

Sistem proteksi petir pada bangunan gedung

Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan	1
3 Istilah dan definisi.....	2
4 Parameter petir.....	7
4.1 Parameter arus petir digunakan untuk penentuan dimensi sistem proteksi petir (SPP).....	7
4.2 Densitas sambaran petir ke tanah	8
5 Pemilihan tingkat proteksi petir	8
5.1 Umum.....	8
5.2 Frekuensi sambaran petir yang dibolehkan (N_c) pada bangunan gedung	8
5.3 Frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan pada bangunan gedung	8
5.4 Prosedur pemilihan SPP.....	11
6 Rancangan sistem proteksi petir	14
6.1 Umum.....	14
6.2 Zona proteksi petir.....	15
6.3 Prosedur perencanaan.....	15
6.4 Konsultasi.....	16
6.5 Rancangan SPP eksternal	20
6.6 Rancangan SPP internal	33
6.7 Persyaratan listrik dan mekanikal.....	43
6.8 Perhitungan rancangan.....	45
7 Pemilihan bahan.....	50
7.1 Bahan	50
7.2 Proteksi terhadap korosi.....	50
7.3 Logam dalam tanah dan udara	51
7.4 Logam dalam beton.....	52
8 Konstruksi SPP eksternal.....	53
8.1 Sistem terminasi udara.....	53
8.2 Sistem konduktor penyalur.....	58
8.3 Sistem terminasi bumi	63

9	Konstruksi SPP internal.....	70
9.1	Ikatan penyama potensial dari bagian konduktif internal.....	70
9.2	IPP untuk instalasi eksternal	71
10	Pemeliharaan sistem proteksi petir	89
10.1	Penjelasan umum.....	89
10.2	Prosedur pemeliharaan	90
10.3	Dokumentasi pemeliharaan.....	90
11	Inspeksi sistem proteksi petir	90
11.1	Penjelasan umum.....	90
11.2	Tujuan inspeksi	91
11.3	Tahapan pelaksanaan inspeksi.....	91
11.4	Prosedur inspeksi.....	92
11.5	Dokumentasi inspeksi	93
Lampiran A		94
Lampiran B	Keselamatan Personil terhadap petir	100
Lampiran C	Struktur beton bertulang	102
Lampiran D	Ringkasan/rangkuman spesifikasi dan tindakan persetujuan	105
Lampiran E	Tabel-Manajemen proteksi petir	106

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI), Sistem proteksi petir pada bangunan gedung, disusun oleh Panitia Teknik 21S Konstruksi Bangunan Sipil dan SNI ini telah dikonsensuskan diantara para *stakeholder* pada tanggal 17 Juni 2003.

Standar ini mengambil acuan dari IEC 6-1024, *Protection of structures against lightning – Part 1, General principles*, IEC 6-1312-1, *Protection against lightning – Part 1, General principles*, dan IEC TR 6-1662, *Assessment of the risk of damage due to lightning*.

Standar ini merupakan bentuk nyata aktualisasi dari Undang-Undang Republik Indonesia, Nomor 28, Tahun 2002, tentang Bangunan Gedung, khususnya yang menyangkut persyaratan keselamatan bangunan gedung..

Apabila dalam penerapan standar ini terdapat hal-hal yang meragukan, diharapkan dapat membandingkan secara langsung dengan substansi yang terdapat dalam acuan tersebut, atau dengan edisi yang terakhir, kecuali hal-hal yang disesuaikan dengan kondisi Indonesia.

Pendahuluan

Standar Nasional Indonesia (SNI), Sistem proteksi petir pada bangunan gedung, disusun dalam rangka meningkatkan usaha pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung.

Pemerintah, dan para *stakeholder* lain dari Asosiasi Profesi, Konsultan, Pemborong, *Supplier*, Pengelola Bangunan Gedung dan Perguruan Tinggi, telah bersepakat dalam penyusunan dan substansi dari standar ini yang tertuang pada hasil konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 17 Juni 2003.

Diharapkan standar ini dapat dimanfaatkan oleh para perencana, pelaksana, pengawas dan pengelola bangunan gedung dalam menerapkan konsep-konsep sistem pasokan daya listrik darurat menggunakan energi tersimpan, sehingga sasaran keselamatan pada bangunan dapat tercapai.

Sistem proteksi petir pada bangunan gedung

1 Ruang lingkup

1.1 Standar ini menetapkan persyaratan untuk sistem proteksi petir yang berlaku secara umum pada bangunan gedung dan peralatan yang ada di dalamnya.

1.2 Tujuan standar ini adalah memberikan petunjuk untuk perancangan, instalasi, pemeliharaan sistem efektif untuk proteksi bangunan gedung dan peralatan listrik terhadap petir dan inspeksi sistem proteksi petir.

1.3 Pengecualian

Standar ini tidak mencakup penerapan pada :

- a) sistem rel kereta api;
- b) sistem transmisi, distribusi, dan pembangkitan listrik di luar bangunan;
- c) sistem telekomunikasi di luar bangunan ; dan
- d) instalasi kendaraan, kapal laut, pesawat udara, dan lepas pantai.

1.4 Prinsip proteksi petir

1.4.1 Perlu diperhatikan bahwa sistem proteksi petir tidaklah dapat mencegah terjadinya petir.

1.4.2 Suatu sistem proteksi petir yang dirancang dan dipasang sesuai dengan standar ini, tidak dapat menjamin proteksi terhadap bangunan gedung, manusia atau obyek secara mutlak; namun demikian penggunaan Standar ini akan mengurangi secara nyata risiko kerusakan yang disebabkan petir terhadap bangunan gedung yang diproteksinya.

1.4.3 Jenis dan lokasi sistem proteksi petir sebaiknya dipertimbangkan secara seksama pada tahap perancangan suatu bangunan gedung baru, sehingga bagian bangunan gedung yang secara listrik bersifat konduktif dapat dimanfaatkan secara maksimum. Dengan demikian rancangan dan konstruksi instalasi secara keseluruhan akan lebih mudah dilaksanakan dan efektivitas sistem proteksi petir dapat ditingkatkan dengan biaya dan usaha yang minimum.

1.4.4 Penjelasan tentang fenomena petir dapat dilihat pada lampiran A.

2 Acuan

IEC 6-1024-1, *Protection of structures against lightning – Part 1: General Principles.*

IEC 6-1024-1-1, *Protection of structures against lightning – Part 1: General Principles. Section 1 : Guide A – Selection levels for lightning protection systems.*

IEC 6-1024-1-2, *Protection of structures against lightning – Part 1: General Principles. Section 2 : Guide B – Design, Installation, Maintenance and Inspection of lightning protection systems.*

IEC 6-1312-1, *Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General Principles.*

IEC TR 6-1662, *Assessment of the risk of damage due to lightning*.

SNI 03-6652-2002, Tata cara perencanaan proteksi bangunan dan peralatan terhadap sambaran petir.

SNI 04-0225-2000, Persyaratan umum instalasi listrik

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam standar ini sebagai berikut:

3.1

bangunan gedung

wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus

3.2

bangunan gedung biasa

bangunan gedung yang digunakan untuk keperluan yang bersifat umum, misalnya komersial, industri, pertanian, kelembagaan atau perumahan

3.3

frekuensi sambaran petir yang dibolehkan (N_c)

frekuensi sambaran petir rata-rata tahunan maksimum yang masih dibolehkan yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan gedung

3.4

sistem terminasi-udara

bagian SPP eksternal yang dimaksudkan untuk menghadang sambaran petir

3.5

kecuraman rata-rata arus petir (di/dt)

selisih antara nilai arus petir pada awal dan pada akhir interval waktu yang ditentukan $[i(t_2) - i(t_1)]$ dibagi dengan interval waktu yang ditentukan $[t_2 - t_1]$

3.6

ikatan

konduktor yang dimaksudkan untuk menghubungkan secara listrik berbagai bagian dari rangka logam

3.7

batang ikatan penyama potensial (IPP)

batang tempat instalasi logam, bagian konduktif ekstra (BKE), saluran tenaga listrik dan telekomunikasi serta kabel lainnya dapat diikatkan ke SPP

3.8.

