sentuh disengaja dengan cara menghindari rintangan secara sengaja.

3.4.3.1 Rintangan harus mencegah :

- a) mendekatnya badan dengan tidak sengaja ke bagian aktif, atau
- b) sentuh tidak sengaja dengan bagian aktif selama operasi dari perlengkapan aktif dalam pelayanan normal.

3.4.3.2 Rintangan dapat dilepas tanpa menggunakan kunci atau perkakas, tetapi harus aman sehingga tercegah lepasnya rintangan secara tidak disengaja.

3.4.4 Proteksi dengan penempatan di luar jangkauan

CATATAN Proteksi dengan penempatan di luar jangkauan hanya dimaksudkan untuk mencegah sentuh yang tidak sengaja dengan bagian aktif.

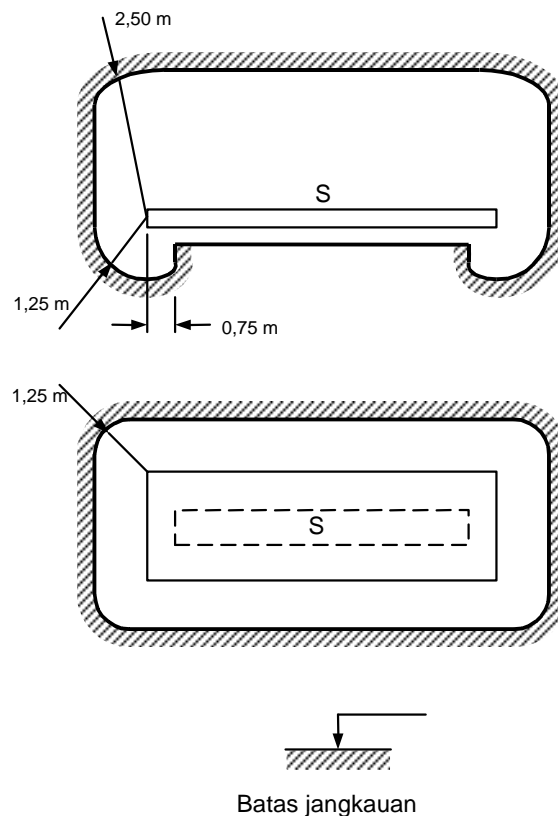
3.4.4.1 Bagian berbeda potensial yang dapat terjangkau secara simultan harus berada di luar jangkauan tangan.

CATATAN Dua bagian dianggap dapat terjangkau secara simultan jika berjarak tidak lebih dari 2,50 m terhadap lainnya (lihat Gambar 3.4-1).

3.4.4.2 Jika posisi yang biasa ditempati dihalangi pada arah horizontal oleh suatu rintangan (misalnya rel tangan atau *handrail*, kisi-kisi) yang memberikan tingkat proteksi kurang dari IP2X, maka jangkauan tangan harus diukur mulai dari rintangan tersebut. Ke arah atas, jarak jangkauan tangan adalah 2,50 m dari permukaan S dengan tidak memperhitungkan setiap rintangan antara yang memberikan tingkat proteksi kurang dari IP2X.

CATATAN Nilai jangkauan tangan berlaku untuk sentuh langsung dengan tangan telanjang tanpa bantuan (misalnya perkakas atau tangga).

3.4.4.3 Di tempat di mana biasa digunakan benda konduktif yang besar atau panjang, maka jarak yang dipersyaratkan dalam 3.4.4.1 dan 3.4.4.2 harus ditambah dengan memperhitungkan ukuran yang relevan dari benda tersebut.

**Keterangan**

S = permukaan yang diperkirakan ditempati orang/manusia

Gambar 3.4-1 Zone jangkauan tangan

3.4.5 Proteksi tambahan dengan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS)

CATATAN Penggunaan gawai proteksi arus sisa hanya dimaksudkan untuk menambah tindakan proteksi lain terhadap kejut listrik dalam pelayanan normal.

3.4.5.1 Penggunaan gawai proteksi arus sisa, dengan arus operasi sisa pengenalan tidak lebih dari 30 mA, dikenal sebagai proteksi tambahan dari kejut listrik dalam pelayanan normal, dalam hal kegagalan tindakan proteksi lainnya atau karena kecerobohan pemakai

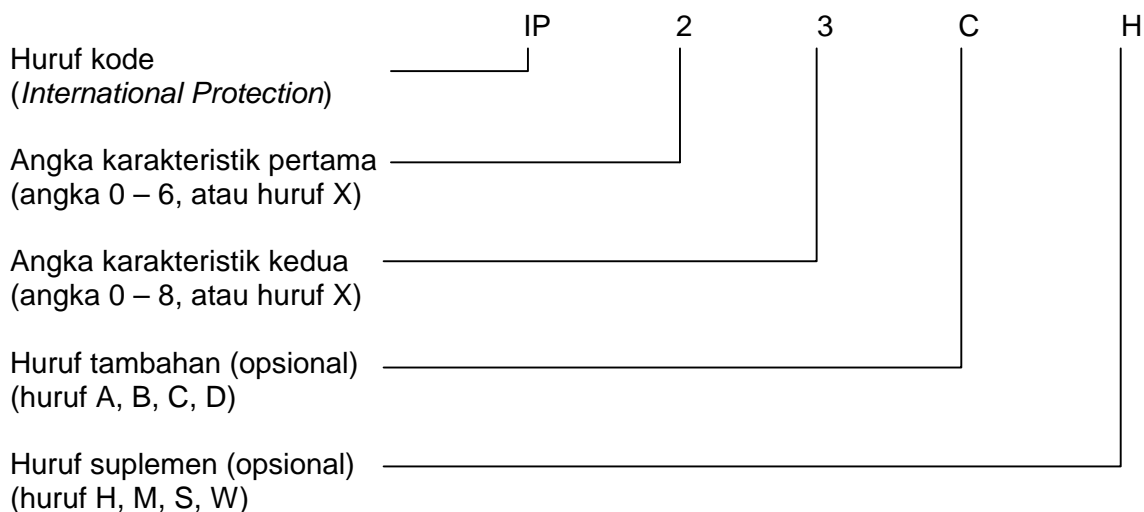
3.4.5.2 Penggunaan gawai demikian bukanlah merupakan satu-satunya cara proteksi dan tidak meniadakan perlunya penerapan salah satu tindakan proteksi yang ditentukan dalam 3.4.1 hingga 3.4.4

3.4.6. Kode IP

CATATAN Kode IP mengacu sepenuhnya pada IEC 529, 1989.

3.4.6.1 Kode IP (*International Protection*) adalah sistem kode untuk menunjukkan tingkat proteksi yang diberikan oleh selungkup dari sentuh langsung ke bagian yang berbahaya, dari masuknya benda asing padat, dari masuknya air, dan untuk memberikan informasi tambahan dalam hubungannya dengan proteksi tersebut.

3.4.6.2 Susunan kode IP



Jika angka karakteristik tidak dipersyaratkan untuk ditentukan, maka dapat diganti dengan huruf "X" (atau "XX" jika kedua angka dihilangkan).

Huruf tambahan dan/atau huruf suplemen dapat dihilangkan tanpa penggantian.

Jika digunakan lebih dari satu huruf suplemen, maka harus diterapkan urutan abjad.

Jika suatu selungkup memberikan tingkat proteksi yang berbeda untuk susunan pemasangan yang berbeda, maka tingkat proteksi yang relevan harus ditunjukkan oleh pabrikan dalam buku instruksi yang berkaitan dengan masing-masing susunan pemasangan.

3.4.6.3 Elemen kode IP dan artinya

Penjelasan singkat mengenai elemen kode IP diberikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3.4-1 Elemen kode IP

1	2	3	4
Elemen	Angka atau huruf	Artinya untuk proteksi perlengkapan	Artinya untuk proteksi manusia
Kode huruf	IP		
		Dari masuknya benda asing padat	Dari sentuh langsung ke bagian berbahaya dengan :
Angka karakteristik pertama	0 1 2 3 4 5 6	(tanpa proteksi) diameter ≥ 50 mm diameter $\geq 12,5$ mm diameter $\geq 2,5$ mm diameter $\geq 1,0$ mm debu kedap debu	(tanpa proteksi) belakang telapak tangan jari perkakas kawat kawat kawat

Tabel 3.4-1 (lanjutan)

1	2	3	4
		Dari masuknya air dengan efek merusak	
Angka karakteristik kedua	0 1 2 3 4 5 6 7 8	(tanpa proteksi) tetesan air secara vertikal tetesan air (miring 15°) semprotan dengan butir air halus semprotan dengan butir air lebih besar pancaran air pancaran air yang kuat perendaman sementara perendaman kontinu	
			Dari sentuh langsung ke bagian berbahaya dengan :
Huruf tambahan (opsi)	A B C D		belakang telapak tangan jari perkakas kawat
		Informasi suplemen khusus untuk	
Huruf suplemen (opsi)	H M S W	Aparat tegangan tinggi Gerakan selama uji air Stasioner selama uji air Kondisi cuaca	

Persyaratan pengujian dijelaskan dalam IEC 529, 1989.

3.4.6.4 Contoh penggunaan kode IP

Contoh berikut ini adalah untuk menjelaskan penggunaan dan susunan kode IP dalam PUIL 2000:

a) IPXXB:

Angka pertama diganti huruf X : tidak ada persyaratan untuk proteksi dari masuknya benda asing padat.

Angka kedua diganti huruf X : tidak ada persyaratan untuk proteksi dari masuknya air.
Huruf B : dipersyaratkan proteksi manusia dari sentuh langsung dengan jari ke bagian berbahaya.

b) IP2X :

Angka pertama (angka 2) : dipersyaratkan proteksi dari masuknya benda asing padat dengan diameter $\geq 12,5$ mm dan proteksi manusia dari sentuh langsung dengan jari ke bagian berbahaya.

Angka kedua diganti huruf X : tidak ada persyaratan untuk proteksi dari masuknya air.

c) IP4X :

Angka pertama (angka 4) : dipersyaratkan proteksi dari masuknya benda asing padat dengan diameter $\geq 1,0$ mm dan proteksi manusia dari sentuh langsung dengan kawat (berdiameter $\geq 1,0$ mm) ke bagian berbahaya.

Angka kedua diganti huruf X : tidak ada persyaratan untuk proteksi dari masuknya air.

3.5 Proteksi dari sentuh tak langsung

3.5.1 Umum

3.5.1.1 Sentuh tak langsung adalah sentuh pada BKT perlengkapan atau instalasi listrik yang menjadi bertegangan akibat kegagalan isolasi.

3.5.1.2 BKT perlengkapan atau instalasi listrik adalah bagian konduktif yang tidak merupakan bagian dari sirkuit listriknya, yang dalam pelayanan normal tidak bertegangan, tetapi dapat menjadi bertegangan dalam kondisi gangguan.

3.5.1.3 Kegagalan isolasi seperti yang tersebut pada 3.5.1.1, harus dicegah terutama dengan cara berikut ini :

- a) perlengkapan listrik harus dirancang dan dibuat dengan baik;
- b) bagian aktif harus diisolasi dengan bahan yang tepat;
- c) instalasi listrik harus dipasang dengan baik.

3.5.1.4 Tindakan proteksi harus dilakukan sebaik-baiknya agar tegangan sentuh yang terlalu tinggi karena kegagalan isolasi tidak dapat terjadi atau tidak dapat bertahan.

3.5.1.5 Tegangan sentuh yang terlalu tinggi adalah tegangan sentuh yang melampaui batas rentang tegangan I (lihat 3.3.1.1) yaitu > 50 V a.b. efektif.

Khusus untuk tempat-tempat berikut ini:

- a) tempat yang lembab/basah, atau
- b) ruang kerja dalam industri pertanian,

tegangan sentuh yang terlalu tinggi adalah tegangan sentuh yang > 25 V a.b. efektif.

3.5.2 Cara proteksi

3.5.2.1 Proteksi dari sentuh tak langsung (dalam kondisi gangguan) meliputi:

- a) Proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis (lihat 3.7).
- b) Proteksi dengan penggunaan perlengkapan kelas II atau dengan isolasi ekivalen (lihat 3.8).
- c) Proteksi dengan lokasi tidak konduktif (lihat 3.9).
- d) Proteksi dengan ikatan penyama potensial lokal bebas bumi (lihat 3.10).

e) Proteksi dengan separasi listrik (lihat 3.11).

CATATAN Cara proteksi tersebut di atas tidak membebaskan pabrikan dari tanggung jawab membuat perlengkapan listrik yang baik dan memenuhi syarat. Pabrikan sama sekali tidak dibenarkan mengandalkan usaha proteksi yang dilakukan oleh pengguna atau pelaksana pemasangan perlengkapan listrik

3.5.2.2 Khususnya bila akan menerapkan proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis, perlu diketahui jenis sistem distribusi yang akan diberikan tindakan proteksi tersebut, karena akan memerlukan tindakan proteksi yang berbeda.

3.5.3 Jenis sistem distribusi

3.5.3.1 Karakteristik sistem distribusi terdiri atas:

- a) Jenis sistem penghantar aktif.
- b) Jenis pembumian sistem.

3.5.3.2 Jenis sistem penghantar aktif

Sistem penghantar aktif berikut ini perlu diperhitungkan:

a) Sistem a.b. :

- 1) Fase tunggal 2 kawat
- 2) Fase tunggal 3 kawat
- 3) Fase dua 3 kawat
- 4) Fase dua 5 kawat
- 5) Fase tiga 3 kawat
- 6) Fase tiga 4 kawat

b) Sistem a.s. :

- 2 kawat
- 3 kawat

3.5.3.3 Jenis pembumian sistem

Jenis pembumian sistem berikut ini perlu diperhitungkan. Gambar 3.5-1 hingga Gambar 3.5-5 memperlihatkan contoh sistem fase tiga yang secara umum digunakan.

Kode yang digunakan mempunyai arti sebagai berikut :

Huruf pertama – Hubungan sistem tenaga listrik ke bumi.

T = hubungan langsung satu titik ke bumi.

I = semua bagian aktif diisolasi dari bumi, atau satu titik dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans.

Huruf kedua – Hubungan BKT instalasi ke bumi.

T = hubungan listrik langsung BKT ke bumi, yang tidak tergantung pembumian setiap titik tenaga listrik.

N = hubungan listrik langsung BKT ke titik yang dibumikan dari sistem tenaga listrik (dalam sistem a.b. titik yang dibumikan biasanya titik netral, atau penghantar fase jika titik netral tidak ada).

Huruf berikutnya (jika ada) – Susunan penghantar netral dan penghantar proteksi.

S = fungsi proteksi yang diberikan oleh penghantar yang terpisah dari netral atau dari saluran yang dibumikan (atau dalam sistem a.b., fase yang dibumikan).

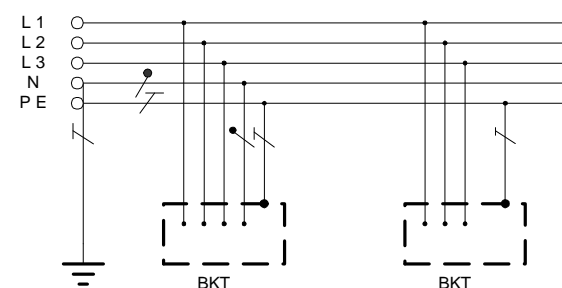
C = fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal (penghantar PEN).

3.5.4 Sistem TN (lihat 3.13)

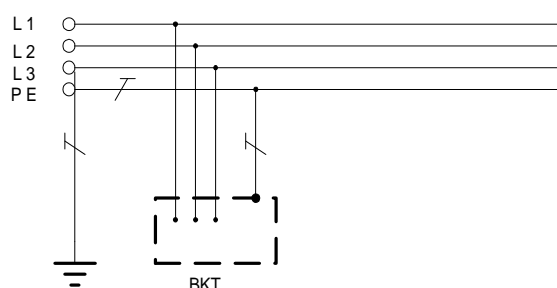
Sistem tenaga listrik TN mempunyai satu titik yang dibumikan langsung, BKT instalasi dihubungkan ke titik tersebut oleh penghantar proteksi.

Ada tiga jenis sistem TN sesuai dengan susunan penghantar netral dan penghantar proteksi yaitu sebagai berikut :

- Sistem TN-S : Di mana digunakan penghantar proteksi terpisah di seluruh sistem (lihat Gambar 3.5-1).
- Sistem TN-C-S : Di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di sebagian sistem (lihat Gambar 3.5-2).
- Sistem TN-C : Di mana fungsi netral dan fungsi proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di seluruh sistem (lihat Gambar 3.5-3).

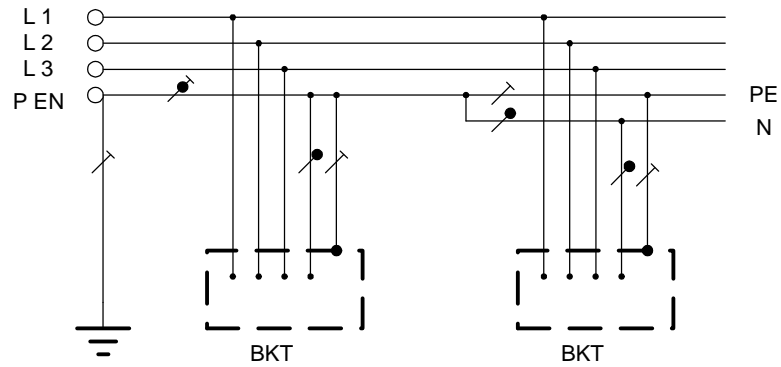


Penghantar netral dan penghantar proteksi terpisah di seluruh sistem



Penghantar fase yang dibumikan dan penghantar proteksi terpisah di seluruh sistem

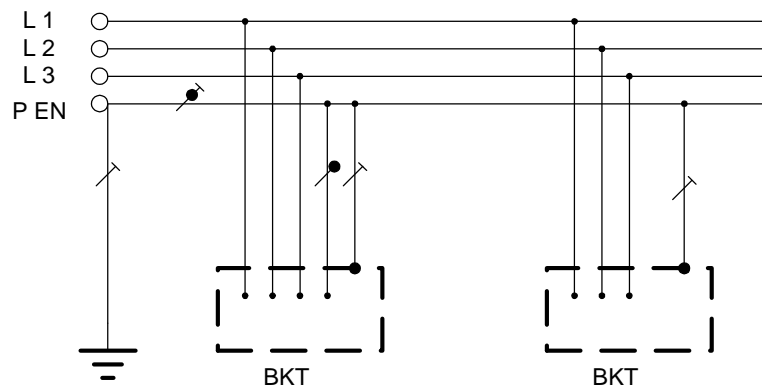
Gambar 3.5-1 Sistem TN-S



Pembumian sistem

Gambar 3.5-2 Sistem TN-C-S

Fungsi netral dan proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di sebagian sistem



Pembumian sistem

Gambar 3.5-3 Sistem TN-C

Fungsi netral dan proteksi tergabung dalam penghantar tunggal di seluruh sistem

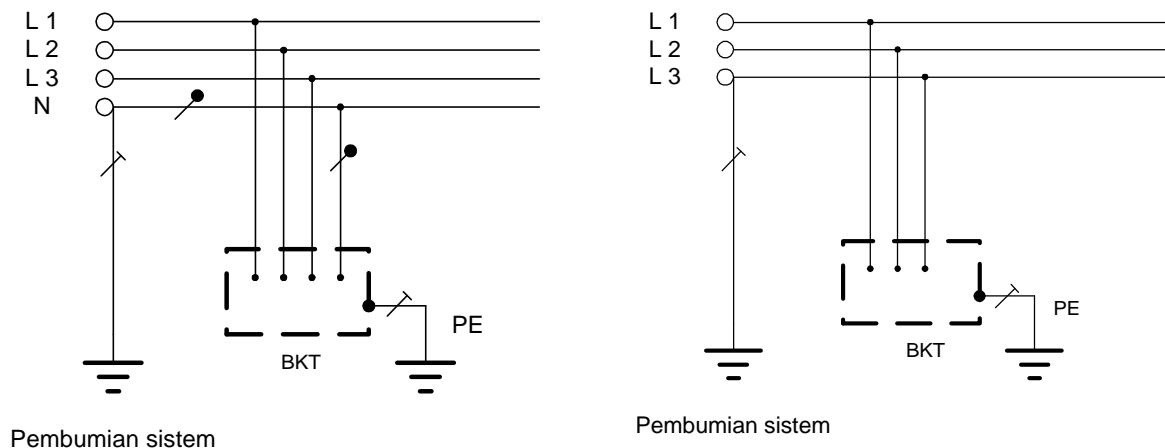
CATATAN : Untuk Gambar 3.5-1, 3.5-2, 3.5-3, 3.5-4 dan 3.5-5

Penjelasan lambang sesuai dengan IEC 617-11 (lihat Lampiran B).

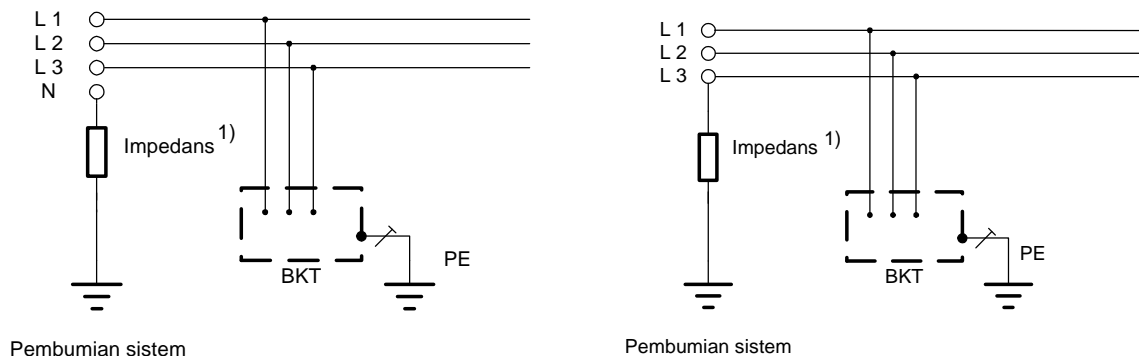
	Penghantar netral (N)
	Penghantar proteksi (PE)
	Gabungan penghantar netral dan penghantar proteksi (PEN)

3.5.5 Sistem TT (lihat 3.12)

Sistem tenaga listrik TT mempunyai satu titik yang dibumikan langsung. BKT instalasi dihubungkan ke elektrode bumi yang secara listrik terpisah dari elektrode bumi sistem tenaga listrik.

**Gambar 3.5-4 Sistem TT****3.5.6 Sistem IT (lihat 3.14)**

Sistem tenaga listrik IT mempunyai semua bagian aktif yang diisolasi dari bumi, atau satu titik dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans. BKT instalasi listrik dibumikan secara independen atau secara kolektif atau ke pembumian sistem (lihat Gambar 3.5-5).

**Keterangan**

¹⁾ sistem dapat diisolasi dari bumi.

Netral boleh didistribusikan atau tidak didistribusikan.

Gambar 3.5-5 Sistem IT**3.6 Ketentuan umum bagi proteksi dari sentuh tak langsung****3.6.1 Penggunaan**

3.6.1.1 Tindakan proteksi diperlukan pada instalasi dan perlengkapan listrik berikut:

- a) bertegangan lebih dari 50 V a.b. ke bumi, kecuali dalam hal tersebut dalam 3.6.1.2;
- b) jika instalasi yang telah ada, yang menurut ketentuan lama tidak memerlukan proteksi, mengalami perubahan atau memerlukan proteksi, maka setelah perluasan, seluruh instalasi yang ada dan perluasannya harus diberi proteksi.
- c) tindakan proteksi diperlukan pula dalam ruang yang telah ada instalasinya yang semula termasuk 3.6.1.2.b) di bawah, tetapi kemudian kehilangan sifat isolasinya karena pemasangan perlengkapan yang baru seperti instalasi air, gas atau pemanas yang mempunyai hubungan ke bumi yang mungkin dapat tersentuh.

3.6.1.2 Proteksi tidak diperlukan pada instalasi dan perlengkapan listrik yang berikut:

- a) bertegangan kurang dari 50 V a.b. ke bumi dan suplainya diperoleh dengan cara seperti tersebut dalam 3.3.1.2;
- b) bertegangan kurang dari 300 V a.b. ke bumi dalam ruang yang lantainya diisolasi atau terbuat dari bahan isolasi, dan di sekitarnya tidak terdapat perlengkapan atau penghantar lain yang terhubung ke bumi dan mungkin tersentuh, misalnya instalasi air dan gas;

CATATAN Untuk meyakinkan bahwa keadaan cukup aman, isolasi lantai harus diuji menurut 3.21.

- c) bertegangan bolak balik setinggi-tingginya 1000 V, atau bertegangan searah setinggi-tingginya 1500 V, jika perlengkapan berupa:
 - 1) pipa logam berisolasi;
 - 2) pipa logam sebagai pelindung kabel berisolasi ganda (berinti ganda);
 - 3) kotak logam yang berisolasi;
 - 4) kotak hubung dan kotak bagi dalam plesteran;
 - 5) perisai kabel yang tidak tertanam dalam tanah;
 - 6) tiang baja dan beton bertulang pada jaringan distribusi;
 - 7) tiang atap dan semua bagian konduktif yang berhubungan dengan tiang atap.

Perhatikan pula 7.16.4.1 sampai dengan 7.16.4.5.

3.6.2 Pelaksanaan

3.6.2.1 Memilih cara proteksi dan mengusahakan proteksi yang efektif adalah sebagai berikut :

- a) Memilih cara proteksi yang hendak dipakai dari antara lima cara tersebut dalam 3.5.2.1 tergantung pada keadaan setempat.
Ketentuan khusus perlu diperhatikan bagi tempat kerja yang khusus seperti tempat kerja pembangunan dan industri pertanian.

CATATAN Dianjurkan agar panel ukur, lemari ukur, dan lemari bagi memakai isolasi proteksi.

- b) Proteksi yang efektif diusahakan dengan cara sebagai berikut :

- 1) menggunakan perlengkapan instalasi yang baik mutunya;
- 2) membuat hubungan penghantar proteksi yang benar, sesuai dengan cara proteksi yang dipilih dan diuji menurut 3.21;
- 3) dianjurkan menghubungkan semua BKT instalasi menjadi satu dengan baik, lalu menghubungkannya pada terminal penghantar proteksi beserta penghantar proteksinya;

4) penggunaan yang semestinya :

- (a) kotak kontak dengan kontak proteksi tidak boleh terpasang tanpa penghantar proteksi;
- (b) dalam ruang yang dilengkapi dengan kotak kontak dengan kontak proteksi atau perlengkapan listrik yang proteksinya memakai penghantar proteksi, tidak boleh dipasang kotak kontak tanpa kontak proteksi dan perlengkapan listrik tanpa penghantar proteksi, kecuali kotak kontak untuk tegangan ekstra rendah dan separasi listrik ;

5) mencegah pengaruh yang dapat mengurangi keefektifan proteksi yang lain.

3.6.2.2 Penghantar proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a) Penghantar proteksi diberi warna loreng hijau-kuning sebagai pengenalan, termasuk penghantar proteksi yang merupakan salah satu inti dari kabel dan kabel tanah.

Pengecualian :

- 1) Penghantar proteksi berikut tidak perlu diberi warna loreng hijau-kuning pada :
penghantar geser, jika penghantar atau bagian yang terhubung pada penghantar proteksi dapat dikenal dengan jelas, misalnya dari bentuknya atau dari tulisan yang ada padanya;
- 2) rumah logam perlengkapan listrik atau bagian logam suatu konstruksi, yang memenuhi ketentuan 3.6.2.2 d);
- 3) penghantar udara;
- 4) tempat yang tidak memungkinkan warna loreng hijau-kuning bertahan lama, misalnya dalam industri peleburan logam dan industri kimia dengan atmosfer yang terpolusi dan berdebu.

CATATAN :

- a) Penghantar bumi dan penghantar ikatan penyama potensial juga harus diwarnai loreng hijau-kuning.
- b) Penghantar yang lain tidak boleh diwarnai loreng hijau-kuning (lihat 7.2.2.1).
- b) Luas penampang penghantar proteksi harus sesuai dengan 3.16.1.
- c) Penghantar proteksi harus terpasang dengan baik pada terminal yang teruntut baginya, dan diuji menurut 3.21 untuk menghindarkan salah sambung.
- d) Jika bagian suatu konstruksi digunakan sebagai penghantar proteksi, syarat berikut harus dipenuhi :
 - 1) rumah logam perlengkapan listrik atau bagian konstruksi instalasi listrik, termasuk rangka baja atau bagian baja lainnya seperti derek, panel, dan rak kabel harus merupakan satu kesatuan dengan KHA yang cukup;

- 2) sambungan dari bagian konstruksi tersebut dalam 1) harus dilas, dikeling, atau dibaut dengan gawai khusus, misalnya ring, sehingga mampu menghantarkan arus secara baik selamanya;
 - 3) penampang bagian logam dari konstruksi itu harus cukup besar sehingga dapat menghantarkan arus sekurang-kurangnya sama dengan kemampuan penghantar proteksi;
 - 4) bagian konstruksi harus dihubungkan dengan penghantar proteksi demikian rupa sehingga tidak dapat terlepas atau kendur sendiri;
 - 5) pembongkaran bagian konstruksi yang berfungsi sebagai penghantar proteksi tidak boleh menghilangkan fungsi tersebut;
 - 6) kawat penegang, kawat penggantung, pipa logam instalasi listrik, pipa fleksibel, dan semacamnya tidak boleh digunakan sebagai penghantar proteksi;
 - 7) jaringan pipa air dari logam yang masih digunakan dapat dipakai sebagai penghantar proteksi jika memenuhi syarat;
 - 8) baut pengikat tidak boleh digunakan sebagai titik penghubung penghantar proteksi.
- e) Penggunaan penghantar proteksi pada kabel fleksibel diatur sebagai berikut:
- 1) dalam ruang yang tidak memerlukan tindakan proteksi, kabel fleksibel tidak perlu dilengkapi penghantar proteksi jika perlengkapan listrik dalam ruang itu terhubung dengan kabel fleksibel tersebut secara tetap (magun) pada instalasi; jadi tanpa kontak tusuk atau jenis alat kontak yang lain;
 - 2) pada sistem TN atau pembumian netral pengaman (sistem PNP), penghantar netral boleh berfungsi sebagai penghantar proteksi (disebut penghantar PEN dalam sistem TN-C) jika syarat berikut dipenuhi :
- terpasang secara tetap atau melalui kontak tusuk yang kutubnya tidak dapat ditukar.
- f) Hubungan dan sambungan penghantar proteksi harus dibuat demikian rupa sehingga tidak dapat terlepas atau kendur sendiri.
- g) Untuk beberapa sirkit listrik yang sejalan dan berdekatan serta dilayani oleh satu sumber, dapat digunakan satu penghantar proteksi bersama dengan syarat sebagai berikut :
- 1) penghantar proteksi bersama yang diletakkan terpisah harus dilindungi dengan baik terhadap kerusakan mekanis dan sedapat mungkin diletakkan sejalan dengan sirkit listrik yang dilayani;
 - 2) jika penghantar proteksi bersama terdapat dalam satu selubung dengan semua sirkit yang dilayani, semua sirkit itu hanya boleh melayani perlengkapan listrik yang dapat dianggap sebagai satu unit, misalnya sebuah mesin dengan beberapa motor penggerak.
- Luas penampang nominal penghantar proteksi bersama tersebut harus sesuai dengan luas penampang nominal penghantar fase yang terbesar.

3.6.2.3 Hubungan penghantar proteksi melalui kontak tusuk harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) kontak tusuk, baik yang berdiri sendiri maupun yang menyatu dengan perlengkapan, harus dilengkapi dengan kontak proteksi, kecuali kontak tusuk pada perlengkapan listrik yang memakai isolasi proteksi, dan kontak tusuk khusus yang dengan cara lain dapat memperoleh hubungan andal dengan penghantar proteksi;
- b) kotak kontak yang digunakan pada sistem separasi listrik tidak boleh dihubungkan pada penghantar proteksi;
- c) tusuk kontak harus tidak dapat masuk ke dalam kotak kontak untuk tegangan yang lebih tinggi dalam instalasi yang sama.

3.6.2.4 Perlengkapan listrik yang memakai isolasi proteksi seperti tersebut dalam 3.8 atau 3.9 harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a) penghantar proteksi tidak boleh dihubungkan padanya;
- b) kabel fleksibel yang dihubungkan secara permanen pada perlengkapan listrik tersebut tidak boleh memakai penghantar proteksi;

CATATAN 1 : Kalau perlengkapan listrik tersebut setelah diperbaiki menggunakan kabel berinti tiga, inti ketiga tidak boleh dihubungkan pada perlengkapan listrik sebagai penghantar proteksi.

- c) Tusuk kontak dengan kabel fleksibel tanpa penghantar proteksi, yang terhubung pada perlengkapan listrik, harus dapat masuk ke dalam kotak kontak yang dilengkapi kontak proteksi dan tusuk kontak itu tidak boleh mempunyai kontak proteksi.

CATATAN 2 : Kalau perlengkapan listrik, sesudah diperbaiki menggunakan tusuk kontak yang mempunyai kontak proteksi, kontak proteksi tersebut tidak boleh dipakai.

3.6.2.5 Dalam perluasan atau penyambungan instalasi listrik yang memakai tindakan proteksi, harus diusahakan agar fungsi tindakan proteksi itu tidak hilang.

CATATAN Perlengkapan listrik dalam ruang yang diharuskan memakai penghantar proteksi, tidak boleh diberi tegangan dari kotak kontak tanpa kontak proteksi dalam ruang lain.

3.6.3 Penghantar ikatan penyama potensial

3.6.3.1 Penghantar ikatan penyama potensial harus diberi pengenal seperti halnya penghantar proteksi (lihat 3.6.2.2 a).

3.7 Proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis

CATATAN :

- a) Pemutusan suplai secara otomatis dipersyaratkan jika dapat terjadi resiko efek patofisiologis yang berbahaya dalam tubuh manusia ketika terjadinya gangguan, karena nilai dan durasi tegangan sentuh (lihat IEC 479).
- b) Tindakan proteksi ini memerlukan koordinasi jenis pembumian sistem dan karakteristik penghantar proteksi serta gawai proteksi.

3.7.1 Umum

CATATAN Tindakan konvensional yang sesuai dengan 3.7.1.1 dan 3.7.1.2 diberikan dalam 3.12 hingga 3.14 sesuai jenis pembumian sistem.

3.7.1.1 Pemutusan suplai

Gawai proteksi secara otomatis harus memutus suplai ke sirkit atau perlengkapan yang diberi proteksi oleh gawai tersebut dari sentuh tak langsung, sedemikian sehingga ketika terjadi gangguan antara bagian aktif dengan BKT atau penghantar proteksi dalam sirkit atau perlengkapan tersebut, maka tegangan sentuh prospektif yang melampaui 50 V a.b. efektif atau 120 V a.s. bebas riak tidak berlangsung untuk waktu yang cukup lama, yang dapat menyebabkan resiko efek fisiologis yang berbahaya dalam tubuh manusia yang tersentuh bagian konduktif yang dapat terjangkau secara simultan.

Tidak tergantung pada tegangan sentuh, waktu pemutusan yang tidak melampaui 5 detik diizinkan untuk keadaan tertentu yang tergantung pada jenis pembumian sistem (lihat 3.13.2.3).

CATATAN :

- a) Nilai waktu pemutusan dan tegangan yang lebih tinggi dari yang dipersyaratkan dalam Ayat ini dapat diterima untuk pembangkitan dan distribusi tenaga listrik.
- b) Nilai waktu pemutusan dan tegangan yang lebih rendah dapat dipersyaratkan untuk instalasi atau lokasi khusus sesuai dengan BAB 8.
- c) Untuk sistem IT, pemutusan otomatis biasanya tidak dipersyaratkan pada saat terjadinya gangguan yang pertama (lihat 3.14).
- d) Persyaratan ini berlaku untuk suplai a.b. antara 15 Hz dan 1000 Hz dan a.s. bebas riak.
- e) Penjelasan istilah “bebas riak” lihat Catatan dalam 3.3.1.4.3.

3.7.1.2 Pembumian

BKT harus dihubungkan ke penghantar proteksi dalam kondisi tertentu untuk masing-masing jenis pembumian sistem.

BKT yang dapat terjangkau secara simultan harus dihubungkan ke sistem pembumian secara individual, dalam kelompok atau kolektif.

CATATAN Untuk susunan pembumian dan penghantar proteksi lihat IEC 364-5-54.

3.7.2 Ikatan penyama potensial

3.7.2.1 Ikatan penyama potensial utama

Dalam setiap bangunan, bagian konduktif berikut ini harus dihubungkan ke ikatan penyama potensial utama :

- a) penghantar proteksi utama;
- b) penghantar pembumi utama atau terminal pembumi utama;
- c) pipa yang menyuplai pelayanan di dalam bangunan, seperti misalnya gas, air;
- d) bagian logam struktur, pusat pemanas dan penyaman udara (*air conditioner* atau a.c.), jika dapat diterapkan.

Bagian konduktif yang berasal dari luar bangunan harus diikat sedekat mungkin ke titik masuknya ke dalam bangunan.

Penghantar ikatan penyama potensial utama harus memenuhi IEC 364-5-54.

Ikatan penyama potensial utama harus dibuat ke setiap selubung logam kabel telekomunikasi. Meskipun demikian, harus diperoleh izin dari pemilik atau operator kabel tersebut.

3.7.2.2 Ikatan penyama potensial suplemen

Jika kondisi untuk pemutusan secara otomatis yang dinyatakan dalam 3.7.1.1 tidak dapat dipenuhi dalam instalasi atau sebagian instalasi, maka harus diterapkan ikatan lokal yang dikenal sebagai ikatan penyama potensial suplemen.

CATATAN :

- a) Penggunaan ikatan penyama potensial suplemen tidak meniadakan perlunya pemutusan suplai untuk alasan lain, misalnya proteksi dari kebakaran, stres termal dalam perlengkapan dan sebagainya.
- b) Ikatan penyama potensial suplemen dapat mencakup seluruh instalasi, sebagian instalasi, suatu bagian aparat atau lokasi.
- c) Persyaratan tambahan dapat diperlukan untuk lokasi khusus (lihat BAB 8).

3.7.2.2.1 Ikatan penyama potensial suplemen harus mencakup semua BKT perlengkapan magun (terpasang tetap) dan BKE yang dapat terjangkau secara simultan, termasuk jika dapat dilaksanakan, tulangan logam utama dari konstruksi beton bertulang. Sistem penyama potensial harus dihubungkan ke penghantar proteksi dari semua perlengkapan termasuk kotak kontak.

3.7.2.2.2 Jika terjadi keraguan terhadap keefektifan ikatan penyama potensial suplemen, hal itu harus dikonfirmasi bahwa resistans R antara BKT dan BKE yang dapat terjangkau secara simultan memenuhi kondisi berikut ini :

$$R = \frac{50}{I_a}$$

dengan I_a adalah arus operasi gawai proteksi :

- untuk GPAS, $I_{\Delta n}$
- untuk GPAL, arus operasi 5 detik

3.8 Proteksi dengan menggunakan perlengkapan kelas II atau dengan isolasi ekuivalen

CATATAN Tindakan ini dimaksudkan untuk mencegah timbulnya tegangan berbahaya pada bagian perlengkapan listrik yang dapat terjangkau melalui gangguan pada isolasi dasarnya.

3.8.1 Persyaratan


3.8.1.1 Proteksi harus dilengkapi dengan :

3.8.1.1.1 Perlengkapan listrik dari jenis berikut ini, yang diuji jenis dan ditandai sesuai standar yang relevan :


- a) perlengkapan listrik yang mempunyai isolasi ganda atau diperkuat (perlengkapan kelas II);
- b) rakitan perlengkapan listrik buatan pabrik yang mempunyai isolasi total (lihat IEC 439).

CATATAN Perlengkapan ini ditandai dengan lambang gambar 

3.8.1.1.2 Isolasi suplemen diterapkan pada perlengkapan listrik yang hanya mempunyai isolasi dasar, di dalam proses pemasangan instalasi listrik, untuk memberikan tingkat keselamatan yang ekuivalen ke pada perlengkapan listrik sesuai dengan 3.8.1.1 dan memenuhi 3.8.1.2 hingga 3.8.1.6.

CATATAN Lambang gambar  harus dipasang dalam posisi yang dapat terlihat pada bagian luar dan bagian dalam selungkup.

3.8.1.1.3 Isolasi diperkuat diterapkan pada bagian aktif tidak berisolasi, sebagai proses dalam pemasangan instalasi listrik, untuk memberikan tingkat keselamatan yang ekuivalen ke pada perlengkapan listrik sesuai dengan 3.8.1.1 dan memenuhi 3.8.1.3 hingga 3.8.1.6; isolasi demikian dikenakan hanya jika bentuk konstruksinya mencegah penerapan isolasi ganda.

CATATAN Lambang gambar  harus dipasang dalam posisi yang dapat terlihat pada bagian luar dan bagian dalam selungkup.

3.8.1.2 Perlengkapan listrik yang telah siap untuk operasi, semua bagian konduktif yang terpisah dari bagian aktif hanya dengan isolasi dasarnya, harus berada di dalam selungkup isolasi yang memberikan sekurang-kurangnya tingkat proteksi IP2X.

3.8.1.3 Selungkup isolasi harus mampu menahan stres mekanik, listrik atau termal yang mungkin terjadi.

Lapisan cat, vernis dan produk sejenis umumnya tidak dianggap memenuhi persyaratan ini.

Sungguhpun demikian, persyaratan ini tidak menghalangi penggunaan suatu selungkup yang telah diuji jenis yang dilengkapi dengan lapisan tersebut jika standar yang relevan mengijinkan penggunaannya dan jika lapisan isolasinya telah diuji sesuai dengan kondisi pengujian yang relevan.

CATATAN Persyaratan untuk jarak rambat dan jarak bebas lihat IEC 664.

3.8.1.4 Jika selungkup isolasi tidak pernah diuji sebelumnya dan jika timbul keraguan mengenai keefektifannya, maka suatu uji kuat listrik harus dilakukan sesuai dengan kondisi yang ditentukan dalam IEC 364-6-61.

3.8.1.5 Selungkup isolasi tidak boleh dilewati bagian konduktif yang mungkin memberikan potensial. Selungkup isolasi tidak boleh mempunyai sekrup berbahan isolasi yang pengantiannya dengan sekrup logam dapat merusak isolasi yang diberikan oleh selungkup.

CATATAN Jika selungkup isolasi harus dilewati oleh sambungan atau hubungan mekanik (misalnya untuk tuas operasi dari aparat yang terpasang di dalamnya), maka harus diatur sedemikian sehingga proteksi dari kejutan listrik dalam hal gangguan tidak rusak.

3.8.1.6 Jika penutup atau pintu pada selungkup isolasi dapat dibuka tanpa menggunakan perkakas atau kunci, maka semua bagian konduktif yang dapat terjangkau ketika penutup atau pintu dalam keadaan terbuka harus berada di belakang penghalang isolasi yang

memberikan tingkat proteksi tidak kurang dari IP2X yang mencegah orang dengan tidak sengaja tersentuh bagian tersebut. Penghalang isolasi ini hanya dapat dilepas dengan menggunakan perkakas.

3.8.1.7 Bagian konduktif yang terdapat di dalam selungkup isolasi tidak boleh tersambung ke penghantar proteksi. Sungguhpun demikian, ketentuan dapat dibuat untuk menyambung penghantar proteksi yang perlu menembus selungkup untuk melayani benda lainnya dari perlengkapan listrik yang sirkit suplainya juga menembus selungkup. Di dalam selungkup, setiap penghantar seperti itu dan terminalnya harus diisolasi sekuat seperti bagian aktif, dan terminalnya harus ditandai dengan tepat.

BKT dan bagian antara tidak boleh dihubungkan ke penghantar proteksi, kecuali ketentuan khusus untuk ini telah dibuat dalam spesifikasi perlengkapan yang bersangkutan.

3.8.1.8 Selungkup tidak boleh mengganggu operasi perlengkapan yang diberi proteksi dengan cara ini.

3.8.1.9 Instalasi perlengkapan yang disebutkan dalam 3.8.1.1.1 (pemasangan tetap, penyambungan penghantar dan sebagainya) harus dijalankan sedemikian sehingga tidak merusak proteksi yang diberikan sesuai dengan spesifikasi perlengkapan.

3.8.2 Kelas perlengkapan

CATATAN Nomor kelas perlengkapan tidak dimaksudkan untuk menyatakan tingkat keselamatan dari perlengkapan, tetapi hanya merupakan sarana untuk memperoleh keselamatan.

3.8.2.1 Perlengkapan kelas 0

Perlengkapan yang proteksinya dari kejut listrik mengandalkan isolasi dasar; hal ini menunjukkan bahwa tidak ada sarana untuk hubungan bagian konduktif yang dapat terjangkau (jika ada) ke penghantar proteksi pada pengawatan pasangan tetap instalasi, sehingga keandalan saat terjadi kegagalan pada isolasi dasarnya dipercayakan pada lingkungan.

3.8.2.2 Perlengkapan kelas I

Perlengkapan yang proteksinya dari kejut listrik tidak hanya mengandalkan isolasi dasarnya, tetapi juga mencakup tindakan pencegahan keselamatan tambahan dengan cara menyediakan sarana untuk hubungan bagian konduktif yang dapat terjangkau ke penghantar proteksi (pembumian) pada pengawatan pasangan tetap dari instalasi, sedemikian sehingga bagian konduktif yang dapat terjangkau tersebut tidak dapat menjadi aktif (bertegangan) pada saat terjadinya kegagalan isolasi dasarnya.

CATATAN :

- a) Untuk perlengkapan yang dimaksudkan untuk menggunakan kabel senur atau kabel fleksibel, ketentuan ini mencakup penghantar proteksi sebagai bagian kabel senur atau kabel fleksibel.
- b) Jika perlengkapan yang didesain sebagai perlengkapan kelas I diperbolehkan dipasang dengan suatu kabel senur atau kabel fleksibel dua inti asalkan dipasang dengan tusuk kontak yang tak dapat dimasukkan ke dalam kotak-kontak dengan kontak pembumian, maka selanjutnya proteksi ekuivalen dengan perlengkapan kelas 0, tetapi ketentuan pembumian dari perlengkapan tersebut dalam segala hal harus memenuhi persyaratan perlengkapan kelas I.

3.8.2.3 Perlengkapan kelas II

Perlengkapan yang proteksinya dari kejut listrik tidak hanya mengandalkan isolasi dasarnya, tetapi juga diberikan tindakan pencegahan keselamatan tambahan seperti isolasi ganda atau isolasi diperkuat, maka tidak ada ketentuan untuk pembumian proteksi atau ketergantungan dengan kondisi instalasi.

CATATAN :

- a) Dalam hal khusus tertentu, seperti terminal sinyal dari perlengkapan elektronik, impedans proteksi dapat digunakan pada perlengkapan kelas II jika terbukti bahwa impedans proteksi tersebut memang diperlukan dan bahwa teknik tersebut dapat dicakup tanpa kerusakan terhadap tingkat keselamatannya.
- b) Perlengkapan kelas II dapat dilengkapi dengan sarana untuk mempertahankan kontinuitas sirkit proteksi, asalkan sarana tersebut berada di dalam perlengkapan dan diisolasi dari permukaan yang dapat terjangkau sesuai dengan persyaratan perlengkapan kelas II.
- c) Perlengkapan kelas II dapat dilengkapi dengan sarana untuk hubungan ke bumi untuk tujuan fungsional (misalnya berbeda dengan tujuan proteksi) hanya jika dijelaskan dalam standar yang relevan.