konduktor IPP

konduktor untuk hubungan antara bagian yang dihubungkan dengan batang IPP dan untuk hubungan ke konektor IPP, konduktor untuk menyamakan potensial

3.9**sistem pembumian bersama**

semua instalasi logam bangunan gedung yang disalinghubungkan, termasuk sistem proteksi petir (SPP), dihubungkan dengan sistem terminasi bumi

3.10**korosi logam**

semua jenis korosi, galvanis atau kimia

3.11**latu berbahaya**

luaran listrik yang lebih besar dari batas yang diizinkan yang disebabkan oleh arus petir di dalam ruang terproteksi

3.12**sambaran petir langsung**

sambaran petir yang menyambar langsung bangunan gedung atau sistem proteksi petir (SPP)-nya

3.13**frekuensi sambaran petir langsung (N_d)**

jumlah sambaran petir langsung rata-rata tahunan yang diperkirakan pada bangunan gedung

3.14**konduktor penyalur**

bagian SPP eksternal yang dimaksudkan untuk mengalirkan arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem terminasi bumi

3.15**elektrode bumi**

bagian atau kelompok bagian sistem terminasi bumi yang memberikan kontak listrik langsung dan menyebarkan arus petir ke bumi

3.16**sistem terminasi-bumi**

bagian dari SPP eksternal yang dimaksudkan untuk mengalirkan dan menyebarkan arus petir ke bumi

CATATAN Untuk tanah yang mempunyai resistivitas tanah yang tinggi, sistem terminasi bumi dapat menghadang arus petir yang mengalir melalui tanah akibat sambaran petir ke bumi di dekatnya

3.17**tegangan terminasi-bumi**

beda potensial antara sistem terminasi bumi dan bumi

3.18**efisiensi SPP (E)**

rasio antara jumlah sambaran petir langsung rata-rata tahunan yang tidak dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan gedung terhadap jumlah sambaran langsung petir pada bangunan gedung

3.19**ikatan penyama potensial (IPP)**

bagian dari suatu SPP internal yang mengurangi beda potensial yang disebabkan oleh arus petir

3.20

resistans bumi setara

rasio nilai puncak tegangan terminasi-bumi dan arus terminasi-bumi yang pada umumnya tidak terjadi secara serentak. Secara konvensional digunakan untuk menunjukkan efisiensi sistem terminasi-bumi

3.21

bagian konduktif eksternal,

bagian logam yang masuk atau keluar dari bangunan gedung yang diproteksi, seperti jaringan pipa, tirai kabel, dak logam dan sebagainya yang dapat menghantarkan bagian arus petir

3.22

sistem proteksi petir (SPP) eksternal

sistem yang terdiri dari sistem terminasi-udara, sistem konduktor penyalur dan sistem terminasi-bumi

3.23

SPP eksternal terisolasi dari ruang terproteksi

SPP yang sistem terminasi udara dan sistem konduktor penyalurnya ditempatkan sedemikian sehingga jalur arus petir tidak mempunyai kontak dengan ruang terproteksi

3.24

SPP eksternal tak terisolasi dari ruang terproteksi

SPP yang sistem terminasi udara dan sistem konduktor penyalurnya ditempatkan sedemikian sehingga jalur arus petir dapat kontak dengan ruang terproteksi

3.25

durasi sambaran (T)

waktu yang dibutuhkan oleh arus petir mengalir pada titik sambaran

3.26

elektroda bumi pondasi

elektroda bumi yang ditanamkan pada pondasi beton bangunan gedung

3.27

frekuensi kerusakan (N_p)

jumlah sambaran rata-rata tahunan yang menyebabkan kerusakan pada bangunan gedung

3.28

muatan impuls (Q_{impuls})

integral waktu arus petir untuk bagian impuls selama durasi sambaran arus

3.29

frekuensi sambaran petir tak langsung (N_i)

jumlah sambaran petir tidak langsung tahunan yang diperkirakan

3.30

konduktor penyalur internal

konduktor penyalur yang terletak di dalam bangunan gedung yang diproteksi terhadap petir, misalnya sebuah kolom beton bertulang yang digunakan sebagai konduktor penyalur alami

3.31**SPP internal**

semua tindakan tambahan yang diberikan pada SPP eksternal yang akan mengurangi efek elektromagnetik yang ditimbulkan arus petir pada ruang terproteksi

3.32**sambungan**

penyambungan mekanis dan/atau listrik antara dua bagian sistem atau lebih

3.33**arus petir (i)**

arus yang mengalir pada titik sambaran

3.34**frekuensi sambaran petir pada bangunan gedung (N)**

jumlah sambaran petir langsung dan tak langsung rata-rata tahunan yang diperkirakan

3.35**sambaran petir ke bumi**

luasan listrik yang berasal dari atmosfer antara awan ke awan dan awan ke bumi yang terdiri dari satu kali sambaran atau lebih

3.36**perancang proteksi petir**

seseorang spesialis yang mempunyai kompetensi dan ketrampilan dalam perancangan SPP

3.37**pemasang proteksi petir**

seseorang yang mempunyai kompetensi dan terutama ketrampilan dalam pemasangan SPP

3.38**sistem proteksi petir (SPP)**

sistem lengkap yang digunakan untuk memproteksi ruang terhadap efek petir. SPP terdiri dari SPP eksternal dan internal

CATATAN Dalam hal khusus SPP dapat terdiri dari hanya SPP eksternal atau SPP internal saja.

3.39**zona proteksi petir (ZPP)**

zona yang lingkungan elektromagnetik petirnya harus ditentukan dan dikendalikan

3.40**komponen alami suatu SPP**

suatu komponen yang berfungsi sebagai suatu proteksi petir, tetapi tidak dipasang khusus untuk keperluan tersebut

CATATAN Beberapa contoh penggunaan istilah tersebut adalah sebagai berikut:

- a) terminasi udara "alami";
- b) konduktor penyalur "alami";
- c) elektrode bumi "alami".

3.41**nilai puncak arus petir (I)**

nilai maksimum arus petir pada suatu sambaran

3.42

titik sambaran

titik tempat terjadinya kontak antara sambaran petir dengan bumi, bangunan gedung atau SPP

CATATAN Sambaran dapat mempunyai lebih dari satu titik sambaran.

3.43

probabilitas kerusakan (p)

probabilitas suatu sambaran petir yang menyebabkan kerusakan pada bangunan gedung

3.44

tingkat proteksi

suatu istilah yang menunjukkan klasifikasi SPP sesuai dengan efisiensinya

CATATAN Tingkat proteksi menyatakan probabilitas suatu SPP memproteksi ruang terhadap efek petir.

3.45

konduktor cincin

konduktor yang berbentuk lingkaran mengelilingi bangunan gedung dan menyalinghubungkan konduktor penyalur untuk menyamakan pembagian arus petir di antara konduktor tersebut

3.46

elektroda bumi cincin

elektroda bumi yang berbentuk lingkaran mengelilingi bangunan gedung di bawah atau pada permukaan tanah

3.47

risiko kerusakan (R_d)

probabilitas kerugian rata-rata tahunan (manusia dan harta benda) dalam bangunan gedung disebabkan karena sambaran petir

3.48

jarak aman

jarak minimum antara dua bagian konduktif di dalam ruang terproteksi, sehingga di antaranya tidak dapat terjadi bahaya

3.49

ruang terproteksi

bagian bangunan gedung atau daerah yang memerlukan proteksi terhadap efek petir sesuai dengan standar ini

3.50

energi spesifik (W/R)

energi yang dilepaskan oleh arus petir pada suatu unit resistansi, yaitu integral kuadrat arus petir selama durasi sambaran petir

3.51

jarak sambaran

radius yang ditentukan/diperoleh dari bola gulir seperti yang diberikan pada tabel 4

3.52

resistivitas permukaan

resistivitas rata-rata lapisan permukaan tanah

3.53**gawai proteksi surja (GPS)**

gawai untuk mengurangi tegangan lebih dan arus yang dialirkan pada saluran, misalnya supresor surja, termasuk juga celah, varistor, dioda, filter dan sebagainya

3.54**sambungan uji,**

sambungan yang dirancang dan diletakkan untuk fasilitas uji listrik dan pengukuran listrik komponen SPP

3.55**muatan total (Q_{total})**

integral waktu arus petir untuk selama seluruh durasi sambaran petir

3.56**elektroda bumi vertikal**

elektroda bumi yang dipasang di tanah dengan posisi tegak/vertikal atau dengan kemiringan tertentu dari posisi tegak/vertikal

3.57**bangunan gedung beton bertulang**

rangka baja dalam bangunan gedung beton bertulang dianggap secara listrik kontinu hanya jika memenuhi persyaratan berikut :

- 1) kira-kira 50% batang horisontal dan vertikal disalinghubungkan dengan las atau diikat kaku / diklem dengan kuat,
- 2) batang vertikal dilas atau ditumpang tindih minimum 20 kali diameter dan diikat kaku / diklem dengan kuat,
- 3) kontinuitas listrik dari baja bertulang dilakukan di antara masing-masing beton pracetak dengan unit beton pracetak yang berdekatan lainnya.