3.8.2.4 Perlengkapan kelas III

Perlengkapan yang proteksinya dari kejut listrik mengandalkan pada suplai tegangan ekstra rendah (SELV) dan tegangan yang lebih tinggi dari SELV tidak dibangkitkan.

CATATAN :

- a) Perlengkapan kelas III tidak boleh dilengkapi dengan sarana untuk pembumian proteksi.
- b) Perlengkapan kelas III dapat dilengkapi dengan sarana untuk hubungan ke bumi untuk tujuan fungsional (misalnya berbeda dengan tujuan proteksi) hanya jika dijelaskan dalam standar yang relevan.

3.9 Proteksi dengan lokasi tidak konduktif

CATATAN Tindakan proteksi ini dimaksudkan untuk mencegah sentuh secara simultan dengan bagian yang dapat berbeda potensial karena kegagalan isolasi dasar bagian aktif. Penggunaan perlengkapan kelas 0 diizinkan jika semua kondisi berikut dipenuhi.

3.9.1 BKT harus disusun sedemikian sehingga dalam keadaan biasa tidak akan terjadi sentuh secara simultan antara orang dengan :

- a) dua BKT, atau
- b) sebuah BKT dan setiap BKE, jika bagian ini berbeda potensial karena kegagalan isolasi dasar dari bagian aktif.

3.9.2 Dalam lokasi yang tidak konduktif tidak boleh ada penghantar proteksi

3.9.3 Ayat 3.9.2 dipenuhi jika lokasi mempunyai lantai dan dinding isolasi dan diterapkan satu atau lebih susunan sebagai berikut :

- a) Jarak relatif antara BKT dan BKE sama dengan jarak antar BKT. Jarak ini cukup jika jarak antara dua bagian tersebut tidak kurang dari 2 m; jarak ini dapat dikurangi menjadi 1,25 m di luar zone jangkauan tangan.

- b) Penyisipan rintangan efektif antara BKT dan BKE. Rintangan demikian cukup efektif jika memperpanjang jarak yang harus diatasi hingga nilai yang ditentukan dalam butir a) di atas. Rintangan tersebut harus tidak terhubung ke bumi atau ke BKT; sedapat mungkin rintangan tersebut harus dari bahan isolasi.
- c) Isolasi atau susunan isolasi dari BKE. Isolasi ini harus mempunyai kuat mekanik yang cukup dan mampu menahan tegangan uji sekurang-kurangnya 2000 V. Arus bocor tidak boleh melampaui 1 mA dalam penggunaan kondisi normal.

3.9.4 Resistans lantai dan dinding berisolasi pada setiap titik pengukuran dalam kondisi yang ditentukan pada 3.22 tidak boleh kurang dari :

- a) 50 k Ω , jika tegangan nominal isolasi tidak melebihi 500 V, atau
- b) 100 k Ω , jika tegangan nominal isolasi melebihi 500 V.

CATATAN Jika resistans di sebarang titik lebih rendah daripada nilai yang ditentukan, maka lantai dan dinding dianggap menjadi BKE untuk tujuan proteksi dari kejut listrik.

3.9.5 Susunan yang dibuat harus permanen dan tidak boleh membuatnya tidak efektif. Susunan tersebut juga harus menjamin proteksi jika dipertimbangkan akan mempergunakan perlengkapan pasangan berpindah atau portabel.

CATATAN :

- a) Perlu perhatian terhadap resiko jika instalasi listrik tidak dalam pengawasan yang efektif, bagian konduktif lain dapat dimasukkan pada waktu yang akan datang (misalnya perlengkapan kelas I pasangan berpindah atau portabel, atau BKE seperti pipa air logam), yang dapat membuat tidak terpenuhinya persyaratan 3.9.5.
- b) Penting untuk menjamin bahwa isolasi lantai dan dinding tidak dapat dipengaruhi kelembaban.

3.9.6 Tindakan pencegahan harus diambil untuk menjamin bahwa BKE tidak dapat menyebabkan timbulnya suatu potensial di luar lokasi yang bersangkutan.

3.10 Proteksi dengan ikatan penyama potensial lokal bebas bumi

CATATAN Ikatan penyama potensial lokal bebas bumi dimaksudkan untuk mencegah timbulnya suatu tegangan sentuh yang berbahaya.

3.10.1 Penghantar ikatan penyama potensial harus menginterkoneksi semua BKT dan BKE yang dapat terjangkau secara simultan.

3.10.2 Sistem ikatan penyama potensial lokal tidak boleh sentuh listrik secara langsung dengan bumi melalui BKT atau melalui BKE.

CATATAN Jika persyaratan ini tidak dapat dipenuhi, dapat diterapkan proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis (lihat 3.5).

3.10.3 Tindakan pencegahan harus dilakukan untuk menjamin agar orang yang memasuki lokasi penyama potensial tidak dapat terkena beda potensial yang berbahaya, khususnya jika lantai konduktif yang diisolasi terhadap bumi dihubungkan ke sistem ikatan penyama potensial bebas bumi.

3.11 Proteksi dengan separasi listrik

CATATAN Separasi listrik suatu sirkit individual dimaksudkan untuk mencegah arus kejut melalui sentuh dengan BKT yang dapat dilistriki oleh gangguan pada isolasi dasar sirkit.

3.11.1 Umum

3.11.1.1 Proteksi dengan separasi listrik adalah suatu tindakan proteksi dengan memisahkan sirkit perlengkapan listrik dari jaringan sumber dengan menggunakan transformator pemisah atau motor generator. Dengan demikian tercegahlah timbulnya tegangan sentuh yang terlalu tinggi pada BKT perlengkapan yang diproteksi, bila terjadi kegagalan isolasi dalam perlengkapan tersebut.

CATATAN :

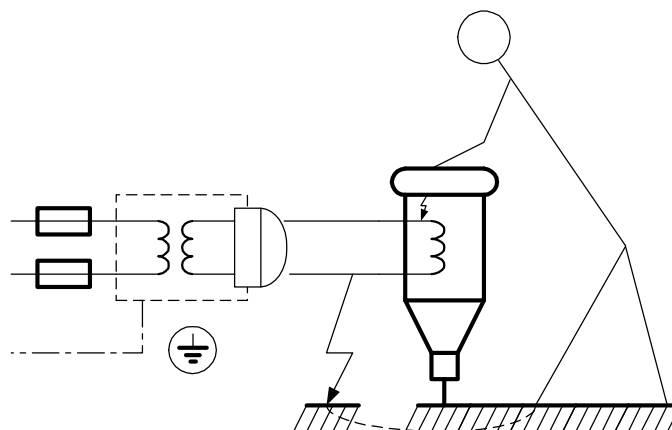
- a) Proteksi dengan separasi listrik ini hanya akan efektif selama dalam sirkit sekunder tidak terjadi gangguan bumi (lihat Gambar 3.11-1).
- b) Yang dimaksud dengan sirkit sekunder dalam ini adalah sirkit sekunder dari transformator pemisah atau sirkit generator dari motor generator.

3.11.2 Persyaratan

3.11.2.1 Proteksi dengan separasi listrik harus terjamin sesuai dengan persyaratan 3.11.2.1.1 hingga 3.11.2.1.5 dan dengan :

- a) Ayat 3.11.2.2, untuk suplai satu bagian aparat, atau
- b) Ayat 3.11.2.3 untuk suplai lebih dari satu bagian aparat.

CATATAN Direkomendasikan agar hasil kali tegangan nominal sirkit dalam Volt dengan panjang sistem pengawatan dalam meter tidak boleh melebihi 100.000, dan panjang sistem pengawatan tidak boleh melebihi 500 m.



Gambar 3.11-1 Transformator pemisah dengan hubung pendek ke bumi pada sirkit sekunder dan hubung pendek ke BKT perlengkapan listrik

3.11.2.1.1 Sirkit harus disuplai melalui sumber terpisah, yaitu :

- a) sebuah transformator pemisah, atau

- b) sumber arus yang memberikan tingkat keselamatan yang ekuivalen dengan yang ditentukan untuk transformator pemisah di atas, misalnya sebuah motor generator dengan belitan yang memberi isolasi ekuivalen.

CATATAN Kemampuan untuk menahan tegangan uji yang sangat tinggi diakui sebagai cara untuk menjamin tingkat isolasi yang diperlukan.

Sumber suplai terpasang berpindah yang dihubungkan ke sistem suplai harus dipilih atau dipasang sesuai dengan 3.8.

Sumber suplai magun (terpasang tetap) harus :

- a) dipilih dan dipasang sesuai dengan 3.8
- b) sedemikian sehingga keluaran dipisahkan dari masukan dan dari selungkup oleh suatu isolasi yang memenuhi kondisi 3.8; jika sumber demikian menyuplai beberapa bagian perlengkapan, maka BKT perlengkapan tersebut tidak boleh dihubungkan ke selungkup logam dari sumber.

3.11.2.1.2 Proteksi dengan separasi listrik hanya diperkenankan pada tegangan jaringan sumber maksimum 500 Volt.

3.11.2.1.3 Bagian aktif sirkit yang diseparasi secara listrik tidak boleh dihubungkan pada setiap titik ke sirkit lainnya atau ke bumi.

Untuk menghindari resiko gangguan ke bumi, harus diberikan perhatian khusus pada isolasi bagian tersebut terhadap bumi, terutama untuk kabel fleksibel dan kabel senur.

Susunan harus menjamin separasi secara listrik tidak boleh kurang dari yang ada antara masukan dan keluaran suatu transformator isolasi.

CATATAN Separasi secara listrik khususnya diperlukan antara bagian aktif perlengkapan listrik seperti relai, kontaktor, sakelar bantu dan setiap bagian sirkit lain.

3.11.2.1.4 Kabel fleksibel dan kabel senur harus dapat terlihat semua bagian panjangnya yang dapat terkena kerusakan mekanis, dan harus dari jenis tertentu.

3.11.2.1.5 Untuk sirkit yang terseparasi, direkomendasikan menggunakan sistem pengawatan yang terseparasi. Jika penggunaan penghantar sistem pengawatan yang sama untuk sirkit yang terseparasi dan sirkit lainnya tidak dapat dihindarkan, maka harus digunakan kabel multipenghantar tanpa selubung logam, atau penghantar berisolasi dalam pipa isolasi, saluran kabel atau rak kabel (*trunking*), asalkan tegangan pengenalnya tidak kurang dari tegangan tertinggi yang mungkin terjadi, dan bahwa setiap sirkit diberi proteksi dari arus lebih.

3.11.2.2 Jika satu bagian tunggal dari aparat disuplai, maka BKT sirkit yang terseparasi tidak boleh dihubungkan ke penghantar proteksi maupun ke BKT sirkit lain.

CATATAN Jika BKT sirkit yang terseparasi dengan sengaja maupun tidak sengaja mungkin terjadi sentuh dengan BKT sirkit lain, maka proteksi dari kejut listrik tidak lagi hanya tergantung pada proteksi dengan separasi listrik tetapi pada tindakan proteksi yang dilakukan terhadap BKT sirkit lain tersebut.

3.11.2.3 Jika diambil tindakan pencegahan untuk memproteksi sirkit yang terseparasi dari kerusakan dan kegagalan isolasi, maka sumber suplai yang memenuhi 3.11.2.1.1 dapat menyuplai lebih dari satu bagian dari aparat asalkan memenuhi semua persyaratan 3.11.2.3.1 hingga 3.11.2.3.4.

3.11.2.3.1 BKT sirkit yang terseparasi harus dihubungkan secara bersama oleh penghantar ikatan penyama potensial berisolasi yang tidak dibumikan. Penghantar demikian harus tidak boleh dihubungkan ke penghantar proteksi atau BKT sirkit lain atau setiap BKE.

CATATAN Lihat Catatan 3.11.2.2.

3.11.2.3.2 Semua kotak-kontak harus dilengkapi dengan kontak proteksi yang dihubungkan ke sistem ikatan penyama potensial asalkan sesuai dengan 3.11.2.3.1.

3.11.2.3.3 Kecuali jika menyuplai perlengkapan kelas II, semua kabel fleksibel harus menyatu sebagai suatu penghantar proteksi untuk digunakan sebagai penghantar ikatan penyama potensial.

3.11.2.3.4 Harus dijamin bahwa jika terjadi dua gangguan yang mempengaruhi dua BKT dan disuplai oleh dua penghantar yang berbeda polaritas, maka gawai proteksi harus memutuskan suplai dalam waktu pemutusan sesuai dengan Tabel 3.13-1.

3.12 Sistem TT atau sistem Pembumian Pengaman (sistem PP)

3.12.1 Umum

3.12.1.1 Sistem TT dilakukan dengan cara (lihat 3.5.5):

- a) membumikan titik netral sistem listrik di sumbernya; dan
- b) membumikan BKT perlengkapan dan BKT instalasi listrik, sedemikian rupa sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tercegahlah bertahannya tegangan sentuh yang terlalu tinggi pada BKT tersebut karena terjadinya pemutusan suplai secara otomatis dengan bekerjanya gawai proteksi.

Jika titik netral sistem di sumbernya tidak ada, penghantar fase dari sumber dapat dibumikan. Namun hal ini tidak dianjurkan penggunaannya di Indonesia.

CATATAN Yang dimaksud dengan sumber adalah generator atau transformator.

3.12.1.2 Semua BKT perlengkapan/instalasi yang secara kolektif diberi proteksi oleh suatu gawai proteksi yang sama, beserta penghantar proteksinya, harus bersama-sama dihubungkan ke suatu elektrode bumi bersama. Jika beberapa gawai proteksi digunakan secara seri, persyaratan tersebut berlaku secara terpisah bagi semua BKT yang diberi proteksi oleh setiap gawai proteksi.

3.12.1.3 Pembumi BKT perlengkapan/instalasi listrik secara listrik terpisah dari pembumi sistem listrik dengan menggunakan elektrode bumi tersendiri atau jaringan pipa air minum dari logam yang memenuhi syarat. Beberapa contoh sistem pembumian ini dapat dilihat pada Gambar 3.12-1.

CATATAN Jika pembumi BKT perlengkapan/instalasi listrik dihubungkan dengan pembumi sistem listrik melalui jaringan yang sama dari pipa air minum dari logam, maka sistem tersebut bukan sistem TT, tetapi merupakan sistem TN-S (lihat 3.13).

3.12.2 Persyaratan

3.12.2.1 Kondisi berikut ini harus dipenuhi :

$$R_A \times I_a \leq 50 \text{ V}$$

dengan :

R_A adalah jumlah resistans elektrode bumi dan penghantar proteksi untuk BKT perlengkapan/ instalasi.

I_a adalah arus listrik yang menyebabkan operasi otomatis dari gawai proteksi yang tergantung dari jenis dan karakteristik gawai proteksi yang digunakan.

Jika digunakan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS), I_a adalah arus operasi sisa pengenalan $I_{\Delta n}$.

Untuk proteksi yang selektif, dapat digunakan GPAS jenis S (lihat IEC 1008-1 dan IEC 1009-1) secara seri dengan GPAS jenis umum (lihat 3.15). Untuk memperoleh selektifitas dengan GPAS jenis S, waktu operasi yang tidak melampaui 1 detik diizinkan dalam sirkit distribusi.

Jika digunakan gawai proteksi arus lebih (GPAL), maka harus digunakan :

- a) Gawai dengan karakteristik waktu terbalik (invers) yaitu pengaman lebur (PL atau sekering) atau pemutus sirkit (misalnya MCB) dan I_a haruslah arus yang menyebabkan bekerjanya gawai proteksi dalam waktu 5 detik, atau
- b) Gawai dengan karakteristik trip (bidas) sesaat dan I_a haruslah arus minimum yang menyebabkan trip (bidas) sesaat.

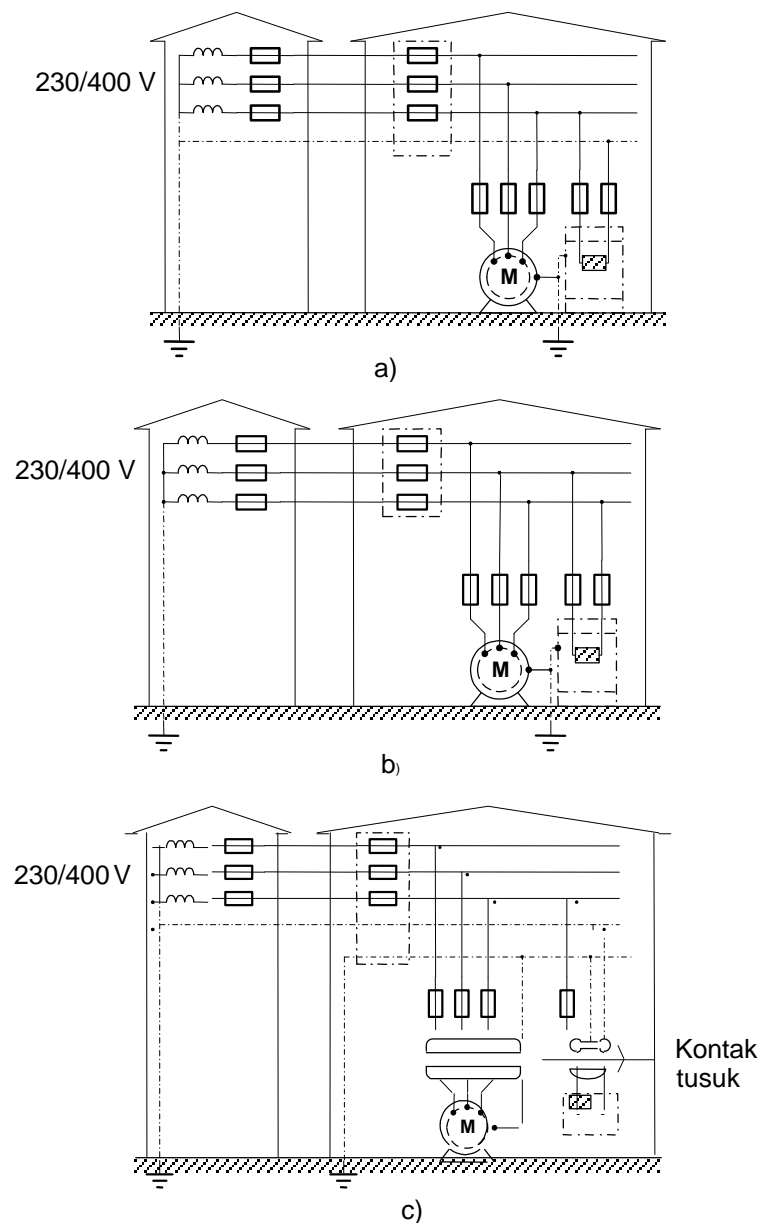
3.12.2.2 Jika kondisi pada 3.12.2.1 tidak terpenuhi, maka diterapkan ikatan penyama potensial suplemen sesuai dengan 3.7.2.2

3.12.2.3 Dalam sistem TT, dikenal penggunaan gawai proteksi berikut ini :

- a) GPAS (sangat dianjurkan);
- b) GPAL, yang dapat berupa PL (sekering) atau pemutus sirkit.

CATATAN :

- a) GPAL hanya dapat diterapkan untuk proteksi dari sentuh tak langsung dalam sistem TT jika nilai R_A sangat rendah.
- b) Gawai proteksi yang beroperasi dengan tegangan gangguan dapat dipergunakan untuk penerapan khusus, jika gawai proteksi yang disebutkan di atas tidak dapat dipergunakan.



Gambar 3.12-1 Beberapa contoh tipikal sistem TT

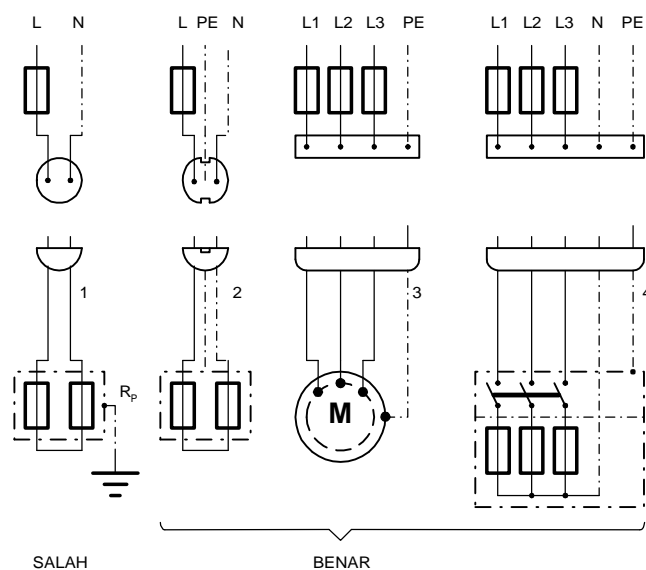
3.12.2.4 Pada penyambungan perlengkapan listrik dengan kabel fleksibel harus dipilih kabel fleksibel yang berpenghantar proteksi (Gambar 3.12-2).

CATATAN Perlengkapan listrik yang telah memenuhi 3.8 dan 3.9 dapat dihubungkan pada sistem TT (PP) tanpa penghantar proteksi pada kabel fleksibelnya.

3.12.2.5 Luas penampang nominal penghantar proteksi harus sekurang-kurangnya memenuhi Tabel 3.16-1 (lihat 3.16).

3.12.2.6 Pada jaringan distribusi dan instalasi listrik konsumen yang memakai sistem TT, gabungan antara sistem TN dan TT dapat dibenarkan jika telah dipastikan bahwa gabungan tersebut tidak membahayakan konsumen dengan sistem TN.

3.12.2.7 Pada instalasi listrik konsumen, penghantar netral harus berisolasi dan dilindungi dari gangguan mekanis.



Gambar 3.12-2 Contoh penyambungan BKT perlengkapan listrik melalui kontak tusuk

3.12.2.8 Pada jaringan saluran udara, penghantar bumi sistem yang terjangkau tangan harus dilindungi dari kerusakan mekanis dan sentuhan yang tidak disengaja.

3.12.2.9 Rel bumi utama harus mempunyai luas penampang sekurang-kurangnya sama dengan luas penampang penghantar proteksi yang terbesar.

3.12.2.10 Sebelum digunakan, efektifitas instalasi sistem TT harus diuji menurut 3.21.

3.12.2.11 Pelaksanaan pemasangan instalasi pembumian harus sesuai dengan 3.19.

3.13 Sistem TN atau sistem Pembumian Netral Pengaman (PNP)

3.13.1. Umum

3.13.1.1 Sistem TN dilakukan dengan cara menghubungkan semua BKT perlengkapan/ instalasi melalui penghantar proteksi ke titik sistem tenaga listrik yang dibumikan (lihat 3.5.4) sedemikian rupa sehingga bila terjadi kegagalan isolasi tercegahlah bertahannya tegangan sentuh yang terlalu tinggi karena terjadinya pemutusan suplai secara otomatis dengan bekerjanya gawai proteksi.

Umumnya titik sistem tenaga listrik yang dibumikan adalah titik netral. Jika titik netral tidak ada atau tidak terjangkau, penghantar fase harus dibumikan. Namun hal ini tidak dianjurkan di Indonesia. Dalam semua keadaan, penghantar fase tidak boleh melayani sebagai penghantar PEN (lihat 3.13.1.2).

CATATAN Jika terdapat hubungan bumi efektif yang lain, direkomendasikan bahwa penghantar proteksi juga dihubungkan ke titik tersebut di mana mungkin. Pembumian pada titik tambahan, yang terdistribusi merata mungkin, diperlukan untuk menjamin bahwa potensial penghantar proteksi tetap sedekat mungkin dengan potensial bumi dalam keadaan gangguan.

Dalam bangunan besar seperti bangunan bertingkat tinggi, pembumian penghantar proteksi tambahan tidak memungkinkan karena alasan praktis. Ikatan penyama potensial antara penghantar proteksi dan BKE dalam keadaan ini mempunyai fungsi yang serupa.

Untuk alasan yang sama, direkomendasikan bahwa penghantar proteksi dibumikan saat memasuki bangunan atau gedung.

3.13.1.2 Dalam instalasi magun (terpasang tetap), penghantar tunggal dapat melayani baik sebagai penghantar proteksi (PE) maupun sebagai penghantar netral (N), disebut penghantar PEN asalkan persyaratan 3.13.2.8 terpenuhi.

CATATAN Sistem ini dinamakan sistem TN-C (lihat 3.5.4 dan Gambar 3.5-3), namun penggunaannya dalam bangunan tidak dianjurkan karena memperbesar resiko terhadap bahaya kebakaran dan menimbulkan masalah terhadap kesesuaian elektromagnetik.

3.13.1.3 Pembumian penghantar PEN selain di sumbernya (generator atau transformator) sedapat mungkin juga di setiap konsumen. Beberapa konsumen kecil yang berdekatan satu dengan lainnya dapat dianggap sebagai satu kelompok dan penghantar PEN nya cukup dibumikan di satu titik.

3.13.2 Persyaratan

3.13.2.1 Jika terjadi gangguan hubung pendek pada suatu tempat dalam instalasi antara penghantar fase dengan penghantar proteksi PE atau BKT, maka karakteristik gawai proteksi (lihat 3.13.2.6) dan impedans sirkit harus sedemikian rupa sehingga akan terjadi pemutusan suplai secara otomatis dalam waktu yang tidak melebihi waktu pemutusan maksimum tersebut pada Tabel 3.13-1.

Untuk itu berlaku persyaratan berikut ini :

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

dengan :

Z_s adalah impedans lingkaran gangguan yang terdiri atas impedans sumber, penghantar fase dari sumber sampai ke titik gangguan dan penghantar proteksi PE antara titik gangguan dan sumber.

I_a adalah arus yang menyebabkan operasi pemutusan otomatis gawai proteksi yaitu :

- a) di dalam waktu yang dinyatakan dalam Tabel 3.13-1 sebagai fungsi tegangan nominal U_0 , atau
- b) di dalam waktu konvensional maksimum 5 detik jika dalam kondisi yang dinyatakan dalam 3.13.2.3

U_0 adalah tegangan nominal a.b. efektif ke bumi.

CATATAN 1 :

- a) Pada umumnya transformator yang dihubungkan bintang-bintang sebagai sumber tidak sesuai bagi sistem TN (PNP), karena reaktansnya terhadap arus hubung pendek antara penghantar fase dan penghantar N, penghantar PE atau BKT perlengkapan terlalu besar, kecuali bila titik netral di sisi primernya dibumikan langsung.
- b) Jika arus hubung pendek tersebut di atas tidak cukup besar sehingga gawai proteksi arus lebih (GPAL) tidak bekerja, maka dapat digunakan gawai proteksi arus sisa (GPAS).

Tabel 3.13-1 Waktu pemutusan maksimum untuk sistem TN

U_o *) volt	Waktu pemutusan detik
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

*) Nilai didasarkan pada SNI 04-0227-1994 : Tegangan standar.

CATATAN 2 :

- a) Untuk tegangan yang berada dalam rentang toleransi yang dinyatakan dalam SNI 04-0227-1994, waktu pemutusan sesuai dengan tegangan nominal yang berlaku.
- b) Untuk nilai antara tegangan, digunakan nilai yang lebih tinggi setingkat dalam Tabel di atas.

3.13.2.2 Waktu pemutusan maksimum yang dinyatakan dalam Tabel 3.13-1 dianggap memenuhi 3.7.1.1 untuk sirkit akhir yang menyuplai perlengkapan genggam kelas I atau perlengkapan portabel, melalui kotak-kontak atau langsung tanpa kotak-kontak.

3.13.2.3 Waktu pemutusan konvensional yang tidak melampaui 5 detik diizinkan untuk sirkit distribusi.

Waktu pemutusan yang melampaui persyaratan Tabel 3.13-1 tetapi tidak melampaui 5 detik diizinkan untuk sirkit akhir yang hanya menyuplai perlengkapan pegun (stasioner), asalkan jika sirkit akhir lain yang mensyaratkan waktu pemutusan maksimum sesuai Tabel 3.13-1 dihubungkan ke PHB atau sirkit distribusi yang menyuplai sirkit akhir tersebut, salah satu kondisi berikut ini dapat dipenuhi :

- a) impedans penghantar proteksi antara PHB dan titik dimana penghantar proteksi dihubungkan ke ikatan penyama potensial utama, tidak melampaui (dalam Ω) :

$$\frac{50}{U_o} Z_s$$

atau

- b) ada ikatan penyama potensial pada PHB yang meliputi jenis BKE yang sama sebagai ikatan penyama potensial utama dan yang memenuhi untuk ikatan penyama potensial utama dalam 3.7.2.1

3.13.2.4 Jika kondisi dalam 3.13.2.1, 3.13.2.2 dan 3.13.2.3 tidak dapat terpenuhi dengan menggunakan GPAL, maka harus diterapkan ikatan penyama potensial suplemen sesuai dengan 3.7.2.2

Sebagai alternatif, proteksi harus dilengkapi dengan GPAS.

3.13.2.5 Dalam hal kasus dimana gangguan terjadi antara penghantar fase dan bumi, misalnya dalam penggunaan saluran udara, kondisi berikut ini harus dipenuhi agar supaya penghantar proteksi dan BKT yang terhubung padanya tidak mencapai tegangan ke bumi yang melampaui nilai konvensional 50 V : dengan :

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_o - 50}$$

R_B adalah resistans seluruh elektrode bumi yang terhubung secara paralel.

R_E adalah resistans sentuh minimum dengan bumi dari BKE yang tak terhubung ke penghantar proteksi, yang melaluinya dapat terjadi gangguan antara fase dan bumi.

U_o adalah tegangan nominal a.b. efektif ke bumi.

3.13.2.6 Dalam sistem TN, dikenal penggunaan gawai proteksi berikut ini :

a) GPAL;

b) GPAS;

kecuali bahwa :

- 1) GPAS tidak boleh digunakan dalam sistem TN-C;
- 2) jika GPAS digunakan dalam sistem TN-C-S, penghantar PEN tidak boleh digunakan di sisi beban. Hubungan penghantar proteksi PE ke penghantar PEN harus dibuat di sisi sumber dari GPAS (lihat Gambar 3.15-2).

3.13.2.7 Cara menghubungkan BKT perlengkapan/instalasi adalah sebagai berikut :

3.13.2.7.1 Dalam sistem TN-C (lihat 3.13.1.2) penampang penghantar PEN tidak boleh kurang dari 10 mm² tembaga atau 16 mm² aluminium.

BKT perlengkapan dihubungkan melalui penghantar PEN ke rel/terminal PEN di dalam PHB, sedangkan terminal netralnya cukup dihubungkan ke BKT perlengkapan tersebut.

3.13.2.7.2 Dalam sistem TN-S penghantar PE terpisah dari penghantar N dan penampang penghantar PE tersebut boleh kurang dari 10 mm² tembaga atau 16 mm² aluminium, tetapi tidak boleh kurang dari penampang penghantar fasenya.

BKT perlengkapan harus dihubungkan melalui penghantar PE ke rel/terminal PE di dalam PHB.

Rel/terminal PE di PHB tersebut dihubungkan ke bumi.

Terminal N perlengkapan dihubungkan melalui penghantar N ke rel/terminal N di dalam PHB.

Rel/terminal PE di PHB dihubungkan ke rel/terminal N nya.

CATATAN Sistem TN-S dianjurkan penggunaannya di dalam bangunan.

3.13.2.7.3 Jika penghantar N tidak ada, BKT perlengkapan harus dihubungkan melalui penghantar PE ke rel/terminal PE di dalam PHB. Rel/terminal N PHB, jika ada, harus dihubungkan ke rel/terminal PE nya. Rel/terminal PE nya harus dibumikan.

Namun cara ini tidak dianjurkan di Indonesia.

3.13.2.8 Persyaratan penghantar PEN

3.13.2.8.1 Untuk kabel dalam instalasi magun (terpasang tetap) yang mempunyai luas penampang tidak kurang dari 10 mm² tembaga atau 16 mm² aluminium, suatu penghantar tunggal dapat melayani baik sebagai penghantar proteksi (PE) maupun sebagai penghantar netral (N), disebut penghantar PEN, asalkan bagian instalasi yang bersangkutan tidak diproteksi oleh gawai beroperasi arus sisa.

Meskipun demikian luas penampang minimum penghantar PEN dapat 4 mm², asalkan kabel tersebut berjenis konsentris yang memenuhi standar IEC dan hubungan kontinuitas duplikat ada pada semua sambungan dan terminasi sepanjang penghantar konsentris.

3.13.2.8.2 Penghantar PEN harus diisolasi dari tegangan tertinggi yang dapat mengenainya untuk menghindari arus sasar.

CATATAN Penghantar PEN tidak perlu diisolasi di dalam PHB.

3.13.2.8.3 Jika dari setiap titik instalasi fungsi netral dan fungsi proteksi diberikan oleh penghantar yang terpisah, tidak dibenarkan untuk menghubungkan kedua penghantar tersebut satu sama lain dari titik tersebut. Pada titik pemisahan harus disediakan rel/ terminal terpisah untuk penghantar PE dan penghantar N. Penghantar PEN harus dihubungkan ke rel/terminal yang dimaksudkan untuk penghantar PE.

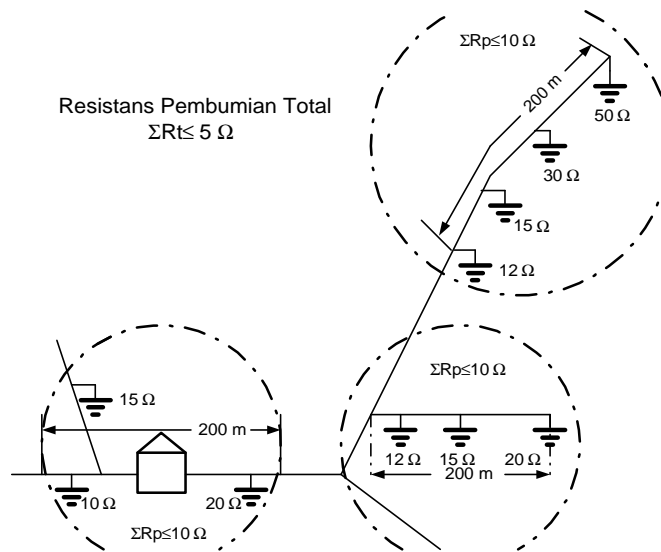
3.13.2.9 Luas penampang penghantar fase dan penghantar netral dapat dilihat pada 3.16.

3.13.2.10 Pada jaringan saluran udara, selain di sumber dan di konsumen, penghantar PEN nya harus dibumikan paling sedikit di setiap ujung cabang yang panjangnya lebih dari 200 m. Demikian pula untuk instalasi pasangan luar, penghantar PEN nya harus dibumikan. Resistans pembumian total seluruh sistem tidak boleh lebih dari 5 Ω. Untuk daerah yang resistans jenis tanahnya sangat tinggi, resistans pembumian total seluruh sistem boleh mencapai 10 Ω.

- a) Bagian penghantar bumi jaringan distribusi yang terletak di atas tanah, penampangnya tidak boleh kurang dari 16 mm² tembaga atau 100 mm² pita baja yang digalvanisasi dengan tebal minimum 3 mm. Bagian penghantar bumi jaringan distribusi yang tertanam di dalam tanah, jika penghantarnya berisolasi, luas penampang sekurang-kurangnya harus sama dengan luas penampang penghantar bumi yang terletak di atas tanah. Jika penghantarnya telanjang, maka persyaratannya sama dengan persyaratan elektoda bumi yang ditetapkan dalam 3.18.
- b) Resistans pembumian dari satu atau beberapa elektrode bumi di sekitar sumber listrik atau transformator dan di bagian jaringan pada 200 meter terakhir dari setiap cabang, tidak boleh lebih besar dari 10 Ω (lihat Gambar 3.13-1). Untuk daerah dengan resistans jenis tanah sangat tinggi, resistans pembumian tersebut boleh sampai 20 Ω.

3.13.2.11 Jika di sekitar jaringan distribusi terdapat sesuatu yang pembumiannya baik, misalnya jaringan pipa air minum dari logam yang masih digunakan, maka selama tidak bertentangan dengan ketentuan/peraturan Perusahaan Air Minum, penghantar PEN-nya harus dihubungkan pada pipa utamanya atau pada pipa masuk ke rumah.

KHA penghantar penghubungnya harus sama dengan penghantar PEN-nya. Tetapi luas penampangnya tidak perlu lebih besar dari 50 mm² tembaga atau 100 mm² pita baja yang digalvanisasi dengan tebal minimum 3 mm.



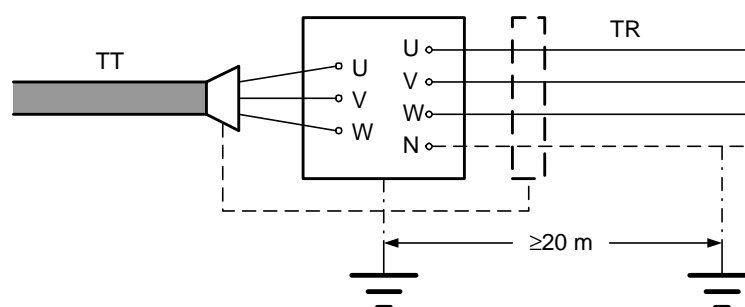
Gambar 3.13-1 Penumian di sekitar sumber dan di setiap ujung cabang jaringan

3.13.2.12 Dalam jaringan distribusi dan instalasi yang menggunakan sistem TN-C, penbumi yang tidak dihubungkan dengan penghantar PEN dilarang.

Yang dapat dikecualikan dari larangan ini adalah :

Bagian konduktif di sisi tegangan rendah suatu instalasi transformator yang penbuminya dihubungkan dengan penbumian sisi tegangan tingginya, sedang penbumian netral sistem tegangan rendahnya terpisah (lihat Gambar 3.13-2).

3.13.2.13 Dalam jaringan saluran udara, penghantar PEN sebaiknya dipasang di bawah penghantar fasenya.



Gambar 3.13-2

3.13.2.14 Dalam instalasi konsumen penghantar PEN nya harus diisolasi dan diperlakukan sama dengan penghantar fasenya.

Jika dipakai pipa instalasi, maka penghantar PEN dan penghantar fasenya harus terletak dalam pipa yang sama. Jika dipakai kabel berinti banyak, maka penghantar PEN dan penghantar fasenya harus terletak dalam selubung yang sama. Sebagai pengecualian lihat 3.13.2.20 dan 3.13.2.21.

Pemasangan perluasan penghantar PEN dan penghantar proteksi dalam instalasi permanen yang sudah ada, tidak perlu dalam selubung yang sama, asalkan isolasinya tetap sama baik, diperlakukan sama, dan diberi tanda pengenal.

Dilarang mempersatukan penghantar PEN beberapa sirkit listrik, kecuali pada rel PHB jika penampang rel PEN dipilih sesuai dengan jumlah luas penampang fase tiap-tiap sirkit menurut 3.13.2.2.

3.13.2.15 Warna tanda pengenal untuk penghantar proteksi, penghantar PEN dan penghantar netral diatur dalam 7.2.

3.13.2.16 Dalam sistem TN-C-S, untuk penghantar proteksi PE berlakulah persyaratan sebagai berikut :

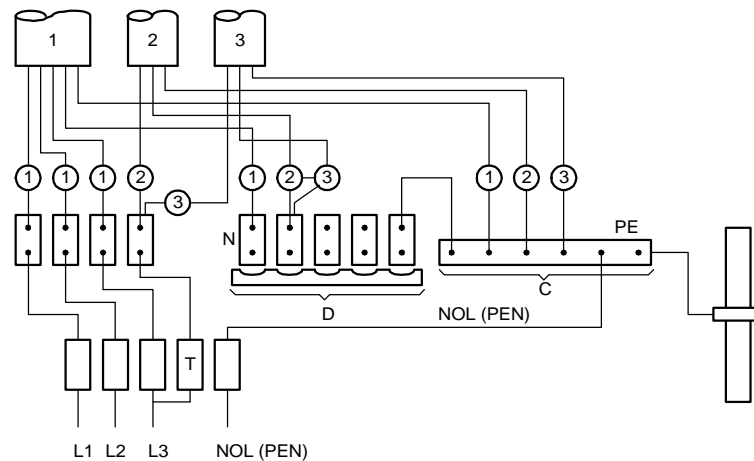
- a) KHA penghantar proteksi PE harus sama dengan KHA penghantar fase jika penampang penghantar fase tersebut sama atau kurang dari 16 mm^2 tembaga. Dalam hal lainnya maka penampang penghantar PE tidak boleh kurang dari 16 mm^2 tembaga.
- b) Sebagai penghantar proteksi dapat digunakan lapisan penghantar netral kabel konsentris atau lapisan logam pelindung kabel, asal luas penampangnya cukup, atau dapat pula digunakan bagian konstruksi seperti tersebut dalam 3.6.2.2.4).
- c) Penghantar proteksi dianjurkan dipasang terpisah dari penghantar fase; dalam hal ini penghantar proteksi seperti halnya penghantar fase harus dilindungi terhadap kerusakan mekanis dan sejauh mungkin diletakkan sejalan dengan penghantar fasenya.
- d) Penghantar proteksi keluar harus mempunyai rel atau terminal tersendiri, yaitu rel atau terminal PE. Penghantar PEN masuk harus dihubungkan ke rel atau terminal PE (lihat Gambar 3.13-3). Rel/terminal PE dibumikan. Di sebelah hilir rel/terminal PE, penghantar PE dan penghantar netral N harus terpisah.
- e) Setelah penghantar PEN masuk dipercabangkan/dipisahkan menjadi penghantar netral dan penghantar proteksi PE, kedua penghantar ini tidak boleh dihubungkan lagi satu dengan lainnya. Dengan demikian penghantar netral tidak boleh dibumikan lagi.

3.13.2.17 Dalam sistem TN-C, GPAL tidak boleh memutus penghantar PEN. Dalam sistem TN-S, jika penghantar N tidak dapat dijamin selalu berada pada potensial bumi sepanjang umur instalasi, maka GPAL boleh memutus penghantar N sekurang-kurangnya di titik masuk PHB.

CATATAN Dalam sistem TT atau IT maka GPAL harus memutus penghantar N.

3.13.2.18 Penghantar PEN tidak boleh diputuskan atau dihubungkan dengan sakelar secara tersendiri. Bila penghantar PEN itu dapat dihubungkan atau diputuskan bersama-sama dengan penghantar fasenya, maka pada saat dihubungkan, penghantar PEN nya harus terhubung lebih dahulu dan pada saat diputuskan penghantar PEN harus terputus paling akhir. Bila digunakan sakelar yang dapat membuka dan menutup dengan cepat (dengan sentakan), maka penghantar PEN dan fase boleh dihubungkan dan diputuskan serentak.

CATATAN Hal ini berlaku hanya pada saat instalasi diganti atau diperbarui.



Gambar 3.13-3 Contoh tipikal hubungan penghantar proteksi dan penghantar PEN ke rel atau terminal dalam PHB

3.13.2.19 Penghantar konsentris dari kabel tanah boleh digunakan sebagai penghantar PEN.

3.13.2.20 Lapisan timah hitam kabel tanah sebagai satu-satunya penghantar PEN dilarang digunakan, kecuali jika jaringan kabel tanah yang telah ada yang semula sudah menggunakan sistem TT, kemudian diubah menjadi sistem TN. Dalam hal ini lapisan timah hitam kabel tanah boleh digunakan sebagai satu-satunya penghantar PEN sepanjang ketentuan dalam sistem TN dapat dipenuhi, dan dipenuhi pula ketentuan tambahan sebagai berikut :

- a) Jika terdapat jaringan pipa air minum dari logam yang memenuhi syarat, maka lapisan timah hitam harus dihubungkan padanya di beberapa titik, jika mungkin pada setiap konsumen.
- b) Jika tidak ada jaringan pipa air minum dari logam, maka pada setiap konsumen harus dipasang elektrode bumi yang dihubungkan dengan lapisan timah hitam tersebut.
- c) Pada mof sambungan, lapisan timah hitam harus dihubungkan satu dengan yang lain dengan baik.

3.13.2.21 Penggunaan lapisan pelindung aluminium kabel tanah sebagai satu-satunya penghantar PEN dibolehkan, jika lapisan aluminium tersebut dijamin tidak terputus-putus dan pada setiap sambungan kabel lapisan aluminium tersebut disambung secara baik dan tahan lama. Lapisan pelindung aluminium tersebut dan penghantar penyambungannya di dalam mof, harus sekurang-kurangnya mempunyai KHA yang sama dengan penghantar PEN yang sesuai.

Pada pemotongan kabel tanah, lapisan pelindung aluminium tersebut harus dijembatani terlebih dahulu. Semua sambungan harus dilindungi terhadap korosi. Lapisan pelindung aluminium yang digunakan sebagai penghantar PEN dan terisolasi dari bumi, harus dibumikan di beberapa titik sepanjang jaringan kabel tanah.

3.13.2.22 Pada penyambungan perlengkapan listrik dengan menggunakan kabel fleksibel harus dipilih kabel fleksibel yang mempunyai penghantar proteksi (perhatikan pula 3.6.2.2.e)2) dan Gambar 3.13-3).

3.13.2.23 Sebelum digunakan, keefektifan dari sistem TN harus diuji menurut 3.21.

3.14 Sistem IT atau sistem Penghantar Pengaman (sistem HP)

3.14.1 Umum

3.14.1.1 Dalam sistem IT instalasi harus diisolasi dari bumi atau dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans yang cukup tinggi. Hubungan ini dapat dibuat pada titik netral sistem maupun pada suatu titik netral buatan. Titik netral buatan dapat dihubungkan secara langsung ke bumi jika impedans urutan nol yang dihasilkan cukup tinggi. Jika tidak ada titik netral, maka penghantar fase dapat dihubungkan ke bumi melalui suatu impedans.

Arus gangguan bernilai rendah bila terjadi gangguan tunggal ke BKT atau ke bumi dan pemutusan tidak penting asalkan kondisi dalam 3.14.1.3 terpenuhi. Meskipun demikian, harus diambil tindakan untuk menghindari resiko efek patofisiologis yang berbahaya pada manusia yang tersentuh BKT secara simultan saat terjadinya dua gangguan secara simultan.

3.14.1.2 Penghantar aktif instalasi tidak boleh dihubungkan langsung ke bumi

CATATAN Untuk mengurangi tegangan lebih atau untuk meredam osilasi tegangan, mungkin perlu menyediakan pembumian melalui impedans atau titik netral buatan, dan karakteristiknya harus sesuai dengan persyaratan instalasi.

3.14.1.3 BKT harus dibumikan secara individual, dalam kelompok atau secara kolektif.

CATATAN Dalam bangunan besar, seperti bangunan bertingkat tinggi, hubungan langsung penghantar proteksi ke elektrode bumi tidak mungkin dilaksanakan karena alasan praktis. Pembumian BKT dapat dicapai dengan ikatan antara penghantar proteksi, BKT dan BKE.

3.14.2 Persyaratan

3.14.2.1 Kondisi berikut ini harus terpenuhi :

$$R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$$

dengan :

R_A adalah resistans elektrode bumi untuk BKT.