4 Parameter petir

Parameter petir dalam standar ini berkaitan dengan sambaran arah ke bawah dan juga arah ke atas dan didasarkan pada polaritas positif 10% dan negatif 90%.

4.1 Parameter arus petir digunakan untuk penentuan dimensi sistem proteksi petir (SPP)

4.1.1 Efek mekanis dan termis petir adalah berkaitan dengan nilai puncak arus (I), muatan total (Q_{total}), muatan impuls (Q_{impuls}) dan energi spesifik (W/R). Nilai tertinggi parameter ini terjadi pada sambaran positif.

4.1.2 Efek merusak yang ditimbulkan tegangan induksi berkaitan kecuraman muka kurva arus petir. Untuk kepentingan perancangan, digunakan kecuraman rata-rata antara 30% dan 90% nilai arus puncak. Nilai tertinggi parameter ini terjadi pada sambaran negatif ikutan.

4.1.3 Nilai parameter petir sesuai dengan tingkat proteksi adalah seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kaitan parameter arus petir dengan tingkat proteksi

Parameter petir		Tingkat proteksi		
		I	II	III-IV
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan total	Q_{total} (C)	300	225	150
Muatan impuls	Q_{impuls} (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (kJ/ Ω)	10 000	5 600	2 500
Kecuraman rata-rata	$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ μ s)	200	150	100

4.2 Densitas sambaran petir ke tanah

Densitas sambaran petir ke tanah (N_g) dinyatakan dalam sambaran ketanah per kilometer per segi per tahun sebaiknya ditentukan melalui pengukuran. Jika tidak tersedia, dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut :

$$N_g = 0.04 T_d^{1.25} \text{ per km}^2 \text{ per tahun}$$

di mana :

T_d = adalah jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari peta isokeraunik atau tabel yang dikeluarkan oleh BMG (lihat lampiran A).

5 Pemilihan tingkat proteksi untuk sistem proteksi petir (SPP)

5.1 Umum

Maksud dari pemilihan tingkat proteksi adalah untuk mengurangi risiko kerusakan, di bawah tingkat toleransi maksimum, oleh sambaran petir langsung ke bangunan gedung atau ke ruang yang diproteksi.

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk SPP harus berdasarkan frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan ke bangunan gedung yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat yang dibolehkan (N_c).

5.2 Frekuensi sambaran petir yang dibolehkan (N_c) pada bangunan gedung

5.2.1 Harga N_c harus diperkirakan melalui analisa risiko kerusakan dengan memperhitungkan faktor yang cocok sebagai berikut:

- jenis bangunan;
- keberadaan bahan mudah terbakar dan mudah meledak;
- langkah tindakan yang mendukung untuk mengurangi konsekwensi akibat petir;
- jumlah manusia yang diperhatikan dengan adanya kerusakan;
- jenis dan kepentingan pelayanan terhadap masyarakat yang menjadi perhatian;
- nilai dari harta benda yang diderita karena kerusakan;
- faktor lainnya tergantung pada klasifikasi bangunan gedung.

5.3 Frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan pada bangunan gedung

5.3.1 Frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung N_d ke bangunan gedung dapat di hitung dari:

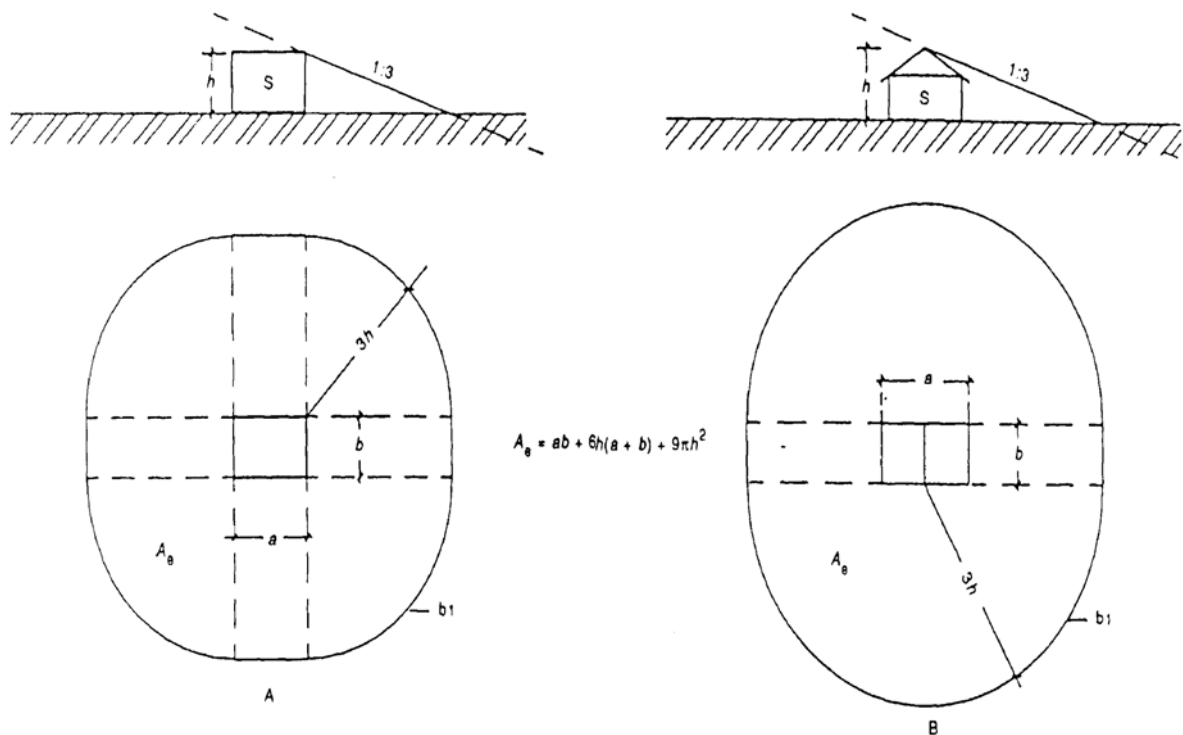
$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ per tahun}$$