I_d adalah arus gangguan dari gangguan pertama dengan impedans yang dapat diabaikan (hubung pendek) antara penghantar fase dan BKT. Nilai I_d memperhitungkan arus bocor dan impedans pembumian total dari instalasi listrik.

3.14.2.2 Dalam hal dimana sistem IT dipergunakan untuk alasan kontinuitas suplai, maka sebuah gawai monitor isolasi harus disediakan untuk menunjukkan terjadinya gangguan pertama dari bagian aktif ke BKT atau ke bumi. Gawai ini harus dapat mengeluarkan sinyal yang dapat terdengar dan/atau terlihat.

Jika kedua sinyal tersebut sama-sama ada, diizinkan untuk tidak memakai sinyal yang dapat terdengar, tetapi alarm visual harus terus-menerus bekerja selama terjadinya gangguan.

CATATAN Direkomendasikan agar gangguan pertama dihilangkan dengan penundaan sesingkat mungkin.

3.14.2.3 Sesudah terjadinya gangguan pertama, kondisi untuk pemutusan suplai saat terjadinya gangguan kedua harus seperti berikut di bawah ini, tergantung apakah semua BKT terinterkoneksi oleh penghantar proteksi (dibumikan secara kolektif) atau dibumikan dalam kelompok atau secara individual.

Jika BKT dibumikan dalam kelompok atau secara individual, kondisi untuk proteksi dijelaskan dalam 3.12 seperti untuk sistem TT, kecuali bahwa kalimat kedua dalam 3.12.1.2 tidak berlaku.

Jika BKT terinterkoneksi oleh penghantar proteksi (dibumikan secara kolektif), maka kondisi sistem TN berlaku sesuai 3.14.2.4.

3.14.2.4 Kondisi berikut harus dipenuhi jika netral tidak terdistribusi :

$$Z_s \leq \frac{U_o \sqrt{3}}{2I_a}$$

Atau jika netral terdistribusi :

$$Z'_s \leq \frac{U_o}{2I_a}$$

dengan :

U_o adalah tegangan nominal a.b. efektif antara fase dan netral

U adalah tegangan nominal a.b. efektif antar fase

Z_s adalah impedans lingkaran gangguan yang terdiri atas penghantar fase dan penghantar proteksi sirkit

Z'_s adalah impedans lingkaran gangguan yang terdiri atas penghantar netral dan penghantar proteksi sirkit

I_a adalah arus operasi gawai proteksi dalam waktu pemutusan t yang ditentukan dalam Tabel 3.14-1 jika dapat diterapkan, atau selama 5 detik untuk semua sirkit lain jika waktu ini diizinkan (lihat 3.13.2.3).

3.14.2.5 Dalam sistem IT, dikenal penggunaan gawai monitor dan gawai proteksi berikut ini:

- a) gawai monitor isolasi;
- b) GPAL;
- c) GPAS.

3.14.2.6 Sirkit listrik tidak boleh dibumikan langsung. Pembumian melalui resistans yang cukup tinggi atau celah proteksi diperbolehkan. Bila dibumikan melalui resistans, resistans pembumian tersebut tidak boleh kurang dari 1000 Ω .

3.14.2.7 Semua BKT perlengkapan listrik, demikian pula BKT bagian konstruksi, jaringan pipa logam dan semua penghantar yang secara baik berhubungan dengan bumi, harus dihubungkan satu dengan yang lain secara baik dengan penghantar proteksi (perhatikan juga 3.6.2.2 d)).

Tabel 3.14-1 Waktu pemutusan maksimum dalam sistem IT (gangguan kedua)

Tegangan nominal instalasi U_0 / U volt	Waktu pemutusan detik	
	Netral tidak terdistribusi	Netral terdistribusi
120-240	0,8	5
230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

CATATAN :

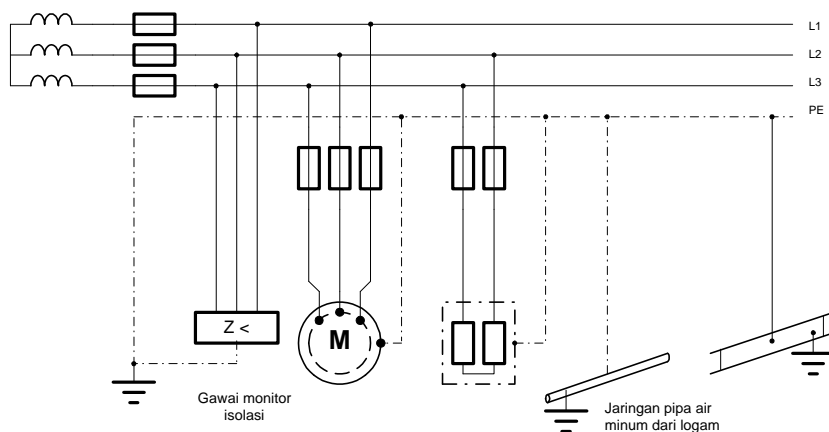
a) Untuk tegangan yang berada dalam rentang toleransi yang dinyatakan dalam SNI 04-0227-1994, waktu pemutusan sesuai dengan tegangan nominal yang berlaku.

b) Untuk nilai antara tegangan, digunakan nilai yang lebih tinggi setingkat dalam Tabel.

3.14.2.8 Pemasangan gawai monitor isolasi sesuai 3.14.2.2 (untuk memantau keadaan isolasi instalasi listrik) yang dapat memberikan isyarat yang dapat dilihat atau didengar bila keadaan isolasi turun di bawah minimum tertentu, dapat dilihat dalam Gambar 3.14-1. Bila gawai tersebut dari jenis yang terpasang antara setiap fase dan bumi maka impedans antara setiap fase dan bumi dari gawai tersebut harus sama. Ini diperlukan untuk mencegah terjadinya tegangan antara netral dan bumi dalam keadaan normal.

3.14.2.9 Sebagai penghantar proteksi dapat digunakan penghantar yang berisolasi dengan warna hijau-kuning dalam satu selubung dengan penghantar fasenya atau dapat pula terdiri dari penghantar yang terpisah (perhatikan pula ketentuan dalam 3.6.2.2 dan 7.2).

3.14.2.10 Luas penampang nominal penghantar proteksi harus sekurang-kurangnya sesuai dengan Tabel 3.16-1 dan dengan ketentuan dalam 3.19, tetapi untuk besi tidak perlu lebih besar dari 120 mm².

**Gambar 3.14-1 Contoh sistem IT**

3.14.2.11 Resistans pembumian dari seluruh sistem IT tidak boleh lebih besar dari 50 Ω . Bila nilai ini tidak dicapai, meskipun sudah digunakan elektrode bumi tambahan, maka tegangan antara penghantar proteksi dan bumi harus diproteksi dengan gawai proteksi yang memutus sirkuit bila tegangan antara penghantar proteksi dan bumi lebih dari 50 Volt.

3.14.2.12 Pelaksanaan pemasangan elektrode bumi suatu instalasi harus sesuai dengan 3.18 dan 3.19.

3.14.2.13 Pada penyambungan dengan kabel fleksibel, harus dipilih kabel fleksibel yang mempunyai penghantar proteksi (perhatikan pula Gambar 3.12-2).

3.15 Penggunaan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS)

3.15.1 Umum

3.15.1.1 GPAS ialah gawai yang menggunakan pemutus yang peka terhadap arus sisa, yang dapat memutus sirkit termasuk penghantar netralnya secara otomatis dalam waktu tertentu, apabila arus sisa yang timbul karena terjadinya kegagalan isolasi melebihi nilai tertentu, sehingga tercegahlah bertahannya tegangan sentuh yang terlalu tinggi.

3.15.1.2 Pemilihan GPAS

CATATAN Persyaratan lebih rinci mengenai GPAS, termasuk arus pengenal dan tegangan pengenalnya dapat dilihat dalam IEC 755, IEC 1008-1 dan IEC 1009-1.

3.15.1.2.1 Proteksi tambahan dari sentuh langsung :

- GPAS dengan arus operasi sisa pengenal 30 mA.

3.15.1.2.2 Proteksi dari sentuh tak langsung :

a) Untuk sistem TT (sangat dianjurkan) :

- GPAS dengan arus operasi sisa pengenal 300 mA.

b) Untuk sistem TN-S dan TN-C-S (sistem TN-C tidak boleh menggunakan GPAS) dan sistem IT :

- GPAS dengan waktu pemutusan paling lambat 0,4 detik (lihat Tabel 3.13-1 dan 3.14-1).

3.15.1.2.3 Proteksi dari bahaya kebakaran (dianjurkan) :

- GPAS dengan arus operasi sisa pengenal tidak lebih dari 500 mA.

3.15.1.3 Perlengkapan listrik yang diproteksi dengan GPAS pada sistem TT harus dibumikan demikian rupa sehingga tidak mungkin timbul tegangan sentuh yang terlalu tinggi, melebihi 50 V a.b. efektif jika arus operasi sisa pengenal GPAS tersebut mengalir melalui elektrode bumi (lihat Gambar 3.15-1).

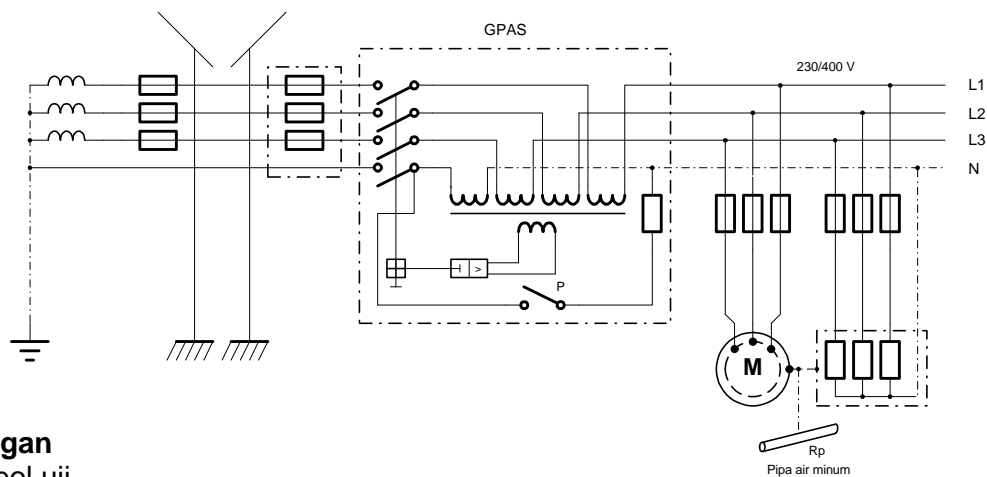
3.15.2 Persyaratan

3.15.2.1 Resistans pembumian R dalam sistem TT sebaiknya tidak boleh melebihi 100 Ω .

3.15.2.2 Pada penyambungan perlengkapan listrik dengan menggunakan kabel fleksibel harus dipilih kabel fleksibel yang mempunyai penghantar proteksi (lihat juga Gambar 3.12-2).

3.15.2.3 Pelaksanaan pemasangan instalasi pembumian harus sesuai dengan 3.18 dan 3.19.

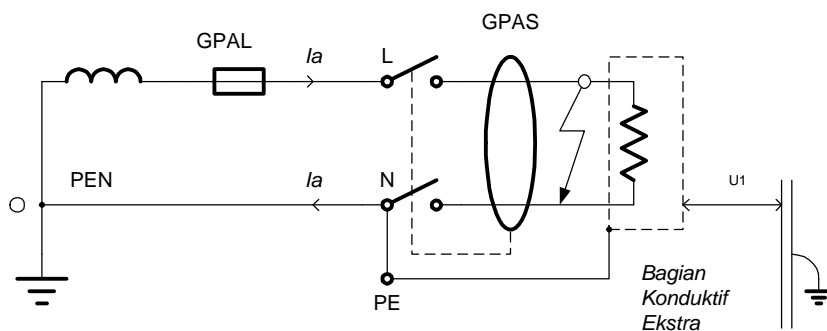
3.15.2.4 Sebelum digunakan, keefektifan instalasi proteksi harus diuji menurut 3.21.



Gambar 3.15-1 Contoh instalasi proteksi dengan GPAS

3.15.3 Contoh pemasangan Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS)

3.15.3.1 Pada sistem TN dengan penghantar PEN (lihat Gambar 3.15-2).



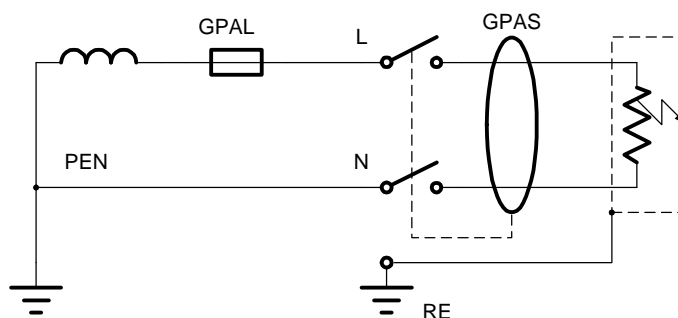
Keterangan

GPAL = Gawai proteksi arus-lebih

GPAS = Gawai proteksi arus-sisa

Gambar 3.15-2 Pemasangan GPAS pada sistem yang mempunyai penghantar PEN (sistem TN)

3.15.3.2 Pada sistem TT (lihat Gambar 3.15-3)



Gambar 3.15-3 Pemasangan GPAS pada sistem TT

3.16 Luas penampang penghantar proteksi dan penghantar netral

3.16.1 Luas penampang penghantar proteksi

3.16.1.1 Luas penampang penghantar proteksi tidak boleh kurang dari nilai yang tercantum dalam Tabel 3.16-1.

Jika penerapan Tabel 3.16-1 menghasilkan ukuran yang tidak standar, maka dipergunakan penghantar yang mempunyai luas penampang standar terdekat.

Tabel 3.16-1 Luas penampang minimum penghantar proteksi

Luas penampang penghantar fase instalasi S mm^2	Luas penampang minimum penghantar proteksi yang berkaitan S_p mm^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Nilai dalam Tabel 3.16-1 hanya berlaku jika penghantar proteksi dibuat dari bahan yang sama dengan penghantar fase. Jika bahannya tidak sama, maka luas penampang penghantar proteksi ditentukan dengan cara memilih luas penampang yang mempunyai konduktans yang ekuivalen dengan hasil dari Tabel 3.16-1.

3.16.1.2 Luas penampang setiap penghantar proteksi yang tidak merupakan bagian kabel suplai atau selungkup kabel, dalam setiap hal tidak boleh kurang dari :

- a) $2,5 \text{ mm}^2$ jika terdapat proteksi mekanis,
- b) 4 mm^2 jika tidak terdapat proteksi mekanis.

3.16.2 Luas penampang penghantar fase dan penghantar netral

3.16.2.1 Luas penampang penghantar fase tidak boleh lebih kecil dari nilai yang diberikan dalam Tabel 3.16-2.

3.16.2.2 Penghantar netral harus mempunyai luas penampang yang sama seperti penghantar fase:

- a) pada sirkit fase tunggal dua kawat;
- b) pada sirkit fase banyak dan fase tunggal tiga kawat, jika ukuran penghantar fase lebih kecil dari atau sama dengan 16 mm^2 tembaga atau 25 mm^2 aluminium.

3.16.2.3 Untuk sirkit fase banyak dengan setiap penghantar fasenya mempunyai luas penampang lebih besar dari 16 mm^2 tembaga atau 25 mm^2 aluminium, maka penghantar netral dapat mempunyai luas penampang yang lebih kecil dari penghantar fase jika kondisi berikut ini terpenuhi secara simultan :

- a) arus maksimum yang diperkirakan termasuk harmoniknya (jika ada) dalam penghantar netral selama pelayanan normal tidak lebih besar dari KHA luas penampang penghantar netral yang diperkecil;

CATATAN Beban yang disalurkan oleh sirkit dalam kondisi pelayanan normal secara praktis terdistribusi merata di antara fase.

- b) penghantar netral diberi proteksi dari arus lebih sesuai dengan 3.16.2.4; ukuran penghantar netral sekurang-kurangnya sama dengan 16 mm^2 tembaga atau 25 mm^2 aluminium.

Tabel 3.16-2 Luas penampang minimum penghantar fase

1		2	3	
Jenis sistem pengawatan		Penggunaan sirkit	Penghantar	
			Bahan	Luas penampang mm ²
Instalasi magun (terpasang tetap)	Kabel dan penghantar berisolasi	Sirkit daya dan penerangan	Tembaga	1,5
		Sirkit sinyal dan kontrol	Aluminium	2,5 (lihat Catatan a)
	Penghantar telanjang	Sirkit daya	Tembaga	0,5 (lihat Catatan b)
		Sirkit sinyal dan kontrol	Tembaga	10
Sambungan fleksibel dengan penghantar berisolasi dan kabel			Aluminium	16
			Tembaga	4
		Untuk peranti khusus	Tembaga	Seperti ditentukan dalam standar IEC yang relevan
		Untuk setiap penerapan lainnya		0,75 (lihat Catatan c)
		Sirkit tegangan ekstra rendah untuk penerapan khusus		0,75
Catatan :				
a) Sambungan yang digunakan untuk terminasi penghantar aluminium harus diuji dan disahkan untuk penggunaan khusus ini.				
b) Dalam sirkit sinyal dan kontrol yang dimaksudkan untuk perlengkapan elektronik, diizinkan menggunakan luas penampang minimum 0,1 mm ² .				
c) Dalam kabel fleksibel multi-inti yang terdiri atas tujuh inti atau lebih, berlaku Catatan b).				

3.16.2.4 Proteksi untuk penghantar netral

3.16.2.4.1 Sistem TT dan TN

- a) Jika luas penampang penghantar netral sekurang-kurangnya sama dengan atau ekuivalen dengan penghantar fase, maka tidak perlu menyediakan gawai deteksi arus lebih atau gawai pemutus untuk penghantar netral tersebut.
- b) Jika luas penampang penghantar netral kurang dari penghantar fase, maka perlu untuk menyediakan gawai deteksi arus lebih untuk penghantar netral tersebut; gawai deteksi ini harus menyebabkan pemutusan penghantar fase, tetapi tidak perlu pemutusan penghantar netral.

Gawai deteksi arus lebih tidak perlu disediakan untuk penghantar netral jika dua kondisi berikut ini terpenuhi secara simultan:

- 1) penghantar netral diberi proteksi dari hubung pendek oleh gawai proteksi untuk penghantar fase dari sirkit, dan
- 2) arus maksimum yang mungkin melewati penghantar netral (dalam pelayanan normal) benar-benar kurang dari nilai KHA penghantar tersebut.

CATATAN Kondisi kedua tersebut memuaskan jika daya yang dialirkan terbagi semerata mungkin antara fase yang berbeda, misalnya jika jumlah daya yang diserap oleh perlengkapan pengguna arus yang disuplai dari setiap fase dan netral (seperti misalnya penerangan dan kotak-kontak) jauh lebih rendah dari daya total yang ditanggung sirkit.

3.16.2.4.2 Sistem IT

Dalam sistem IT sangat direkomendasikan bahwa penghantar netral jangan terdistribusi. Meskipun demikian jika penghantar netral terdistribusi, umumnya perlu untuk menyediakan gawai deteksi arus lebih untuk penghantar netral dari setiap sirkit, yang akan menyebabkan pemutusan semua penghantar aktif dari sirkit yang bersangkutan, termasuk penghantar netral. Tindakan tersebut tidak perlu jika:

- a) penghantar netral khusus diberi proteksi secara efektif dari hubung pendek oleh gawai proteksi yang ditempatkan pada sisi suplai, misalnya pada hulu instalasi sesuai dengan aturan yang dinyatakan dalam 3.24.4.3;
- b) atau jika sirkit khusus diberi proteksi oleh GPAS dengan arus operasi sisa pengenal tidak melebihi 0,15 kali KHA penghantar netral yang bersangkutan. Gawai tersebut harus memutus semua penghantar aktif dari sirkit bersangkutan, termasuk penghantar netral.

3.17 Rekomendasi untuk sistem TT, TN dan IT

Jenis sistem Pembumian	Proteksi tambahan terhadap sentuh langsung	Gawai proteksi untuk sentuh tak langsung saja	Gawai proteksi untuk bahaya kebakaran saja	Rekomendasi	Contoh penerapan
1.Sistem TT	GPAS 30 mA	$GPAS \leq 300 \text{ mA}$	$GPAS \leq 500 \text{ mA}$	Bila proteksinya lengkap, direkomendasikan untuk instalasi dengan resiko bahaya dan gangguan paling kecil, termasuk masalah kesesuaian elektromagnet (KEM atau EMC)	Semua bangunan perkantoran dan industri yang memerlukan instalasi yang handal, termasuk gedung pintar dan industri komputer, elektronik, telekomunikasi.
2.Sistem TN-S	GPAS 30 mA	GPAL atau GPAS $\leq 0,4$ detik	$GPAS \leq 500 \text{ mA}$	Seperti sistem TT	Seperti sistem TT
3.Sistem TN-C	Tidak bisa	GPAL $\leq 0,4$ detik	Tidak bisa	Direkomendasikan hanya untuk instalasi sederhana dengan resiko terbesar, termasuk bahaya kebakaran dan masalah KEM. Dilarang dipasang pada lokasi dengan resiko ledak dan resiko kebakaran tinggi.	
4.Sistem TN-C-S	GPAS 30 mA	GPAL atau GPAS $\leq 0,4$ detik	$GPAS \leq 500 \text{ mA}$	Bila proteksinya lengkap, hanya tidak direkomendasikan untuk instalasi yang peka terhadap masalah KEM.	Untuk rumah tangga, industri dan per-kantoran yang tidak peka terhadap masalah KEM.
5.Sistem IT	GPAS 30 mA	Gawai monitor isolasi. GPAL atau GPAS $\leq 0,4$ detik (untuk gangguan kedua)	$GPAS \leq 500 \text{ mA}$	Direkomendasikan jika kontinuitas suplai menjadi kebutuhan utama	Untuk ruang khusus di rumah sakit, dan industri atau perkantoran khusus.

Keterangan

- a) GPAS : Gawai Proteksi Arus Sisa; GPAL : Gawai Proteksi Arus lebih.
- b) Untuk proteksi dengan mempergunakan lebih dari satu jenis gawai proteksi, maka perlu diperhatikan koordinasinya.

3.18 Peraturan umum untuk elektrode bumi dan penghantar bumi

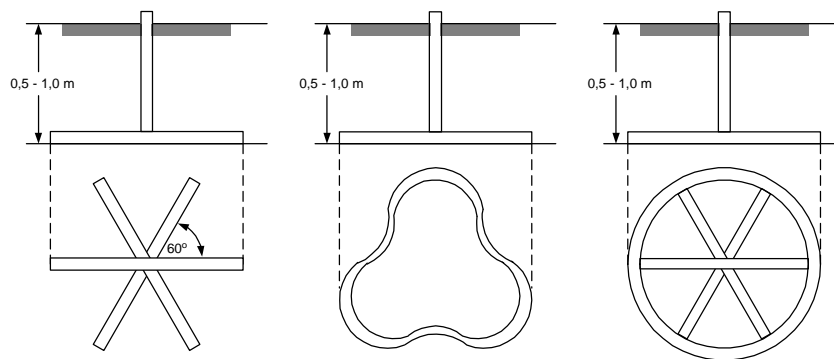
3.18.1 Umum

3.18.1.1 Elektrode bumi ialah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi.

Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektrode bumi.

3.18.2 Jenis elektrode bumi

3.18.2.1 Elektrode pita ialah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 3.18-1, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1,0 m.