untuk,

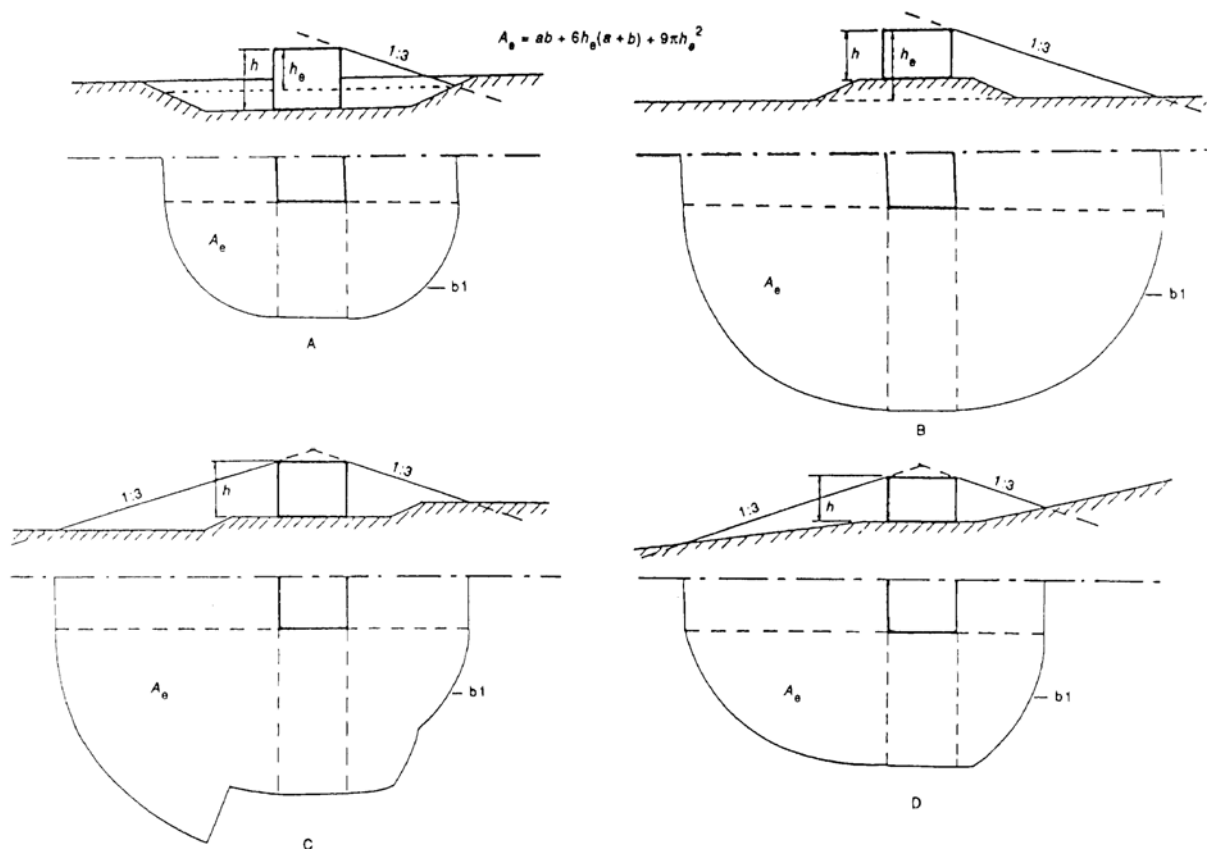
N_g = densitas sambaran ke tanah rata-rata tahunan, sambaran petir per kilometer persegi per tahun, dalam daerah ditempat bangunan gedung berada.

A_e = area cakupan ekivalen dari bangunan gedung (m^2).

5.3.2 Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung adalah area permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan gedung yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan.



Gambar 1 Area cakupan ekivalen sebuah bangunan gedung di daerah datar



Gambar 2 Area cakupan ekivalen sebuah bangunan gedung di daerah berbukit

5.3.3 Untuk bangunan gedung yang berdiri sendiri area cakupannya A_e adalah area dibatasi garis $b1$ yang didapat dari perpotongan antara permukaan tanah dan garis lurus dengan kemiringan 1:3 melalui bagian puncak bangunan gedung dan berputar sekelilingnya (lihat gambar 1 untuk daerah datar dan gambar 2A dan 2B untuk daerah berbukit).

5.3.4 Untuk topografi rumit (lihat gambar 2C dan 2D) konstruksi dapat disederhanakan dengan memperhitungkan beberapa karakteristik bagian kelilingnya dengan mengganti garis lurus atau lingkaran.

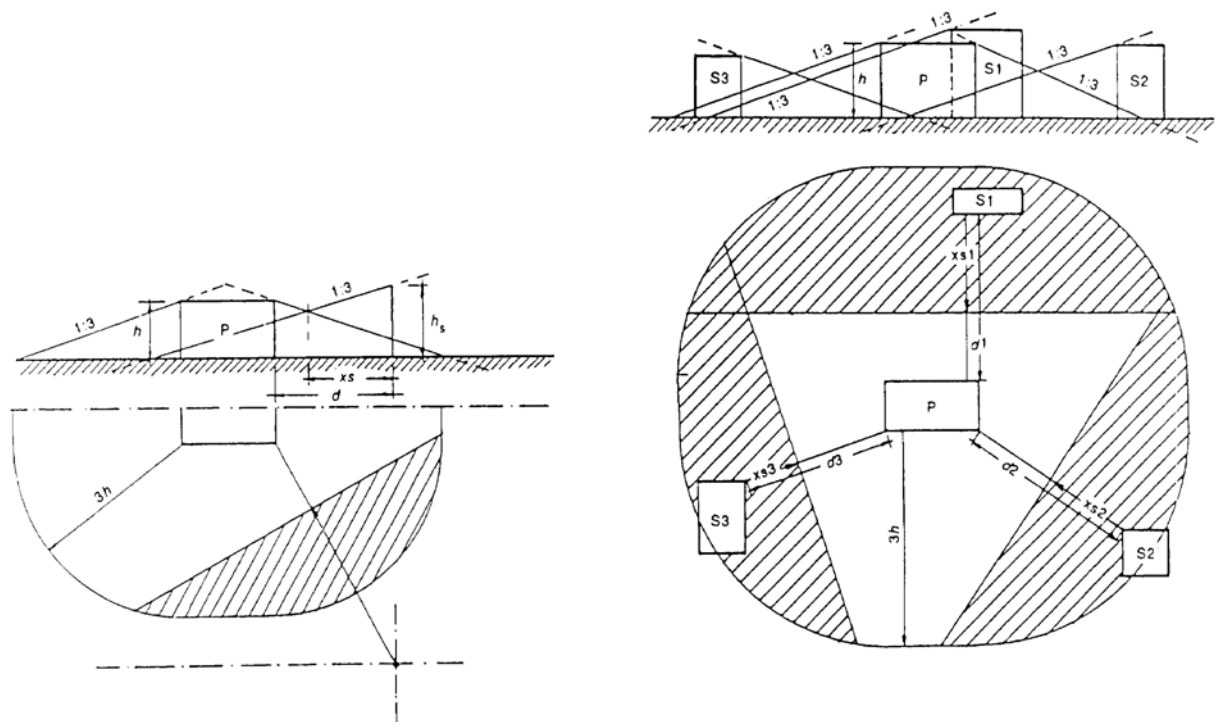
5.3.5 Benda lain disekitarnya sangat mempengaruhi area ekivalen jika jaraknya dari bangunan gedung lebih kecil dari $3(h + h_s)$ untuk: h adalah tinggi bangunan gedung yang diperhitungkan; h_s adalah tinggi benda disekitarnya.

5.3.6 Dalam kasus ini, area ekivalen bangunan gedung dan benda didekatnya tumpang tindih satu sama lain dan area ekivalen A_e dikurangi terhadap jarak:

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2}$$

di mana :

d = adalah jarak antara bangunan gedung dan benda (lihat gambar 3).

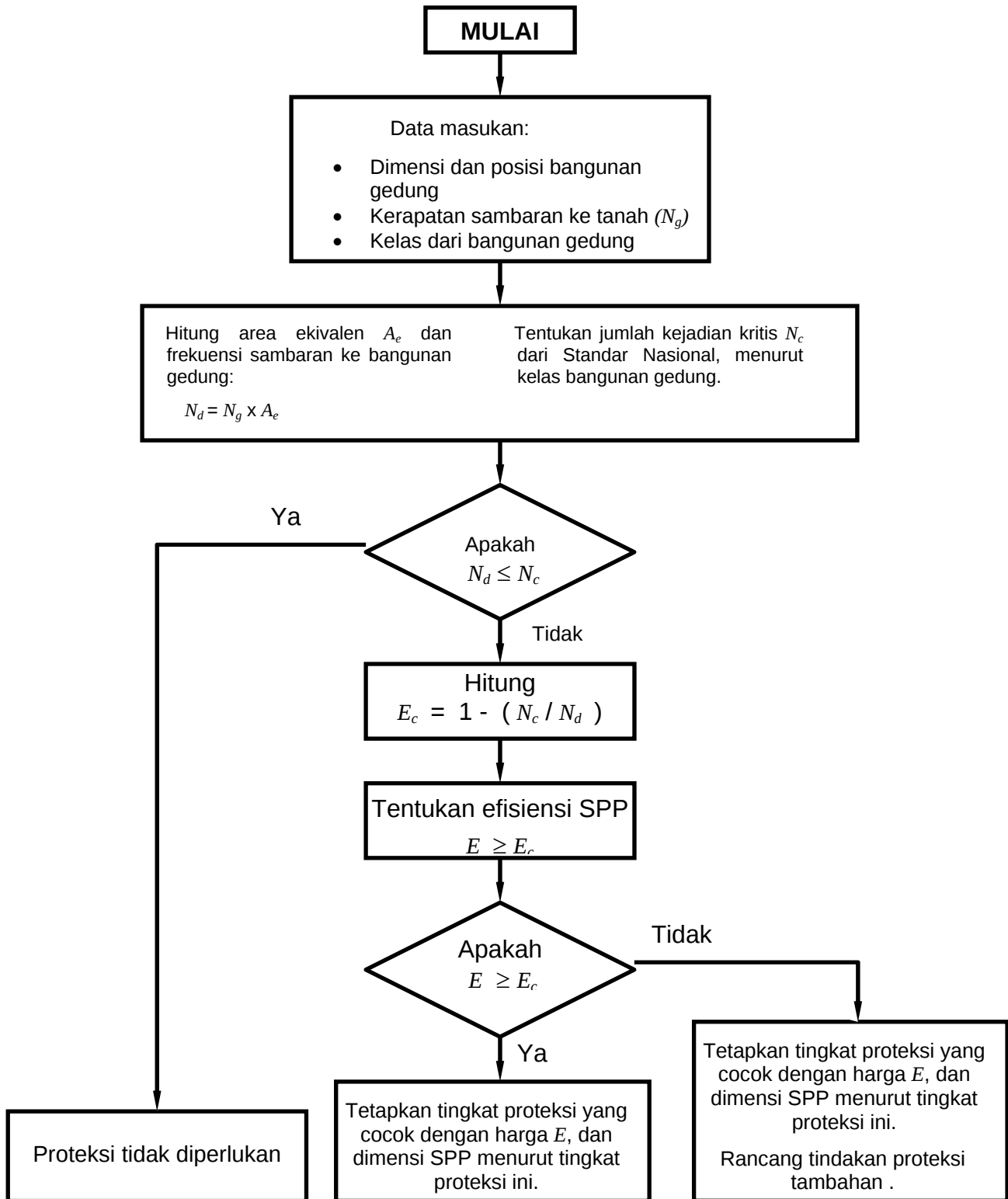


Gambar 3 Area cakupan ekivalen sebuah bangunan gedung dengan adanya bangunan gedung lain di sekitarnya

5.3.7 Hanya benda atau bangunan gedung yang harus mempunyai kekuatan permanen dan ketahanan yang cukup terhadap hantaman petir yang harus diperhitungkan.

5.4 Prosedur pemilihan SPP

5.4.1 Untuk setiap bangunan gedung yang dipertimbangkan, perancang SPP harus memutuskan apakah diperlukan SPP atau tidak. Jika diperlukan perancang harus memilih tingkat proteksi yang sesuai.



Gambar 4 Diagram alir prosedur pemilihan SPP

5.4.2 Tahap pertama prosedur pemilihan SPP menghendaki penilaian memadai terhadap bangunan gedung yang dipertimbangkan sesuai rancangannya. Selanjutnya harus ditentukan dimensi bangunan gedung dan penempatan, aktivitas badai guntur (densitas sambaran petir tahunan) di daerah yang dipertimbangkan, juga harus ditentukan klasifikasi bangunan gedung. Data berikut ini memberikan latar belakang untuk penilaian:

- frekuensi sambaran petir rata-rata tahunan N_d sebagai hasil perkalian densitas sambaran ke tanah N_g lokal dan area cakupan ekivalen A_e dari bangunan gedung;
- frekuensi sambaran rata-rata tahunan N_c yang dapat diterima untuk bangunan gedung yang dipertimbangkan.

5.4.3 Nilai frekuensi sambaran rata-rata tahunan N_c yang dapat diterima harus dibandingkan dengan harga nyata frekuensi sambaran petir N_d ke bangunan gedung.

5.4.4 Perbandingan berikut menentukan apakah SPP diperlukan, dan jika diperlukan, jenisnya apa :

- Jika $N_d \leq N_c$ tidak diperlukan SPP.
- Jika $N_d > N_c$, SPP dengan efisiensi $E \geq 1 - N_c/N_d$ sebaiknya dipasang dan tingkat proteksi yang tepat dipilih menurut tabel 2.

Tabel 2 Efisiensi SPP sehubungan dengan tingkat proteksi

Tingkat proteksi	Efisiensi SPP E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

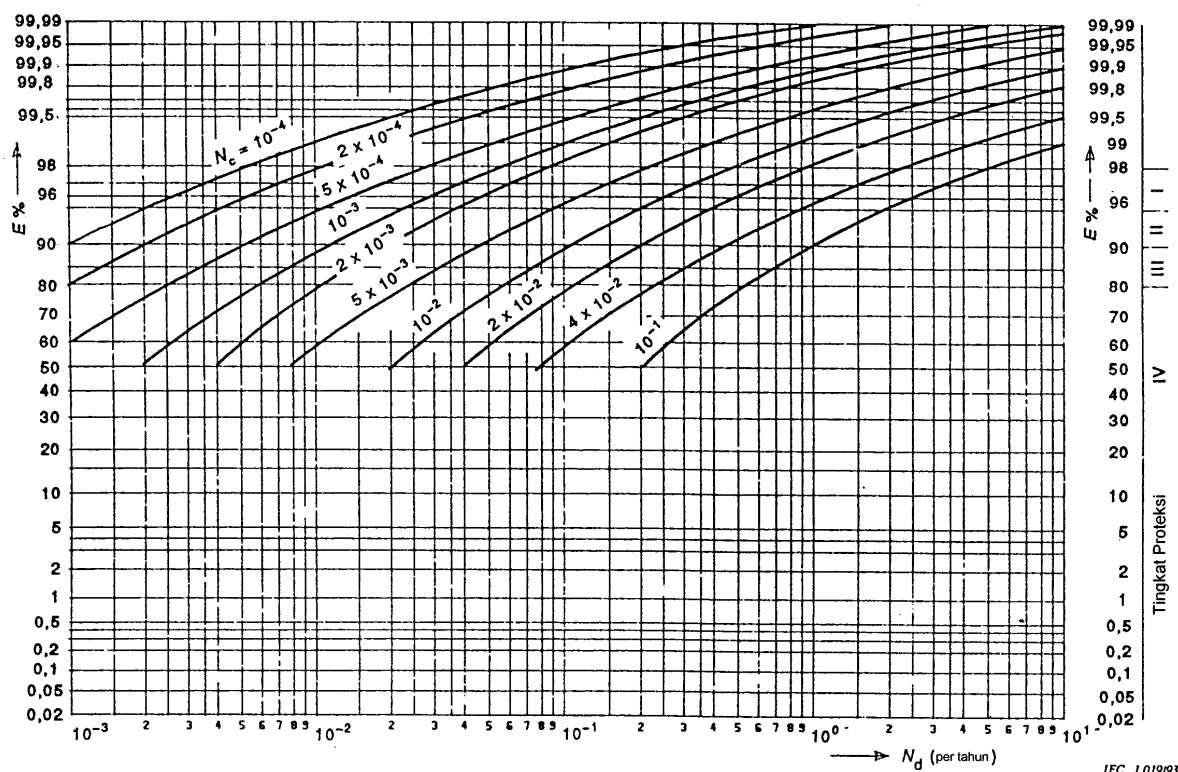
5.4.5 Perancangan SPP harus memenuhi persyaratan yang diberikan dalam standar untuk tingkat proteksi yang dipilih dan jenis bangunan gedung.

5.4.6 Jika efisiensi SPP E' yang terpasang lebih kecil dari E , maka harus dilengkapi proteksi tambahan sebagai berikut:

- pembatasan tegangan sentuh dan langkah;
- pembatasan perabatan kebakaran, tindakan pencegahan untuk bangunan gedung yang berisi uap mudah terbakar, atau cairan yang dapat mengeluarkan uap mudah terbakar harus menerapkan peraturan atau standar lain terkait yang berlaku;
- mengurangi pengaruh induksi tegangan lebih dari petir pada peralatan sensitif.