Gambar 3.18-1 Cara pemasangan elektrode pita

3.18.2.2 Elektrode batang ialah elektrode dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah.

3.18.2.3 Elektrode pelat ialah elektrode dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam.

3.18.2.4 Bila persyaratannya dipenuhi, jaringan pipa air minum dari logam dan selubung logam kabel yang tidak diisolasi yang langsung ditanam dalam tanah, besi tulang beton atau konstruksi baja bawah tanah lainnya boleh dipakai sebagai elektrode bumi.

3.18.3 Resistans jenis tanah dan resistans pembumian

3.18.3.1 Nilai resistans jenis tanah sangat berbeda-beda bergantung pada jenis tanah seperti ditunjukkan pada Tabel 3.18-1.

Tabel 3.18-1 Resistans jenis tanah

1	2	3	4	5	6	7
Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah liat & tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Resistans jenis (Ω -m)	30	100	200	500	1000	3000

CATATAN Nilai resistans jenis dalam Tabel 3.18-1 adalah nilai tipikal.

3.18.3.2 Resistans pembumian

- a) Resistans pembumian dari elektrode bumi tergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektrode.
- b) Resistans pembumian suatu elektrode harus dapat diukur. Untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektrode bumi atau susunan elektrode bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepaskan (lihat 3.19.2.5).

CATATAN Resistans pembumian total dari suatu instalasi pembumian belum dapat ditentukan dari hasil pengukuran tiap elektrode. Cara mengukurnya lihat 3.21.

- c) Tabel 3.18-2 menunjukkan nilai rata-rata resistans elektrode bumi untuk ukuran minimum elektrode bumi seperti pada Tabel 3.18-3.

Tabel 3.18-2 Resistans pembumian pada resistans jenis $\rho_1 = 100$ W-meter

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jenis elektrode	Pita atau penghantar pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal dengan sisi atas ± 1 m dibawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)				Ukuran (m ²)	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Resistans pembumian (Ω)	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Keterangan :

Untuk resistans jenis yang lain (ρ), maka besar resistans pembumian adalah perkalian nilai di atas dengan.

$$\frac{\rho}{\rho_1} \quad \text{atau} \quad \frac{\rho}{100}$$

CONTOH :

Untuk mencapai resistans jenis pembumian sebesar 5 Ω pada tanah liat atau tanah ladang dengan resistans jenis 100 Ω meter diperlukan sebuah elektrode pita yang panjangnya 50 meter atau empat buah elektrode batang yang panjangnya masing-masing 5 meter. Jarak antara elektrode-elektrode tersebut minimum harus dua kali panjangnya (lihat 3.19.1.4).

Pada pasir basah yang resistans jenisnya 200 Ω meter, sebuah elektrode pita sepanjang 100 meter, menghasilkan resistans pembumian 6 Ω .

3.18.4 Bahan dan ukuran elektrode

3.18.4.1 Sebagai bahan elektrode digunakan tembaga, atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia).

3.18.4.2 Ukuran minimum elektrode dapat dipilih menurut Tabel 3.18-3 dengan memperhatikan pengaruh korosi dan KHA.

CATATAN Jika keadaan tanah sangat korosif atau jika digunakan elektrode baja yang tidak digalvanisasi, dianjurkan untuk menggunakan luas penampang atau tebal sekurang-kurangnya 150 % dari yang tertera dalam Tabel 3.18-3

Tabel 3.18-3 Ukuran minimum elektrode bumi

No	Bahan jenis elektrode	1	2	3
		Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektrode pita	-Pita baja 100 mm ² setebal minimum 3 mm	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² tebal minimum 2 mm
		-Pengantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Pengantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2	Elektrode batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 µm	
3	Elektrode pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²

3.18.4.3 Jika elektrode pita hanya digunakan untuk mengatur gradien tegangan, luas penampang minimum pada baja digalvanisasi atau berlapis tembaga harus 16 mm² dan pada tembaga 10 mm².

3.18.4.4 Logam ringan hanya boleh ditanam dalam suatu jenis tanah jika lebih tahan korosi daripada baja atau tembaga.

3.18.5 Jenis elektrode lain

3.18.5.1 Jika jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektrode bumi, maka harus diperhatikan bahwa resistans pembumiannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi. Resistans pembumian yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektrode tambahan (misalnya selubung logam kabel).

3.18.5.2 Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai penghantar bumi, ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm², atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm² (tebal pita minimum 3 mm).

3.18.5.3 Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektrode bumi, jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitas minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut :

- 4 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm²;
- 10 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm² atau lebih.

3.19 Pemasangan dan susunan elektrode bumi dan penghantar bumi

3.19.1 Pemasangan dan susunan elektrode bumi

3.19.1.1 Untuk memilih macam elektrode bumi yang akan dipakai, harus diperhatikan terlebih dahulu kondisi setempat, sifat tanah, dan resistans pembumian yang diperkenankan.

3.19.1.2 Permukaan elektrode bumi harus berhubungan baik dengan tanah sekitarnya. Batu dan kerikil yang langsung mengenai elektrode bumi memperbesar resistans pembumian.

3.19.1.3 Jika keadaan tanah mengizinkan, elektrode pita harus ditanam sedalam 0,5 sampai 1 meter.

Pengaruh kelembaban lapisan tanah terhadap resistans pembumian agar diperhatikan. Panjang elektrode bumi agar disesuaikan dengan resistans pembumian yang dibutuhkan. Resistans pembumian elektrode pita sebagian besar tergantung pada panjang elektrode tersebut dan sedikit tergantung pada luas penampangnya.

CATATAN :

- a) Nilai pada Tabel 3.18-2 adalah untuk elektrode terpasang lurus yang menghasilkan resistans pembumian terkecil. Cara lain misalnya terpasang zig-zag atau menggelombang, menghasilkan resistans pembumian yang lebih besar untuk panjang elektrode bumi yang sama.
- b) Elektrode pita radial harus disusun simetris. Sudut antara jari-jarinya tidak perlu kurang dari 60°. Susunan lebih dari enam jari-jari pada umumnya tidak mengurangi resistans pembumian secara berarti, karena pengaruh timbal balik dari jari-jari yang berdekatan.

3.19.1.4 Elektrode batang dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistans pembumian yang diperlukan (lihat Tabel 3.18-2).

Resistans pembumiannya sebgaiian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangnya. Jika beberapa elektrode diperlukan untuk memperoleh resistans pembumian yang rendah, jarak antara elektrode tersebut minimum harus dua kali panjangnya. Jika elektrode tersebut tidak bekerja efektif pada seluruh panjangnya, maka jarak minimum antara elektrode harus dua kali panjang efektifnya.

3.19.1.5 Elektrode pelat ditanam tegak lurus dalam tanah; ukurannya disesuaikan dengan resistans pembumian yang diperlukan (lihat Tabel 3.18-2) dan pada umumnya cukup menggunakan pelat berukuran 1 m x 0,5 m. Sisi atas pelat harus terletak minimum 1 m di bawah permukaan tanah. Jika diperlukan beberapa pelat logam untuk memperoleh resistans pembumian yang lebih rendah, maka jarak antara pelat logam, jika dipasang paralel, dianjurkan minimum 3 meter.

CATATAN Untuk memperoleh resistans pembumian yang sama, elektrode pelat memerlukan bahan yang lebih banyak jika dibandingkan dengan elektrode pita atau batang.

3.19.2 Penghantar bumi

3.19.2.1 Berdasarkan kekuatan mekanis, luas penampang minimum penghantar bumi harus sebagai berikut :

- a) untuk penghantar yang terlindung kokoh secara mekanis, 1,5 mm² tembaga atau 2,5 mm² alumunium.
- b) untuk penghantar yang tidak terlindung kokoh secara mekanis 4 mm² tembaga atau pita baja yang tebalnya 2,5 mm, dan luas penampangnya 50 mm².

3.19.2.2 Penghantar aluminium tanpa perlindungan mekanis tidak diperkenankan dipakai sebagai penghantar bumi.

3.19.2.3 Penghantar bumi harus dilindungi jika menembus langit-langit atau dinding, atau berada di tempat dengan bahaya kerusakan mekanis.

3.19.2.4 Penghantar bumi harus diberi tanda sesuai dengan 7.2.

3.19.2.5 Pada penghantar bumi harus dipasang sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistans pembedaan, pada tempat yang mudah dicapai, dan sedapat mungkin memanfaatkan sambungan yang karena susunan instalasinya memang harus ada.

3.19.2.6 Sambungan penghantar bumi dengan elektrode bumi harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan baik, misalnya dengan menggunakan las, klem, atau baut kunci yang tidak mudah lepas. Klem pada elektrode pipa harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10 mm.

3.19.2.7 Sambungan dalam tanah harus dilindungi terhadap korosi.

3.19.2.8 Penghantar bumi di atas tanah harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Mudah terlihat dan jika tertutup harus mudah dicapai;
- b) Harus dilindungi dari bahaya mekanis atau kimiawi;
- c) Tidak boleh ada sakelar atau sambungan yang mudah di lepas tanpa menggunakan gawai khusus;
- d) Penghantar bumi untuk kapasitor peredam interferensi radio harus diisolasi sama seperti penghantar fase dan harus dipasang dengan cara yang sama pula, jika arus yang dialirkan melebihi 3,5 mA.

3.19.2.9 Sambungan dan hubungan antara penghantar bumi utama, penghantar bumi, dan semua cabangnya satu sama lain harus dilaksanakan demikian rupa sehingga terjaminlah hubungan listrik yang baik, dapat diandalkan dan tahan lama.

CATATAN Sambungan dan hubungan yang dibolehkan adalah sambungan dan hubungan yang menggunakan las, baut, klem dan juga sambungan selongsong jika menggunakan penghantar pilin. Sambungan dan hubungan dengan baut harus dilindungi dari kemungkinan terjadinya korosi.

3.20 Resistans isolasi suatu instalasi listrik tegangan rendah

3.20.1 Resistans isolasi suatu instalasi listrik tegangan rendah merupakan salah satu unsur yang menentukan kualitas instalasi tersebut, mengingat fungsi utama isolasi sebagai sarana proteksi dasar (lihat 3.4.1).

3.20.2 Resistans isolasi harus diukur :

- a) antar penghantar aktif secara bergiliran sepasang-sepasang;

CATATAN 1 : Dalam praktek, pengukuran hanya dapat dilakukan selama pemasangan instalasi sebelum dihubungkan ke peranti listrik.

- b) antara setiap penghantar aktif dan bumi.

CATATAN 2 :

- 1) Dalam sistem TN-C, penghantar PEN dianggap sebagai bagian bumi.
- 2) Selama pengukuran, penghantar fase dan netral dapat dihubungkan bersama.

3.20.3 Resistans isolasi yang diukur dengan nilai tegangan uji yang ditunjukkan dalam Tabel 3.20-1, akan memuaskan jika setiap sirkit (dengan peranti tidak terhubung) mempunyai resistans isolasi tidak kurang dari nilai yang diberikan dalam Tabel 3.20-1.

Pengukuran harus dilakukan dengan arus searah. Aparat pengukuran harus mampu menyuplai tegangan uji yang ditentukan dalam Tabel 3.20-1 jika dibebani dengan 1 mA. Jika sirkit mencakup gawai elektronik, maka hanya dilakukan pengukuran antara fase dan netral yang terhubung bersama ke bumi.

CATATAN Tindakan pencegahan ini diperlukan karena melakukan pengujian tanpa hubungan antar penghantar aktif dapat menyebabkan kerusakan dalam gawai elektronik.

Tabel 3.20-1 Nilai resistans isolasi minimum

Tegangan sirkit nominal V	Tegangan uji arus searah V	Resistans isolasi MΩ
Tegangan ekstra rendah (SELV, PELV dan FELV) yang memenuhi persyaratan 3.3.1 dan 3.3.2	250	≥ 0,25
Sampai dengan 500 V, dengan pengecualian hal tersebut di atas	500	≥ 0,5
Di atas 500 V	1000	≥ 1,0

3.21 Pengujian sistem proteksi yang memakai penghantar proteksi

3.21.1 Umum

3.21.1.1 Semua sistem proteksi yang memakai penghantar proteksi harus diuji dahulu sebelum digunakan.

Sistem proteksi yang memakai penghantar proteksi adalah :

- a) Sistem TT atau Sistem Pembumi Pengaman (Sistem PP)
- b) Sistem TN atau Sistem Pembumian Netral Pengaman (Sistem PNP)
- c) Sistem IT atau Sistem Penghantar Pengaman (Sistem HP)
- d) Proteksi dengan memakai Gawai Proteksi Arus Sisa (GPAS).

3.21.1.2 Pengujian sistem proteksi harus meliputi:

- a) Pemeriksaan awal yang teliti terhadap bagian instalasi yang penting (lihat 3.21.2.1);
- b) Pengukuran yang dapat menunjukkan keefektifan sistem proteksi (lihat 3.21.3.1 sampai dengan 3.21.3.4)

CATATAN Bila untuk keperluan pengujian digunakan arus dari jaringan, maka penghantar proteksi atau perlengkapan yang termasuk dalam sistem proteksi ini harus diberi arus secara bertahap, dimulai dari arus yang kecil. Jika ternyata pengujian dengan arus yang kecil menunjukkan

adanya kesalahan pada sistem proteksi, pengujian ini tidak boleh dilanjutkan dengan arus yang lebih besar.

3.21.2 Pemeriksaan awal

3.21.2.1 Pengujian dimulai dengan pemeriksaan awal untuk mengetahui :

- a) Apakah ukuran penghantar fase dan proteksi arus lebih benar-benar telah sesuai?
- b) Apakah penghantar proteksi mempunyai luas penampang sesuai dengan ketentuan dan terpasang serta terhubung sebagaimana mestinya?
- c) Apakah penghantar proteksi mempunyai hubungan yang tidak terputus?
- d) Apakah penghantar proteksi tidak terhubung dengan bagian yang bertegangan?
- e) Apakah penghantar PEN dan penghantar proteksi telah mempunyai tanda pengenal yang semestinya?
- f) Apakah kotak-kontak dan tusuk kontak telah mempunyai penghantar proteksi dengan luas penampang yang cukup dan telah terhubung pada kontak proteksinya? Bila BKT kotak kontak dan tusuk kontak dibuat dari logam, maka penghantar proteksi harus tersambung pula pada BKT tersebut.
- g) Khusus untuk pengujian pada proteksi dengan GPAS, apakah tegangan nominal gawai proteksi tersebut sudah sesuai dengan tegangan nominal jaringan?

3.21.3 Pengukuran dan pengujian

3.21.3.1 Pengukuran resistans pembumian dan resistans lingkaran pada sistem pembumian proteksi.

Sistem pembumian proteksi ada 2 macam yaitu:

- a) Pembumian BKT perlengkapan listrik terpisah dari pembumian sistem listriknya (sistem TT).
- b) Pembumian BKT perlengkapan listrik dihubungkan dengan pembumian sistemnya dengan melalui jaringan pipa air dari logam yang sama (sistem TN).

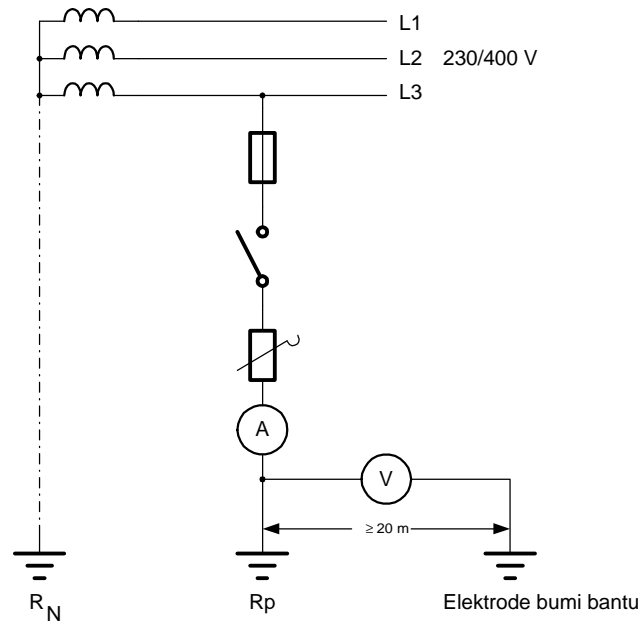
3.21.3.1.1 Pengukuran resistans pembumian yang besarnya ditentukan dalam 3.12.2.1 dan 3.15.2.1 (sistem TT) dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a) Pengukuran dengan voltmeter dan amperemeter (Gambar 3.21-1).

Pengantar bumi dari elektrode bumi yang akan diukur dihubungkan dengan penghantar fase instalasi melalui gawai proteksi arus lebih, sakelar, resistans yang dapat diatur dari 20 Ω sampai 1000 Ω , dan amperemeter. Antara titik sirkit setelah amperemeter dengan elektrode bumi bantu, dipasang voltmeter (lihat Gambar 3.21-1).

Jika elektrode bumi yang akan diukur terdiri dari elektrode batang atau pipa tunggal, maka elektrode bumi bantu harus berjarak sekurang-kurangnya 20 meter dari elektrode bumi. Jika elektrode bumi yang akan diukur terdiri dari pita (dalam bentuk cincin, radial atau kombinasi), maka jarak antara elektrode bantu dan elektrode bumi kira-kira 3 kali garis tengah rata-rata dari susunan elektrode bumi tersebut.

Pada saat sakelar dimasukkan, resistans tersebut harus dalam kedudukan maksimum. Setelah sakelar dimasukkan, resistans diatur sedemikian rupa hingga amperemeter dan voltmeter menunjukkan simpangan secukupnya. Hasil bagi dari tegangan dan arus yang ditunjukkan oleh instrumen ukur tersebut adalah resistans pembumian yang diukur.



Gambar 3.21-1 Pengukuran resistans pembumian pada sistem TT

b) Pengukuran dengan instrumen ukur resistans pembumian

Elektrode bantu yang diperlukan untuk pengukuran ini harus berjarak minimum 20 meter jika elektrode bumi terdiri dari elektrode batang, dan berjarak kira-kira 3 kali diameternya jika elektrode bumi terdiri dari elektrode pita (dalam bentuk cincin, radial atau kombinasi). Pengukuran ini harus dilakukan dengan instrumen yang mempunyai sumber tegangan sendiri.

3.21.3.1.2 Pengukuran resistans lingkaran

Elektrode bumi yang akan diukur dihubungkan ke penghantar fase setelah gawai proteksi arus lebih melalui sakelar, resistans dan amperemeter (lihat Gambar 3.21-2).

Paralel dengan serangkaian gawai tersebut dipasang voltmeter yang mengukur tegangan antara fase dan tanah V_E bila semua sakelar dalam keadaan terbuka.

Mula-mula sakelar (S_V) ditutup. Jika tegangan tidak turun banyak, sakelar S_h baru boleh ditutup. Penunjukan tegangan V_{E1} dan arus I dicatat.

Maka resistans lingkaran :

$$R_{lk} = \frac{V_E - V_{E1}}{I}$$

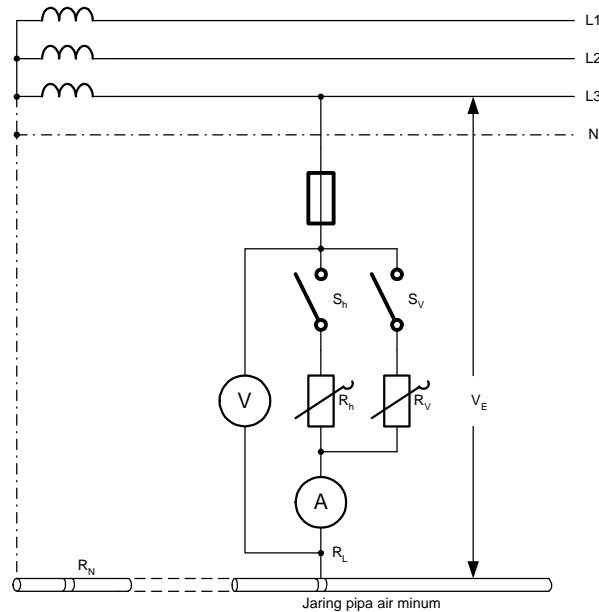
dengan :

R_{lk} = resistans lingkaran

V_E = tegangan fase terhadap bumi, dalam volt (dalam keadaan sakelar terbuka)

V_{E1} = tegangan pada resistans R_h , dalam volt (pada waktu sakelar S_h ditutup)

I = arus yang diukur dalam ampere (pada waktu sakelar S_h ditutup).



Gambar 3.21-2 Pengukuran resistans lingkaran

CATATAN :

- Resistans R_v harus kira-kira 20 kali resistans R_h , untuk mencegah tegangan sentuh yang terlalu besar yang mungkin timbul pada saat pengujian.
- Jika pada saat S_v ditutup, penunjukan voltmeter berubah banyak, berarti terdapat kesalahan pada instalasi yang kemungkinannya adalah :
 - Nilai R yang dipasang terlampau rendah;
 - Ada kontak yang kurang baik pada sirkuit lingkaran yang diukur.
- Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti, selisih antara V_E dan V_{E1} harus cukup besar. Bila selisih tersebut terlalu kecil maka selisih tersebut dapat diperbesar dengan mengatur R_h secukupnya.

3.21.3.2 Pengukuran arus hubung pendek pada sistem TN (PNP)

Persyaratan pertama pada sistem TN (PNP, lihat 3.13.2.1) dapat diuji dengan cara pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 3.21-3.

$$I_k = \frac{V_E}{V_E - V_{E1}} I$$

dengan :

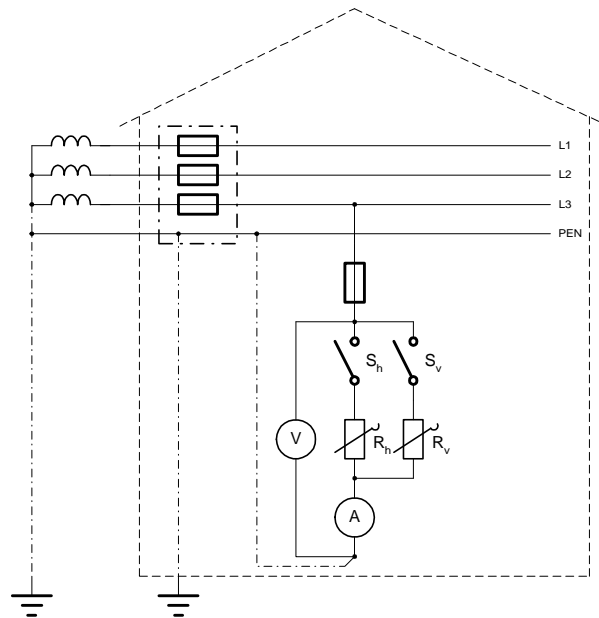
I_k = besar arus hubung pendek dalam ampere

I = besar arus yang diukur dalam ampere, pada waktu sakelar S_h ditutup

V_E = tegangan fase terhadap bumi, dalam volt (dalam keadaan sakelar terbuka)

V_{E1} = tegangan pada resistans R_h pada waktu sakelar S_h ditutup, dalam volt

Dari arus hubung pendek I_k dapat diketahui nilai arus nominal gawai proteksi arus lebih yang diijinkan sesuai dengan karakteristik gawai tersebut.