Prosedur pemilihan SPP diberikan dalam diagram alir pada gambar 4.

5.4.7 Nilai efisiensi kritis E yang dikehendaki, untuk SPP, sebaiknya ditentukan sebagai fungsi frekuensi sambaran petir langsung N_d ke bangunan gedung, dan frekuensi sambaran petir yang dapat diterima N_c sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 5.



Gambar 5 Nilai kritis dari efisiensi SPP yang dikehendaki sebagai fungsi dari N_d dan N_c

6 Rancangan sistem proteksi petir (SPP)

6.1 Umum

Fungsi pokok SPP yang dirancang menurut standar ini adalah memproteksi kehidupan, harta benda dan peralatan dari kerusakan akibat petir.

6.1.1 Persyaratan perancang dan pemasang SPP

6.1.1.1 Perancangan dan pemasangan SPP harus dirancang dan dipasang oleh tenaga teknik SPP.

6.1.1.2 Perancang SPP harus mampu mengkaji pengaruh listrik dan mekanis dari sambaran petir dan juga memahami prinsip umum kesesuaian elektromagnetik (KEM), lihat lampiran E.

6.1.1.3 Perancang SPP harus mampu mengkaji pengaruh korosi dan mempertimbangkan untuk menggunakan tenaga ahli jika diperlukan.

6.1.1.4 Pemasang SPP harus terlatih memasang secara benar komponen SPP menurut persyaratan peraturan nasional mengenai pekerjaan konstruksi bangunan gedung.

6.1.2 Modifikasi bangunan gedung

6.1.2.1 Bila mengadakan modifikasi bangunan gedung atau instalasinya, pemeriksaan harus diadakan untuk menentukan bahwa proteksi petir yang sudah terpasang masih memenuhi standar ini. Jika ditemui proteksi tidak memadai, harus segera dilakukan penyempurnaan.

6.2 Zona proteksi petir (ZPP)

Ruang yang diproteksi harus dibagi kedalam zona proteksi petir menurut tingkat ancaman perusakan akibat pulsa elektromagnetik petir, dan menunjukkan lokasi untuk titik pengikat pada perbatasan zona.

Zona dicirikan oleh perubahan mencolok dari kondisi elektromagnetik pada perbatasannya.

6.2.1 Definisi zona

ZPP 0_A:

Zona tempat benda menjadi sasaran sambaran petir langsung, dan oleh karena itu harus dapat mengalirkan seluruh arus petir. Di sini terjadi medan elektromagnetik tanpa redaman.

ZPP 0_B:

Zona tempat benda tidak menjadi sasaran sambaran petir langsung, tetapi di sini terjadi medan elektromagnetik tanpa redaman.

ZPP 1:

Zona tempat benda tidak menjadi sasaran sambaran petir langsung dan tempat arus pada semua bagian konduktif didalam zona ini lebih rendah berkurang dibandingkan dengan zona 0_B. Didalam zona ini medan elektromagnetik dapat juga dikurangi tergantung pada tindakan pemerisaian.

Zona selanjutnya (ZPP 2, dan seterusnya)

Jika pengurangan aliran arus dan/atau medan elektromagnetik diperlukan lebih lanjut, maka harus dibuat zona selanjutnya. Persyaratan zona ini harus dipilih menurut persyaratan lingkungan zona pada sistem yang diproteksi.

6.2.2 Pada perbatasan setiap zona, harus dilengkapi pengikat pada semua logam yang menembus dan tindakan pemerisaian bisa dipasang.

6.2.3 Prinsip umum untuk pembagian ruangan yang diproteksi menjadi zona proteksi petir yang berbeda harus sesuai dengan standar atau peraturan yang berlaku.

Gambar 6 memperlihatkan contoh pembagian bangunan gedung menjadi beberapa zona.

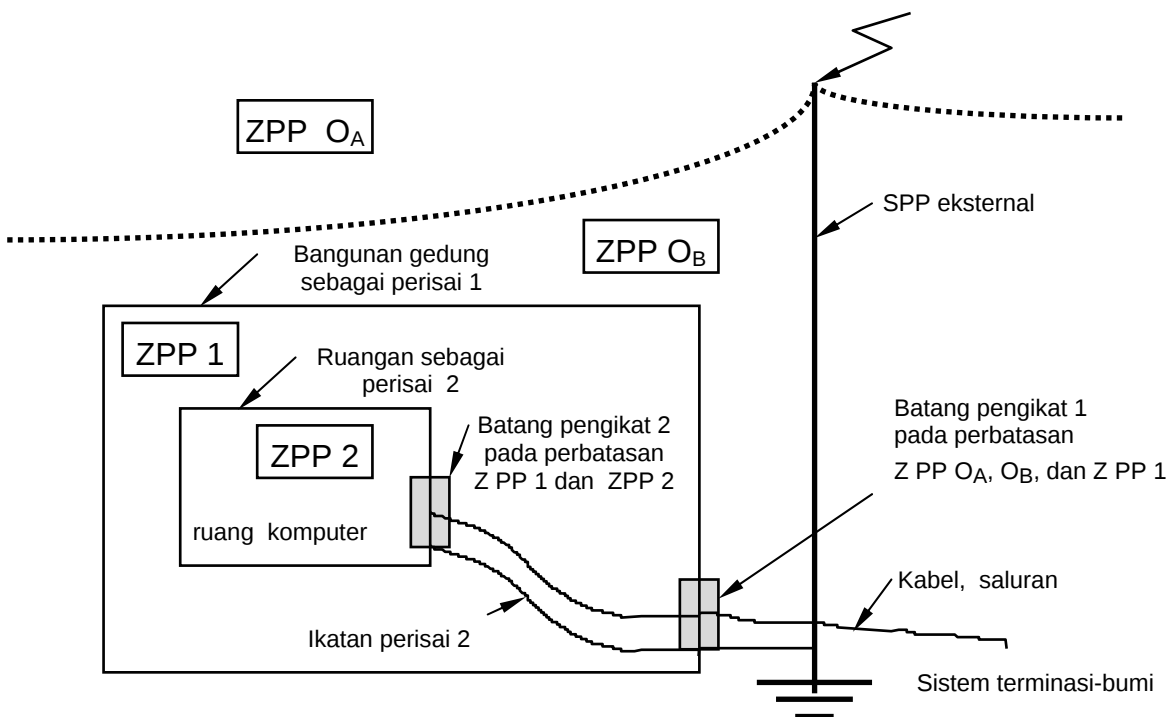
6.3 Prosedur perencanaan

6.3.1 Sebelum memulai pekerjaan perancangan rinci, perancang SPP harus mencari informasi dasar mengenai fungsi, perancangan umum, konstruksi dan lokasi bangunan gedung.

6.3.2 Bila SPP belum ditentukan oleh pemilik bangunan, perancang SPP harus mengklasifikasikan bangunan gedung menurut ketentuan yang berlaku dan menentukan perlu tidaknya mengamankan bangunan gedung dengan SPP dengan mengikuti prosedur dalam butir 5.4, untuk pemilihan tingkat proteksi SPP yang benar.

6.3.3 Bila bangunan gedung sudah diklasifikasikan sebagai bangunan gedung biasa umum dan tingkat proteksi sudah ditentukan, perancang SPP sebaiknya menggunakan Kode Praktek ini, dengan petunjuk penerapan dan standar lain yang terkait untuk merancang SPP yang komprehensif.

6.3.4 Bila bangunan gedung sudah diklasifikasikan sebagai bangunan gedung yang membahayakan sekitarnya dan tingkat proteksi sudah ditentukan, perancang SPP juga harus mempertimbangkan standar dan ketentuan lain terkait yang berlaku untuk merancang SPP yang komprehensif.



Gambar 6 Contoh untuk pembagian bangunan gedung kedalam beberapa ZPP dan pengikatan yang sesuai

6.3.5 Konstruksi dan pemasangan SPP sebaiknya diawasi oleh pemasang SPP.

6.4 Konsultasi

6.4.1 Umum

6.4.1.1 Di dalam tahap perancangan dan konstruksi untuk bangunan gedung baru, perancang SPP dan pemasang SPP dan semua personil lainnya yang bertanggung jawab untuk instalasi dalam bangunan gedung atau untuk peraturan mengenai kegunaan bangunan gedung (yakni pemilik bangunan, pembeli, kontraktor sipil) sebaiknya berkonsultasi satu sama lainnya secara reguler.

Diagram alir gambar 7 memberikan panduan perancangan SPP secara rasionil.

6.4.1.2 Dalam tahap perancangan dan konstruksi SPP pada bangunan gedung yang telah ada, konsultasi sebaiknya diadakan dengan personil pemilik bangunan yang bertanggung jawab untuk bangunan gedung, penggunaan, instalasi dan pelayanan masuk. Untuk bangunan gedung yang telah ada, perancang SPP sebaiknya melengkapi gambar yang seharusnya dimodifikasi oleh pemasang SPP.

6.4.1.3 Konsultasi reguler antara pihak terkait sebaiknya menghasilkan SPP yang efektif.

CATATAN Sebagai contoh, koordinasi pekerjaan perancangan SPP dan pekerjaan konstruksi akan sering meniadakan keperluan pengikat konduktor dan mengurangi panjang jika diperlukan. Biaya pembangunan sering berkurang secara berarti dengan penetapan rute bersama untuk berbagai instalasi dalam bangunan gedung.

6.4.1.5 Konsultasi penting untuk semua tahapan konstruksi bangunan gedung sebagaimana modifikasi SPP mungkin diperlukan karena perubahan rancangan bangunan gedung. Konsultasi juga diperlukan sedemikian sehingga pengaturan dapat disepakati untuk fasilitas inspeksi bagian SPP yang mana akan menjadi tidak terjangkau untuk kontrol visual setelah bangunan gedung diselesaikan. Dalam konsultasi ini seharusnya ditentukan dimana sambungan antara komponen alami dan SPP akan diperlukan.

6.4.2 Pihak pelaku konsultasi

Perancang SPP sebaiknya tetap berkonsultasi teknis dengan semua pihak terkait dalam rancangan dan konstruksi bangunan gedung termasuk pemilik bangunan.

Tanggung jawab pada bidang khusus untuk pemasangan kelengkapan SPP sebaiknya ditentukan oleh perancang SPP yang berhubungan dengan kontraktor bangunan gedung, pemasang SPP (pemasok SPP) dan pemilik bangunan.

6.4.2.1 Sipil

Kesepakatan sebaiknya dicapai pada hal-hal berikut:

- a) jalur untuk semua konduktor SPP;
- b) bahan komponen SPP;
- c) rincian semua pipa logam, sistem-air-hujan, rel dan lainnya yang serupa;
- d) rincian peralatan, radas, instalasi atau sejenis yang dipasang di dalam atau dekat dengan bangunan gedung dan yang memerlukan pengikat ke SPP;
- e) letak dari pelayanan konduktif tertimbun yang mempengaruhi penempatan jaringan terminasi-bumi sehingga diperlukan penempatan pada jarak aman dari SPP;
- f) area umum yang tersedia untuk jaringan terminasi-bumi;
- g) perubahan lingkup dari pekerjaan dan pembagian tanggung jawab untuk pengikatan primer SPP ke bangunan gedung;
- h) bahan konduktif yang digunakan di bangunan gedung, khususnya logam kontinu, yang harus diikat ke SPP;
- i) dampak visual ke SPP
- j) dampak SPP pada susunan bangunan gedung;
- k) lokasi titik sambungan pada baja penguat, khususnya pada tembusan bagian konduktif eksternal (pipa, perisai kabel dan sebagainya.).

6.4.2.2 Utilitas

Kesepakatan sebaiknya dicapai mengenai persetujuan ikatan (*bonding*) ke SPP pada pelayanan masuk.

CATATAN Yang dimaksud utilitas disini adalah listrik, telepon, air, pipa minyak (jika ada) dan gas.

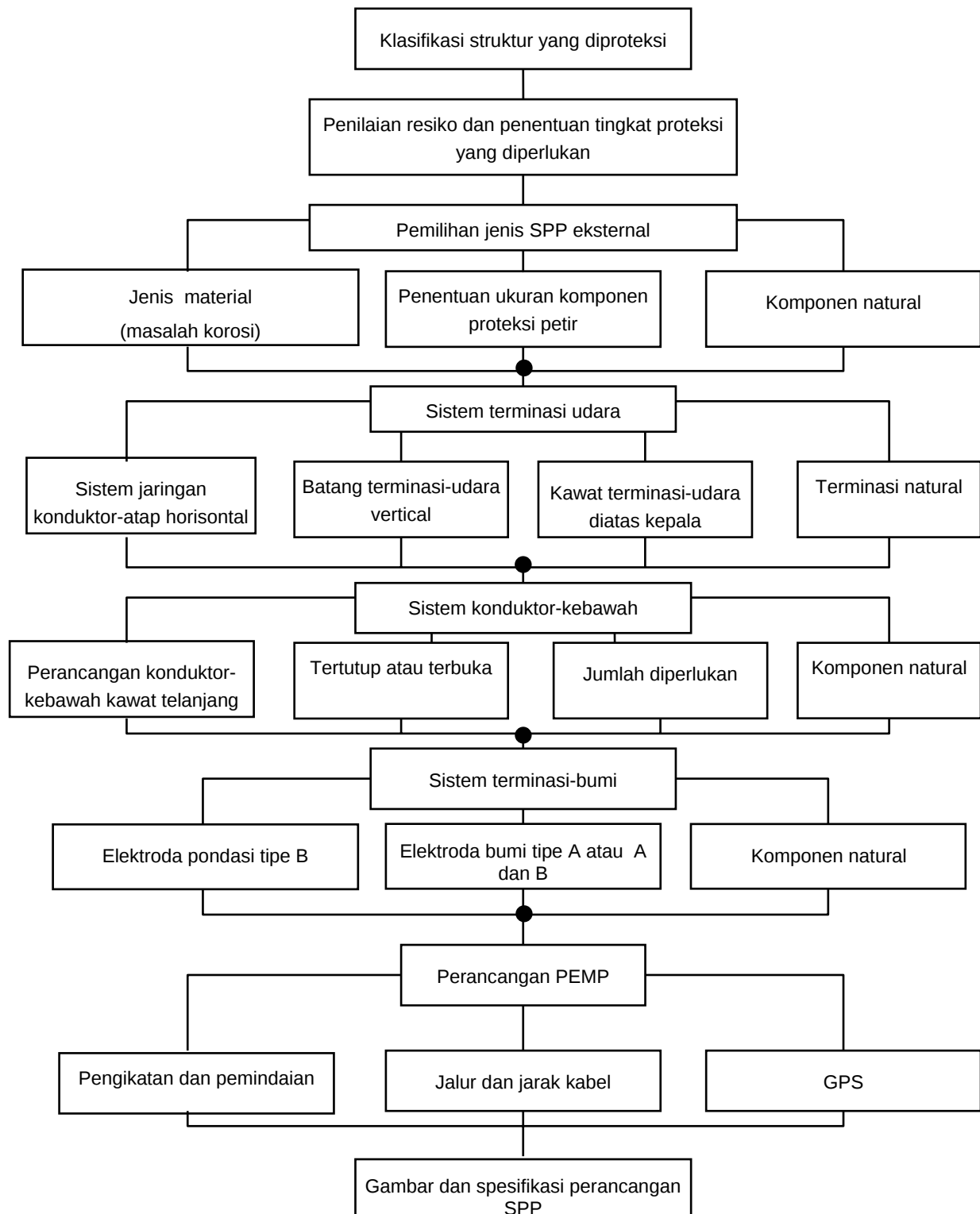
6.4.2.3 Otoritas keselamatan dan pemadam kebakaran

Persetujuan harus dicapai dalam kasus bangunan gedung terdiri dari bahan mudah terbakar, berisi cairan mudah terbakar, gas atau dapat mengeluarkan uap mudah terbakar, metoda pencegahan harus mendapat persetujuan.

6.4.2.4 Pemasang sistem elektronik dan antena eksternal

Persetujuan harus dicapai pada hal-hal berikut:

- a) pengikat penyangga aerial dan perisai konduktif dari kabel ke SPP;
- b) jalur kabel aerial dan jaringan internal dan instalasi gawai pemakaian bersama;
- c) instalasi gawai proteksi surja (GPS).