Gambar 3.21-3 Pengukuran arus hubung pendek pada sistem TN (PNP)

3.21.3.3 Pengukuran resistans pembumian atau arus hubung pendek pada sistem IT :

a) Pengukuran resistans pembumian :

- 1) Caranya sama dengan yang ditentukan dalam 3.21.3.1.1 butir a) dan b).
- 2) Untuk cara seperti pada 3.21.3.1.1 butir a), karena sistem listriknya tidak dibumikan atau dibumikan melalui resistans yang tinggi, maka sebelum pengukuran, penghantar netral atau salah satu penghantar fase lainnya perlu dibumikan melalui elektrode bumi terpisah, pada jarak 20 m baik dari elektrode bumi yang akan diukur maupun dari elektrode bumi bantu.
- 3) Bila hasil pengukuran tidak lebih besar dari yang ditentukan dalam 3.14.2.11, maka sistem penghantar proteksi dapat dinyatakan efektif.

b) Pengukuran arus hubung pendek :

- 1) Cara pengukuran adalah sama dengan yang ditentukan menurut 3.21.3.2.
- 2) Pengukuran arus hubung pendek ini harus dilakukan pada ujung saluran yang paling jauh dari sumbernya.
- 3) Dalam hal ini penghantar netral atau salah satu penghantar fasenya perlu dibumikan seperti yang ditentukan dalam 3.21.3.3 a).
- 4) Bila hasil pengukuran memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam 3.14.2.1, maka sistem IT dinyatakan efektif.

3.21.3.4 Pengujian dan pengukuran pada GPAS

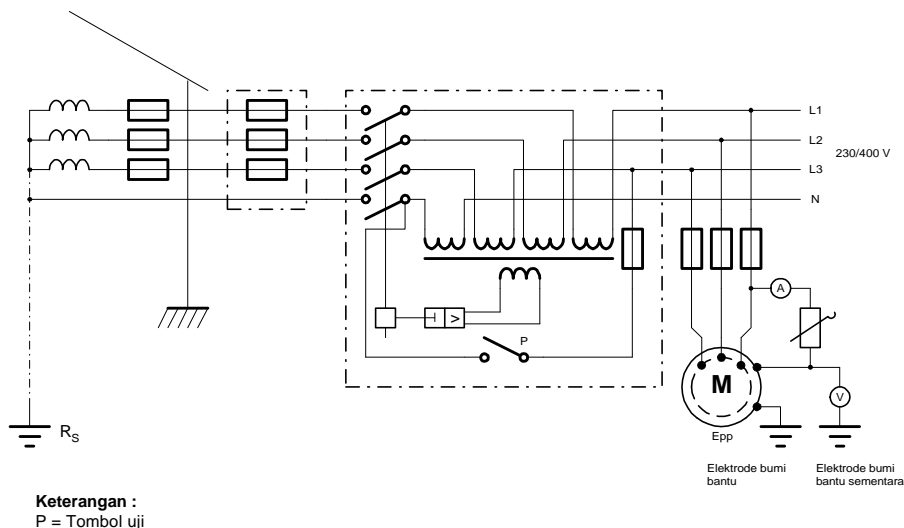
3.21.3.4.1 Pengujian berfungsinya GPAS

Pengujian dilakukan dengan cara berikut :

Dalam keadaan sakelar tertutup, tombol uji (lihat Gambar 3.21-4) ditekan, maka GPAS akan terbuka.

3.21.3.4.2 Pengukuran arus sisa dan tegangan BKT perlengkapan yang diproteksi

BKT perlengkapan yang diproteksi dihubungkan ke penghantar fase melalui ampermeter dan resistans yang dapat diatur. Sebuah voltmeter dengan resistans dalam tidak kurang dari 3000 ohm dipasang di antara BKT perlengkapan dan elektrode bumi bantu sementara yang terletak pada jarak minimum 10 meter dari elektrode bumi perlengkapan. Resistans tersebut diatur sedemikian rupa hingga tegangan ke bumi dari BKT perlengkapan yang diproteksi jauh di bawah 50 volt. Bila resistans tersebut dikurangi, arus sisa akan naik, sampai GPAS terbuka. Pada saat GPAS terbuka, arus sisa yang ditunjukkan oleh ampermeter tersebut kira-kira harus sama dengan atau kurang dari arus jatuh nominalnya, sedangkan tegangan BKT tidak boleh melebihi 50 volt.



Gambar 3.21-4 Pengukuran pada gawai proteksi arus sisa

3.22 Pengukuran resistans isolasi lantai dan dinding berkaitan dengan proteksi dengan lokasi tidak konduktif

3.22.1 Definisi dan nilai isolasi lantai dan dinding

3.22.1.1 Resistans isolasi lantai dan dinding ialah resistans antara permukaan lantai atau dinding tersebut dan bumi.

3.22.1.2 Resistans isolasi lantai dan dinding untuk memenuhi persyaratan proteksi dengan lokasi tidak konduktif (lihat 3.9, khususnya 3.9.4) harus diukur sesuai dengan 3.22.2.1 dan 3.22.2.2 di bawah ini.

3.22.2 Pengukuran isolasi lantai dan dinding

3.22.2.1 Pengukuran dilakukan sekurang-kurangnya tiga kali pada lokasi yang sama, satu dari pengukuran itu dilakukan kira-kira 1 m dari setiap BKE yang dapat terjangkau dalam lokasi tersebut. Dua pengukuran yang lain harus dilakukan pada jarak yang lebih jauh.

Seri pengukuran tersebut di atas harus diulangi untuk setiap permukaan lokasi yang relevan.

3.22.2.2 Metode untuk mengukur resistans isolasi lantai dan dinding

Sebuah tester isolasi magneto-ohmmeter atau dengan tenaga baterai yang memberikan tegangan tanpa beban kira-kira 500 V (atau 1000 V jika tegangan pengenalan instalasi melebihi 500 V) digunakan sebagai sumber arus searah (a.s.).

Resistans diukur di antara elektrode uji dan penghantar proteksi instalasi.

CATATAN Direkomendasikan bahwa pengujian dilakukan sebelum penerapan perlakuan pada permukaan (vernisi, cat atau produk serupa).

3.22.2.3 Elektrode terdiri atas sebuah pelat logam bujur sangkar berukuran 250 x 250 mm dan kertas atau kain penyerap air basah berukuran 270 x 270 mm yang ditempatkan antara pelat logam dan permukaan yang akan diuji.

Selama pengukuran, suatu daya (beban) kira-kira sebesar 750 N (sekitar 75 kg, untuk lantai) atau 250 N (sekitar 25 kg, untuk dinding) diterapkan di atas pelat logam tersebut. Untuk meratakan beban, dapat digunakan kayu yang diletakkan di atas pelat logam.

3.23 Proteksi dari efek termal

3.23.1 Umum

3.23.1.1 Manusia, perlengkapan magun (terpasang tetap), dan bahan magun (terpasang tetap) yang berdekatan dengan perlengkapan listrik harus diberi proteksi dari efek panas yang berbahaya yang dihasilkan oleh perlengkapan listrik, atau radiasi termal, terutama efek berikut ini:

- a) pembakaran atau penurunan mutu (degradasi) bahan;
- b) resiko luka bakar;
- c) pemburukan fungsi keselamatan dari perlengkapan yang terpasang.

CATATAN Proteksi dari arus lebih diuraikan dalam 3.24

3.23.2 Proteksi dari kebakaran

3.23.2.1 Perlengkapan listrik tidak boleh menimbulkan bahaya kebakaran pada bahan yang berada di dekatnya.

Setiap instruksi pemasangan yang relevan dari pabrikan harus dipatuhi sebagai tambahan persyaratan.

3.23.2.2 Jika perlengkapan magun (terpasang tetap) dapat mencapai suhu permukaan yang dapat menyebabkan bahaya kebakaran pada bahan yang berada didekatnya, maka perlengkapan harus :

- a) dipasang pada atau dalam bahan yang akan tahan terhadap suhu tersebut dan mempunyai konduktans termal yang rendah, atau
- b) diberi tabir terhadap elemen konstruksi bangunan, yang terbuat dari bahan yang akan tahan terhadap suhu tersebut dan mempunyai konduktans termal yang rendah;
- c) dipasang sedemikian rupa agar memungkinkan disipasi panas yang aman pada jarak yang cukup dari setiap bahan yang dapat terkena efek termal yang merusak karena suhu tersebut, dan setiap sarana penyangga mempunyai konduktans termal yang rendah.

3.23.2.3 Jika busur api atau latu (percikan api) dapat dipancarkan oleh perlengkapan yang dalam pelayanan normal terhubung secara permanen, maka perlengkapan harus :

- a) seluruhnya terselungkup dalam bahan tahan busur api, atau
- b) diberi tabir oleh bahan tahan busur api terhadap elemen bangunan yang dapat terkena efek termal yang merusak dari busur api, atau
- c) dipasang sedemikian rupa agar memungkinkan pemadaman busur api dengan aman pada jarak yang cukup dari elemen bangunan yang dapat terkena efek termal yang merusak dari busur api tersebut.

Bahan tahan busur api yang digunakan untuk tindakan proteksi ini harus tidak dapat terbakar, berkonduktivitas termal rendah, dan mempunyai tebal yang memadai untuk memberikan kestabilan mekanis.

3.23.2.4 Perlengkapan magun (terpasang tetap) yang menyebabkan pemusatan atau konsentrasi panas harus berada pada jarak yang cukup dari setiap benda atau bagian bangunan magun (terpasang tetap), sehingga benda atau elemen bangunan tersebut dalam kondisi normal tidak dapat terkena suhu yang berbahaya.

3.23.2.5 Bila mana perlengkapan listrik dalam satu lokasi berisi cairan yang mudah terbakar dalam jumlah yang signifikan, maka harus diambil tindakan pencegahan untuk mencegah cairan yang terbakar dan hasil pembakaran cairan (api, asap, gas beracun) menyebar ke bagian bangunan yang lain.

CATATAN :

- a) Contoh tindakan pencegahan tersebut adalah :
 - 1) lubang drainase untuk menampung kebocoran cairan dan menjamin pemadamannya saat terjadi kebakaran, atau
 - 2) instalasi perlengkapan dalam ruang tahan api yang memadai dan diberi penghalang atau sarana lain untuk mencegah cairan yang terbakar menyebar ke bagian bangunan yang lain, ruang tersebut berventilasi hanya ke atmosfer luar.
- b) Batas terendah yang dapat diterima untuk jumlah yang signifikan umumnya adalah 25 liter.
- c) Bila kurang dari 25 liter, suatu susunan yang mencegah keluarnya cairan telah memadai.
- d) Dianjurkan untuk memutus suplai pada saat mulai terjadi kebakaran.

3.23.3 Proteksi dari luka bakar

3.23.3.1 Bagian perlengkapan listrik yang dapat terjangkau dalam jangkauan tangan tidak boleh mencapai suhu yang mungkin menyebabkan luka bakar pada manusia, dan harus memenuhi batas yang sesuai yang dinyatakan dalam Tabel 3.23-1. Semua bagian instalasi yang dalam pelayanan normal, bahkan selama periode singkat, mungkin mencapai suhu yang melampaui batas yang dinyatakan dalam Tabel 3.23-1 harus dilindungi untuk mencegah setiap sentuh yang tidak disengaja.

Bagaimanapun, nilai dalam Tabel 3.23-1 tidak berlaku untuk perlengkapan yang memenuhi batas suhu untuk permukaan terbuka bagi keselamatan dari luka bakar yang ditetapkan dalam standar untuk jenis perlengkapan tersebut.

Tabel 3.23-1 Batas suhu dalam pelayanan normal untuk bagian perlengkapan yang dapat terjangkau dalam jangkauan tangan

Bagian yang dapat terjangkau	Bahan dari permukaan yang dapat terjangkau	Suhu maksimum
		°C
Sarana genggam operasi	Logam	55
	Bukan logam	65
Bagian yang dimaksudkan untuk disentuh tetapi bukan sarana genggam	Logam	70
	Bukan logam	80
Bagian yang tidak perlu disentuh untuk operasi normal	Logam	80
	Bukan logam	90

3.23.4 Proteksi dari panas lebih

3.23.4.1 Sistem pemanas udara paksa

3.23.4.1.1 Sistem pemanas udara paksa harus sedemikian sehingga elemen pemanasnya, selain daripada pemanas gudang sentral, tidak dapat diaktifkan sampai aliran udara yang ditentukan telah tersedia dan dinonaktifkan jika aliran udara dihentikan.

Sebagai tambahan, sistem tersebut harus mempunyai dua gawai pembatas suhu yang independen satu sama lain untuk mencegah dilampauinya suhu yang diizinkan di dalam pipa (dak) udara.

3.23.4.1.2 Rangka dan selungkup elemen pemanas harus dari bahan yang tidak dapat terbakar.

3.23.4.2 Peranti yang menghasilkan air panas atau uap panas

Seluruh peranti yang menghasilkan air panas atau uap panas harus diberi proteksi dari panas lebih ketika desain atau pemasangan dalam semua kondisi pelayanan. Kecuali jika peranti secara keseluruhan memenuhi standar yang sesuai, maka proteksi harus dengan sarana gawai tanpa setelan ulang sendiri yang sesuai, yang berfungsi tidak tergantung dari termostat.

Jika peranti tidak mempunyai keluaran yang bebas, maka harus dilengkapi juga dengan gawai yang membatasi tekanan air.

3.24 Proteksi dari arus lebih

3.24.1 Umum

Penghantar aktif harus diberi proteksi dengan satu atau lebih gawai untuk pemutusan suplai secara otomatis pada saat beban lebih (lihat 3.24.3) dan hubung pendek (lihat 3.24.4) kecuali dalam hal arus lebih dibatasi sesuai dengan 3.24.6. Selanjutnya proteksi dari beban lebih dan dari hubung pendek harus dikoordinasikan sesuai dengan 3.24.5.

CATATAN :

- a) Penghantar aktif yang diberi proteksi dari beban lebih sesuai dengan 3.24.3 dianggap juga diberi proteksi dari gangguan yang mungkin menyebabkan arus lebih dengan besaran yang sama dengan arus beban lebih.
- b) Untuk kondisi penerapannya lihat IEC 364-4-473.
- c) Proteksi penghantar sesuai dengan ini tidak perlu memproteksi perlengkapan yang dihubungkan pada penghantar.

3.24.2 Sifat gawai proteksi

Gawai proteksi harus dari jenis yang sesuai seperti ditunjukkan dalam 3.24.2.1 sampai dengan 3.24.2.3.

3.24.2.1 Gawai yang menjamin proteksi dari arus beban lebih maupun arus hubung pendek. Gawai proteksi ini harus mampu memutus setiap arus lebih sampai dengan dan termasuk arus hubung pendek prospektif pada titik gawai dipasang. Gawai ini harus memenuhi persyaratan 3.24.3 dan 3.24.4.3.1.

Gawai proteksi tersebut dapat berupa :

- a) pemutus sirkit dilengkapi dengan pelepas beban lebih (lihat IEC 157-1);
- b) pemutus sirkit bersama dengan pengaman lebur (PL atau sekering);
- c) jenis PL atau kawat PL sebagai berikut :
 - 1) pengaman lebur gl yang diuji sesuai dengan IEC 269-2 dan IEC 269-3.
 - 2) pengaman lebur yang mempunyai kawat PL gII diuji dengan perlengkapan (rig) uji khusus yang mempunyai konduktivitas termal tinggi.

CATATAN :

- a) PL terdiri dari semua bagian yang membentuk gawai proteksi yang lengkap.
- b) Penggunaan gawai proteksi yang mempunyai kapasitas pemutusan di bawah nilai arus hubung pendek prospektif di tempat pemasangannya harus memenuhi persyaratan 3.24.4.3.1

3.24.2.2 Gawai yang hanya menjamin proteksi dari arus beban lebih

Gawai tersebut umumnya berupa gawai proteksi waktu tunda invers yang kapasitas pemutusannya dapat berada di bawah nilai arus hubung pendek prospektif pada titik dimana gawai tersebut dipasang. Gawai ini harus memenuhi persyaratan 3.24.3.

3.24.2.3 Gawai yang hanya menjamin proteksi dari arus hubung pendek

Gawai tersebut dapat dipasang jika proteksi beban lebih dicapai dengan sarana lain atau jika IEC 364-4-473 mengizinkan proteksi beban lebih ditiadakan. Gawai tersebut harus mampu memutuskan arus hubung pendek sampai dengan dan termasuk arus hubung pendek prospektif dan harus memenuhi persyaratan 3.24.4.

3.24.3 Proteksi dari arus beban lebih

3.24.3.1 Umum

Gawai proteksi harus disiapkan untuk memutuskan setiap arus beban lebih yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang merusak isolasi, sambungan, terminasi atau sekeliling penghantar.

3.24.3.2 Koordinasi antara penghantar dan gawai proteksi

Karakteristik operasi suatu gawai yang memproteksi kabel terhadap beban lebih harus memenuhi dua kondisi sebagai berikut :

a) $I_B \leq I_n \leq I_z$;

b) $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$;

dengan :

I_B = arus yang mendasari desain sirkit.

I_z = kemampuan hantar arus (KHA) kontinu dari kabel (lihat BAB 7)

I_n = arus nominal dari gawai proteksi.

CATATAN 1 : Untuk gawai proteksi yang dapat diatur, arus nominal I_n adalah setelan arus yang dipilih.

I_2 = arus yang menjamin operasi efektif gawai proteksi; dalam praktek I_2 diambil sama dengan :

- 1) arus operasi dalam waktu konvensional untuk pemutus sirkit
- 2) arus pemutusan (peleburan) dalam waktu konvensional untuk PL jenis gl.
- 3) 0,9 kali arus pemutusan dalam waktu konvensional untuk PL jenis gll.

CATATAN 2 :

- a) Faktor 0,9 diperhitungkan terhadap pengaruh perbedaan pada kondisi pengujian antara PL jenis gl dan kawat PL jenis gll, sebab kawat PL jenis gll umumnya diuji dalam perlengkapan uji konvensional dimana kondisi pendinginannya lebih baik.
- b) Proteksi sesuai dengan Ayat ini tidak menjamin proteksi yang lengkap dalam hal tertentu, misalnya terhadap arus lebih terus menerus yang kurang dari I_2 , yang perlu menghasilkan pemecahan yang ekonomis. Oleh karena itu dianggap bahwa sirkit didesain sedemikian sehingga beban lebih kecil yang berdurasi lama tidak akan sering terjadi.

3.24.3.3 Proteksi penghantar paralel

Jika gawai proteksi yang sama memproteksi beberapa penghantar paralel, maka nilai I_z adalah jumlah KHA dari berbagai penghantar. Ketentuan ini hanya dapat diterapkan jika penghantar disusun sedemikian sehingga dapat mengalirkan arus yang sama.

3.24.4 Proteksi dari arus hubung pendek

3.24.4.1 Umum

Gawai proteksi harus disediakan untuk memutus setiap arus hubung pendek yang mengalir pada penghantar sirkit sebelum arus tersebut dapat menyebabkan bahaya karena efek termal dan mekanis yang terjadi pada penghantar dan hubungan.

3.24.4.2 Penentuan arus hubung pendek prospektif

Arus hubung pendek prospektif pada setiap titik instalasi yang relevan harus ditentukan. Hal ini dapat dilakukan dengan perhitungan atau dengan pengukuran.

3.24.4.3 Karakteristik gawai proteksi hubung pendek

Setiap gawai proteksi hubung pendek harus memenuhi kedua kondisi berikut ini :

3.24.4.3.1 Kapasitas pemutusan tidak boleh kurang dari arus hubung pendek prospektif pada tempat instalasinya, kecuali berlaku kondisi sebagai berikut :

Kapasitas pemutusan yang lebih rendah diizinkan jika gawai proteksi lain yang mempunyai kapasitas pemutusan yang diperlukan dipasang pada sisi suplai. Dalam hal ini, karakteristik gawai harus dikoordinasikan sedemikian sehingga energi yang dialirkan melalui kedua gawai tersebut tidak melampaui yang dapat ditahan oleh gawai pada sisi beban dan penghantar yang diamankan oleh kedua gawai tersebut tanpa kerusakan.

CATATAN Dalam hal tertentu seperti stres dinamik dan energi busur api mungkin perlu diperhitungkan karakteristik lain untuk gawai pada sisi beban. Rincian karakteristik yang memerlukan koordinasi dapat diperoleh dari pabrikan gawai yang bersangkutan.

3.24.4.3.2 Semua arus yang disebabkan hubung pendek yang terjadi pada setiap titik sirkit harus diputus dalam waktu yang tidak melampaui waktu yang membuat penghantar mencapai suhu batas yang dapat diterima.

Untuk hubung pendek yang berdurasi sampai dengan lima detik, maka waktu t (selama waktu tersebut arus hubung pendek yang ditentukan akan menaikkan suhu penghantar dari suhu tertinggi yang diizinkan dalam kerja normal sampai mencapai suhu batas) dapat dihitung dari rumus pendekatan sebagai berikut :

$$\sqrt{t} = k \bullet \frac{S}{I}$$

dengan :

t = durasi dalam detik.

S = luas penampang dalam mm^2

I = arus hubung pendek efektif dalam Ampere (dinyatakan sebagai nilai efektif).

k = 115 untuk penghantar tembaga diisolasi dengan PVC.

135 untuk penghantar tembaga diisolasi dengan karet biasa, karet butil, polietilen sambung silang (XLPE), dan karet etilenpropilen (EPR).

74 untuk penghantar aluminium diisolasi dengan PVC.

87 untuk penghantar aluminium diisolasi dengan karet biasa, karet butil, XLPE dan EPR.

115 untuk sambungan solder timah pada penghantar tembaga dengan suhu 160 °C.

CATATAN :

- a) Untuk durasi sangat pendek ($< 0,1$ detik) dimana asimetri arus adalah penting dan untuk gawai pembatas arus, $k^2 S^2$ harus lebih besar dari nilai energi yang melaluinya ($I^2 t$) yang ditentukan oleh pabrikan gawai proteksi.
- b) Arus nominal gawai proteksi hubung pendek dapat lebih besar dari KHA dari kabel.

3.24.5 Koordinasi proteksi beban lebih dan hubung pendek

3.24.5.1 Proteksi diberikan oleh satu gawai

Jika gawai proteksi beban lebih memenuhi 3.24.3 dan mempunyai kapasitas pemutusan tidak kurang dari nilai arus hubung pendek prospektif di titik pemasangannya, maka dianggap bahwa memproteksi penghantar pada sisi beban di titik tersebut juga memproteksi terhadap arus hubung pendek.

CATATAN Asumsi ini belum tentu sah untuk seluruh julat arus hubung pendek; keabsahannya harus diperiksa sesuai dengan persyaratannya 3.24.4.3.

3.24.5.2 Proteksi diberikan oleh gawai terpisah

Persyaratan 3.24.3 dan 3.24.4 masing-masing berlaku untuk gawai proteksi beban lebih dan untuk gawai proteksi hubung pendek.

Karakteristik gawai harus dikoordinasikan sedemikian sehingga energi yang mengalir melalui gawai proteksi hubung pendek tidak melampaui yang dapat ditahan oleh gawai proteksi beban lebih tanpa kerusakan.

CATATAN Persyaratan ini tidak meniadakan jenis koordinasi yang ditentukan dalam IEC 292-1A.

3.24.6 Pembatasan arus lebih dengan karakteristik suplai

Penghantar dianggap telah diberi proteksi terhadap arus beban lebih dan arus hubung pendek jika disuplai dari suatu sumber yang tidak mampu menyuplai suatu arus yang melampaui KHA penghantar (misalnya transformator bel tertentu, transformator las tertentu dan jenis tertentu pembangkit termolistrik).

3.25 Proteksi instalasi listrik dari tegangan lebih akibat petir

3.25.1 Umum

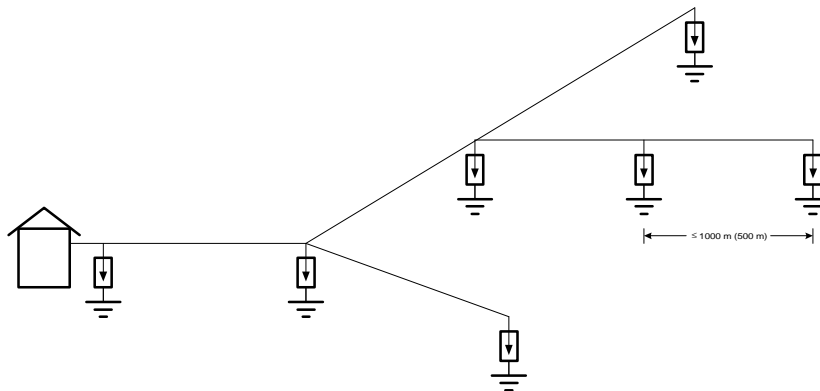
3.25.1.1 Pasal ini mengatur proteksi instalasi listrik dari tegangan lebih yang berasal dari penghantar saluran udara tegangan rendah dan instalasi penangkal petir bangunan akibat sambaran petir.

3.25.2 Persyaratan

3.25.2.1 Proteksi instalasi listrik yang dihubungkan dengan penghantar saluran udara tegangan rendah (bila diperlukan) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

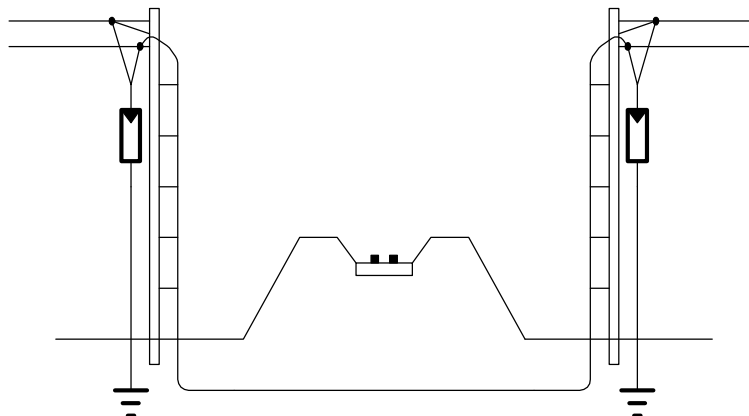
3.25.2.1.1 Penempatan arester pada saluran udara dilaksanakan sebagai berikut :

- a) Arestor sedapat mungkin dipasang pada titik percabangan, dan pada ujung-ujung saluran yang panjang, baik saluran utama maupun saluran cabang. Jarak antara arester yang satu dan yang lain tidak boleh melebihi 1000 meter dan di daerah banyak petir, jaraknya tidak boleh lebih dari 500 meter (lihat Gambar 3.25-1).



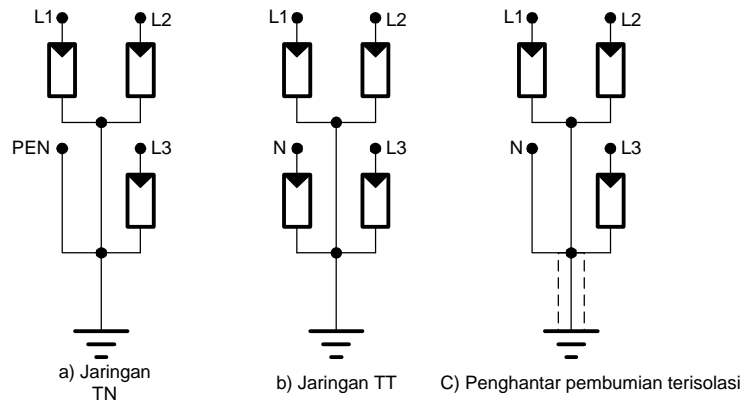
Gambar 3.25-1 Penempatan arester pada saluran udara tegangan rendah

- b) Jika terdapat kabel tanah sebagai bagian dari sistem, arester dipasang pada kedua sisi ujung kabel (lihat Gambar 3.25-2).



Gambar 3.25-2 Penempatan arester pada ujung kabel

- c) Pada jaringan dengan sistem TN, arester dipasang pada ketiga penghantar fase. Penghantar bumi arester dihubungkan dengan penghantar netral dan kemudian dibumikan.
- d) Pada jaringan yang menggunakan sistem TT, selain arester seperti yang disebutkan dalam butir c) di atas, harus dipasang pula arester tambahan yang menghubungkan penghantar netral dengan bumi (lihat Gambar 3.25-3). Bila penghantar netral pada tempat pemasangan arester tersebut dibumikan, maka arester pada penghantar netral tidak diperlukan, tetapi penghantar buminya harus diisolasi.

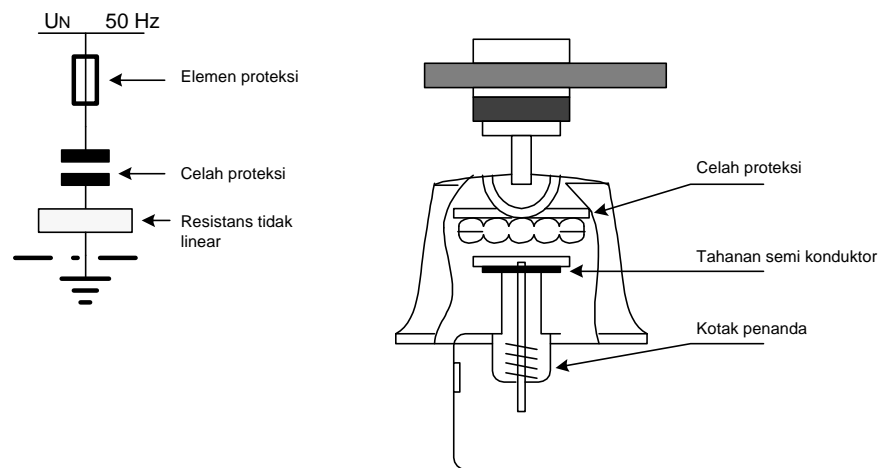


Gambar 3.25-3 Susunan pemasangan arester

3.25.2.1.2 Untuk mendapatkan efek proteksi yang baik dari arester, maka arester tersebut harus dibumikan melalui penghantar pembumi yang sependek-pendeknya, dan dengan resistans pembumian sekecil mungkin.

CATATAN Elektrode bumi yang sudah ada, misalnya instalasi penangkal petir dan jaringan pipa air minum dari logam yang ditanam yang masih digunakan dan memenuhi syarat, dapat dipakai untuk pembumian arester.

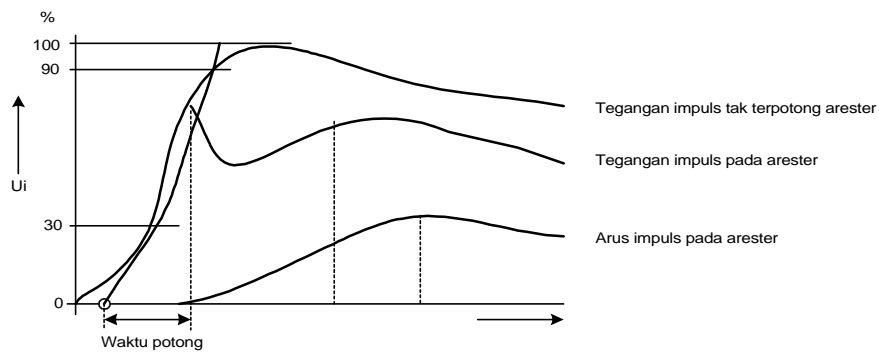
3.25.2.1.3 Arestor yang dipasang pada saluran udara tegangan rendah digunakan untuk membatasi tegangan lebih, dan pada prinsipnya terdiri atas rangkaian seri celah proteksi, tahanan tidak linear dan elemen proteksi (lihat Gambar 3.25-4). Dengan pemasangan arester maka tegangan lebih impuls akibat petir secara aman akan disalurkan ke bumi. Karakteristik arester yang biasa digunakan pada saluran udara tegangan rendah saat ini dapat dilihat pada Gambar 3.25-5.



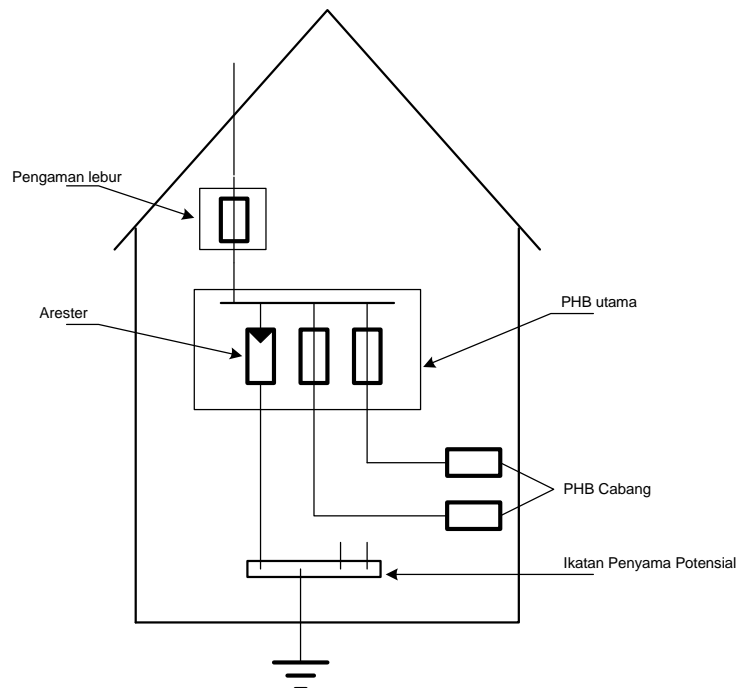
Gambar 3.25-4 Prinsip dasar dan tipikal arester saluran udara tegangan rendah

3.25.2.2 Penempatan arester pada instalasi konsumen dilaksanakan sebagai berikut :

3.25.2.2.1 Arestor sedapat mungkin dipasang di dekat titik masuk instalasi rumah dan sedapat mungkin ditempatkan bersama di dalam PHB utama. Arestor harus dibumikan dengan penghantar pembumian yang sependek mungkin dan pembumian arester harus disatukan dengan pembumian instalasi listrik. Penyatuan pembumian ini dianjurkan dengan menggunakan ikatan penyama potensial (IPP) yang dibumikan (lihat Gambar 3.25-6). Arestor harus dipasang di tempat yang tidak akan menjadi elemen pemicu kebakaran.



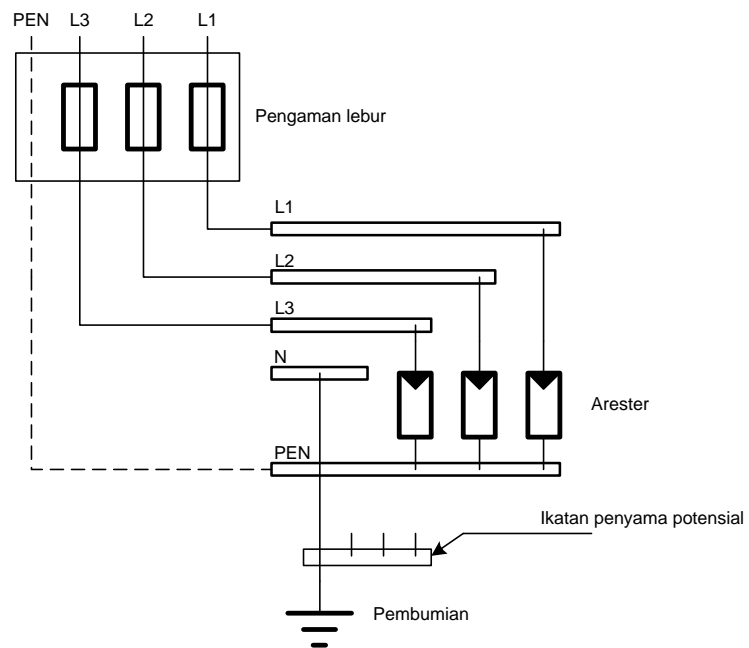
Gambar 3.25-5 Karakteristik kerja arrester



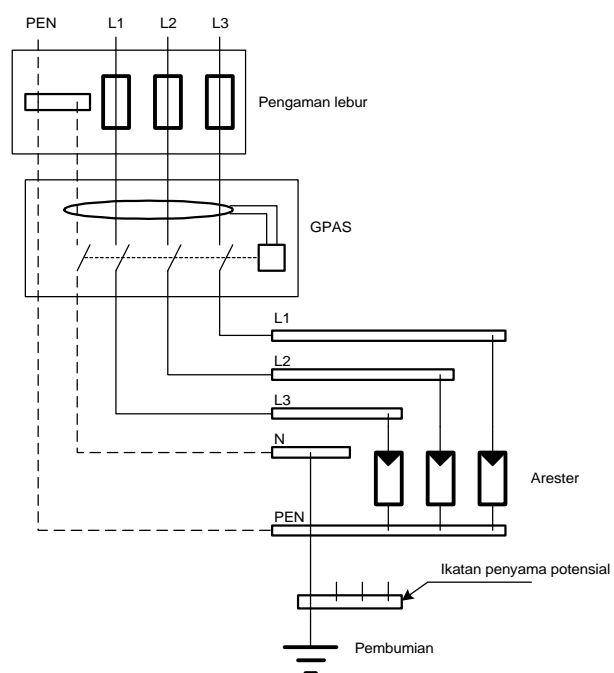
Gambar 3.25-6 Penempatan arrester pada instalasi konsumen

3.25.2.2.2 Berbagai kemungkinan penempatan arrester untuk sistem TN, TT dan berlaku prinsip yang disampaikan pada Gambar 3.25-3. Gambar 3.25-7 memperlihatkan contoh penempatan arrester pada instalasi konsumen yang dipadukan dengan gawai proteksi arus lebih (GPAL) dan Gambar 3.25-8 memperlihatkan contoh penempatan arrester yang dipadukan dengan gawai proteksi arus sisa (GPAS).

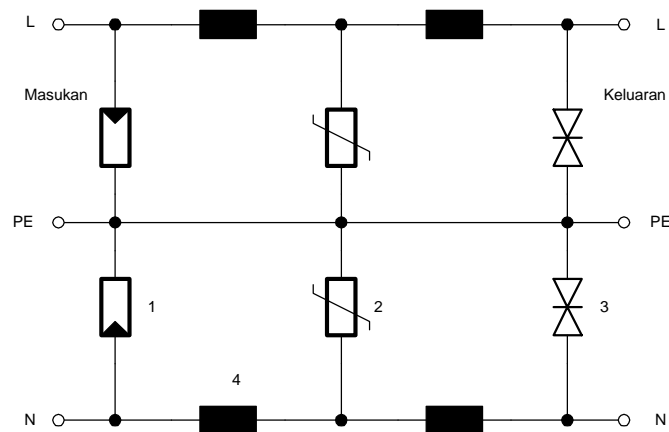
3.25.2.3 Penempatan arrester pada instalasi sistem informasi dilaksanakan sebagai berikut : Aparat elektronik pada instalasi sistem informasi seperti aparat instrumentasi, komputer dan komunikasi sangat peka terhadap pembebanan tegangan lebih dan memerlukan proteksi dari tegangan lebih dengan menggunakan arrester khusus. Arrester tersebut dapat berupa arrester isi gas, varistor, zener diode atau gabungannya. Gambar 3.25-9 memperlihatkan rangkaian gabungan proteksi tegangan lebih yang menggunakan arrester gas, varistor dan zener diode dan Gambar 3.25-10 memperlihatkan contoh penempatan arrester lengkap pada instalasi konsumen dan instalasi sistem informasi.



Gambar 3.25-7 Penempatan arrester untuk sistem TN



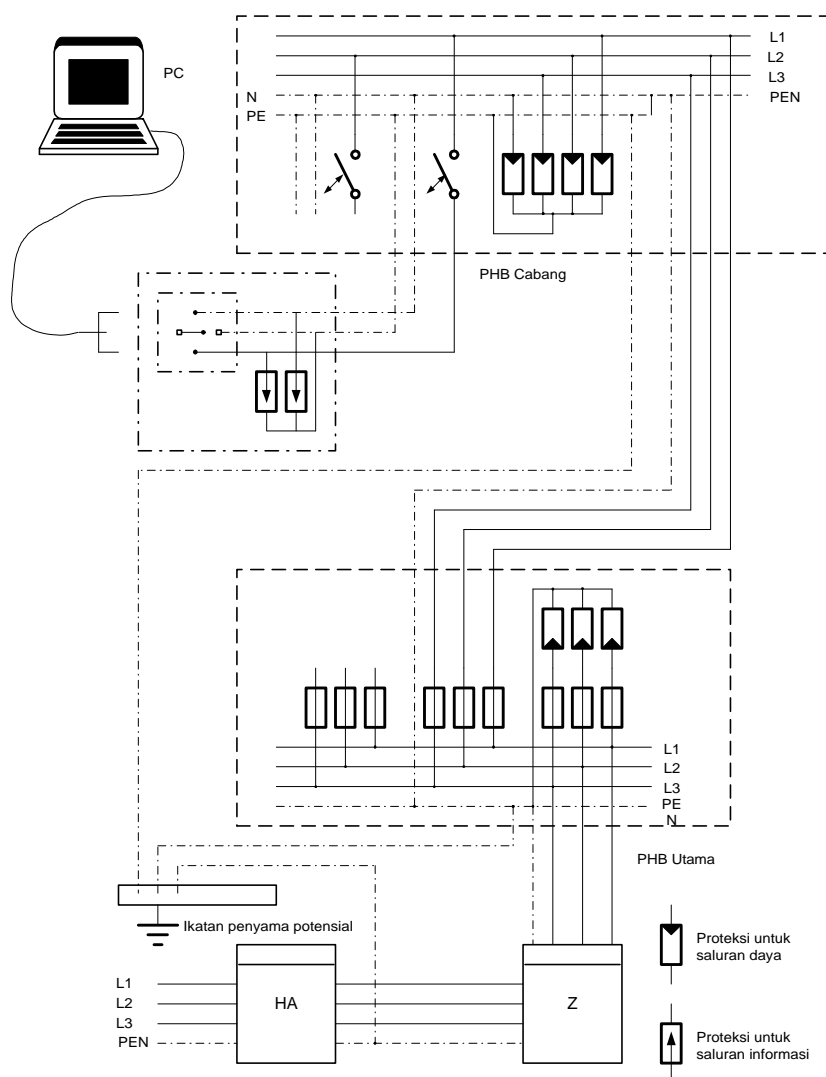
Gambar 3.25-8 Penempatan arrester untuk sistem TT



Keterangan

1. Arester gas
2. Varistor
3. Zener diode
4. Induktans

Gambar 3.25-9 Rangkaian suatu arester gabungan



Gambar 3.25-10 Penempatan arester secara selektif

3.25.2.4 Proteksi saluran dan instalasi listrik pada bangunan yang menggunakan instalasi penangkal petir harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

3.25.2.4.1 Instalasi listrik pada bangunan yang menggunakan instalasi penangkal petir :

- a) Harus dipasang pada jarak yang cukup jauh dari instalasi penangkal petir tersebut, atau
- b) Bila ketentuan pada butir 1) tersebut di atas tidak dapat dipenuhi, instalasi listrik pada semua titik yang berdekatan dengan instalasi penangkal petir harus dihubungkan dengan instalasi penangkal petir melalui celah proteksi (perhatikan juga peraturan instalasi penangkal petir yang berlaku).

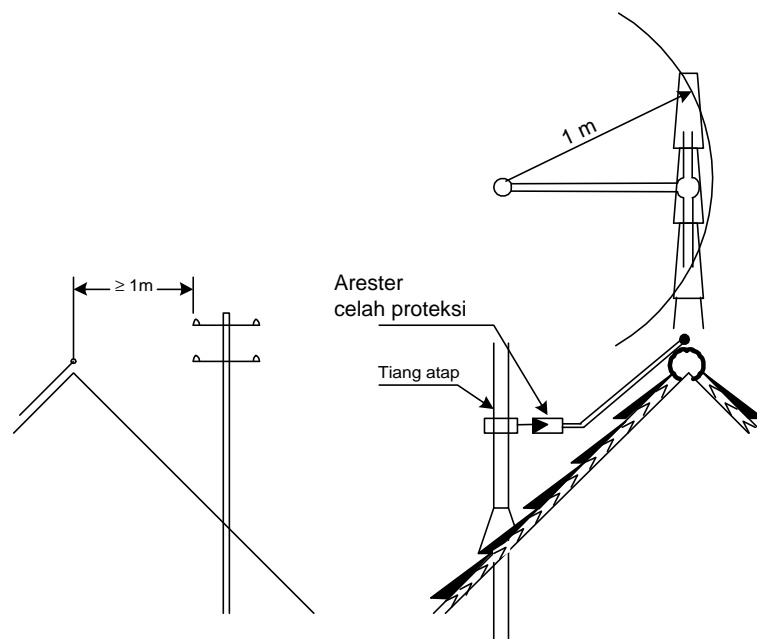
CATATAN Pada bangunan yang mempunyai instalasi penangkal petir dan instalasi listrik terdapat bahaya loncatan muatan listrik dari instalasi petir ke instalasi listrik.

3.25.2.4.2 Tiang atap saluran listrik tidak boleh disambung secara konduktif dengan instalasi penangkal petir. Jarak antara tiang atap dan instalasi penangkal petir harus sekurang-kurangnya 1 meter (lihat Gambar 3.25-11).

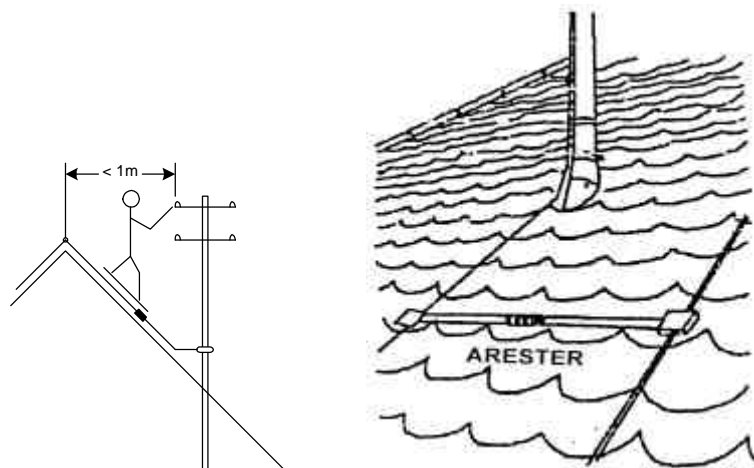
Bila jarak 1 meter tersebut tidak dapat dicapai, maka tiang atap harus dihubungkan dengan instalasi penangkal petir melalui celah proteksi (lihat Gambar 3.25-12).

Dalam hal ini penghantar yang menghubungkan tiang atap ke instalasi penangkal petir harus dilindungi terhadap kerusakan mekanis. Sebagai contoh bentuk celah proteksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.25-13.

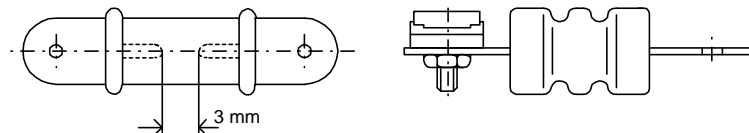
CATATAN Tindakan proteksi ini dilakukan untuk mencegah kecelakaan akibat timbulnya tegangan yang meloncat ke bagian lain dan untuk mencegah terjadinya kebakaran yang ditimbulkan oleh busur api hubungan bumi.



Gambar 3.25-11 Jarak antara tiang atap dan instalasi penangkal petir



Gambar 3.25-12 Tiang atap dihubungkan dengan instalasi penangkal petir melalui arester celah proteksi



Gambar 3.25-13 Contoh arester celah proteksi

3.25.2.5 Hubungan antar pembumi

3.25.2.5.1 Pembumi instalasi penangkal petir dan pembumi arester boleh dihubungkan secara konduktif dengan pembumi instalasi listrik.

3.25.2.5.2 Bila dalam instalasi listrik tersebut terdapat penghantar ikatan penyama potensial, maka penghantar ikatan penyama potensial itu harus dihubungkan dengan pembumi instalasi penangkal petir dan pembumi celah proteksi.