Gambar 7 Diagram alir perancangan SPP

6.4.2.5 Pembangun dan pemasang

Kesepakatan harus dicapai pada hal-hal berikut dengan tanggung jawab konstruksi bangunan gedung dan peralatan teknisnya:

- a) bentuk, posisi dan jumlah pemasangan primer SPP yang dilaksanakan oleh pembangun;
- b) rancangan pemasangan yang dilakukan oleh perancang SPP (atau kontraktor SPP atau pemasok SPP) yang dilaksanakan oleh pembangun;
- c) posisi konduktor SPP yang dipasang dibawah bangunan gedung;
- d) komponen SPP yang digunakan selama tahap konstruksi, sebagai contoh jaringan terminasi bumi permanen yang dapat digunakan untuk pembumian derek, katrol dan peralatan logam lainnya selama kerja konstruksi di lapangan.
- e) untuk bangunan gedung dari kerangka baja, jumlah dan posisi tiang penyangga dan bentuk pengikat yang dibuat untuk sambungan terminasi-bumi dan komponen SPP lainnya;
- f) penutup logam yang baik sebagai komponen SPP, metoda pemastian kontinuitas listrik dari bagian individu dari penutup dan metoda penyambungannya ke bagian SPP;
- g) lokasi dan sifat pelayanan masuk ke bangunan gedung diatas dan dibawah tanah termasuk sistem ban berjalan, aerial radio dan televisi dan logam penyagga, corong asap logam dan perangkat pembersih jendela;
- h) koordinasi sistem terminasi bumi pada SPP bangunan gedung dengan pengikat dari pelayanan tenaga-listrik dan komunikasi;
- i) ketentuan lubang tembus bangunan gedung untuk mendapatkan keleluasaan konduktor dibawah SPP;
- j) ketentuan sambungan pengikat ke kerangka baja, batang penguat dan bagian konduktip lain pada bangunan gedung;
- k) frekuensi inspeksi komponen SPP yang tidak terjangkau; sebagai contoh batang penguat baja yang terbungkus dalam beton;
- l) logam pilihan paling baik untuk konduktor yang berkenaan dengan korosi, khususnya pada titik kontak antara logam yang berbeda;
- m) penjangkauan titik uji, ketentuan proteksi oleh selungkup bukan logam terhadap kerusakan mekanis atau pencurian;
- n) persiapan gambar yang menggabungkan rincian tersebut diatas dan menunjukkan posisi semua konduktor dan komponen pokok;
- o) lokasi titik sambungan ke baja penguat.

6.5 Rancangan SPP eksternal

6.5.1 Umum

6.5.1.1 Dalam banyak kasus, SPP eksternal boleh menempel pada bangunan gedung yang di proteksi,

Sebaiknya digunakan SPP yang diisolasi, jika aliran arus petir ke bagian ikatan konduktif internal dapat menyebabkan kerusakan bangunan gedung.

6.5.1.2 Bila pengaruh termal pada titik sambaran pada konduktor yang mengalirkan arus petir dapat menyebabkan kerusakan bangunan gedung, jarak antara konduktor SPP dan bangunan gedung sebaiknya paling kecil 0,1 m.

6.5.1.3 Percikan api listrik berbahaya antara SPP dan bahan yang dapat terbakar di dalam bangunan gedung dapat dicegah dengan: menghilangkan satu komponen segitiga-api (temperatur atau penyalaan, oksigen dan bahan yang dapat terbakar).

6.5.2 Rancangan sistem terminasi-udara

6.5.2.1 Pengaturan sistem terminasi-udara harus memenuhi persyaratan tabel 3.

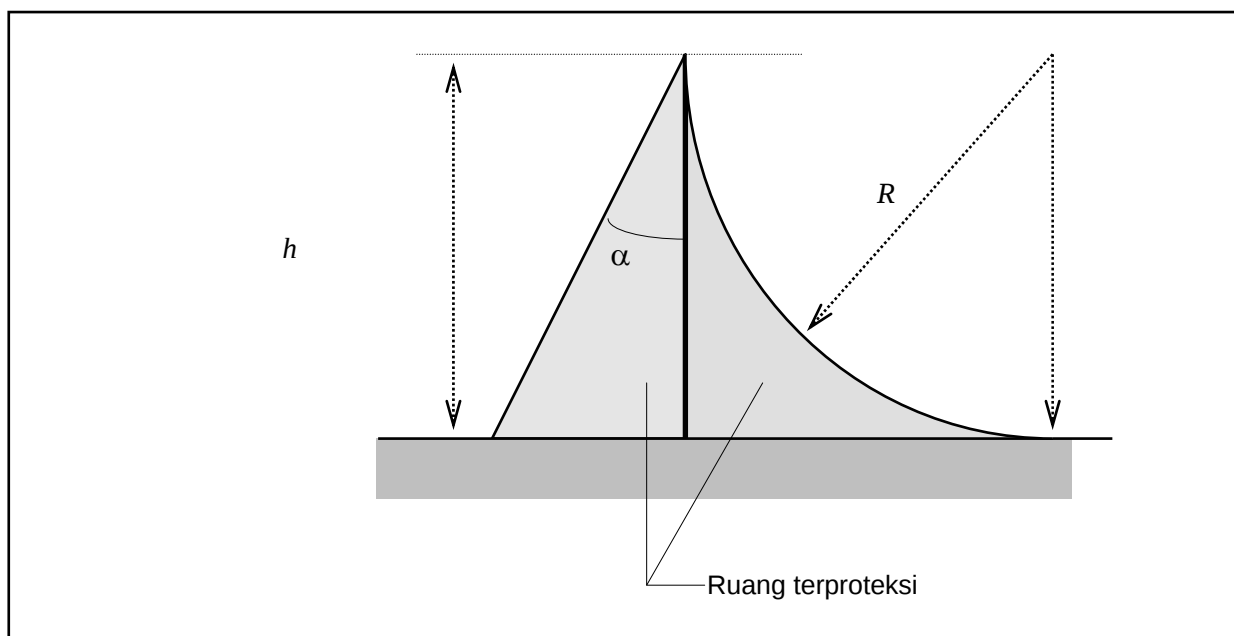
6.5.2.2 Pada perancangan sistem terminasi-udara bangunan gedung, metoda berikut sebaiknya digunakan, tersendiri atau dikombinasi, untuk membentuk zona proteksi yang diadakan oleh bagian terminasi-udara yang tumpang tindih dan meyakinkan bahwa bangunan tersebut terproteksi seluruhnya menurut standar ini.

6.5.2.3 Ketiga metoda boleh digunakan untuk perancangan SPP. Pemilihan SPP jenis tertentu tergantung pada evaluasi praktis dari kemudahan dan kerentanan bangunan gedung yang diproteksi.

Tabel 3 Penempatan terminasi-udara sesuai dengan tingkat proteksi

Protecton level Tingkat proteksi	h (m) R (m)	20	30	45	60	Mesh width (m) Lebar mata jala (m)
		α^0	α^0	α^0	α^0	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Rolling sphere and mesh only apply in these cases.
* Hanya menggunakan bola bergulir dan jala dalam kasus ini.



6.5.2.4 Metoda proteksi sebaiknya dipilih oleh perancang SPP. Pertimbangan berikut ini sebaiknya dipenuhi:

- metoda sudut proteksi cocok untuk bangunan gedung atau bagian kecil dari bangunan gedung yang lebih besar. Metoda ini tidak cocok untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang sesuai dengan tingkat proteksi SPP yang dipilih;
- metoda bola gulir cocok untuk bentuk bangunan gedung rumit;

- c) metoda jala untuk keperluan umum dan khususnya cocok untuk proteksi permukaan datar.

6.5.2.5 Metoda perancangan terminasi-udara dan metoda perancangan SPP digunakan untuk berbagai bagian bangunan gedung sebaiknya dinyatakan secara tersendiri didalam dokumen perancangan.

6.5.2.6 Semua bangunan gedung kerangka baja yang mempunyai ketebalan lebih dari 4,8 mm dapat digunakan sebagai terminasi-udara.

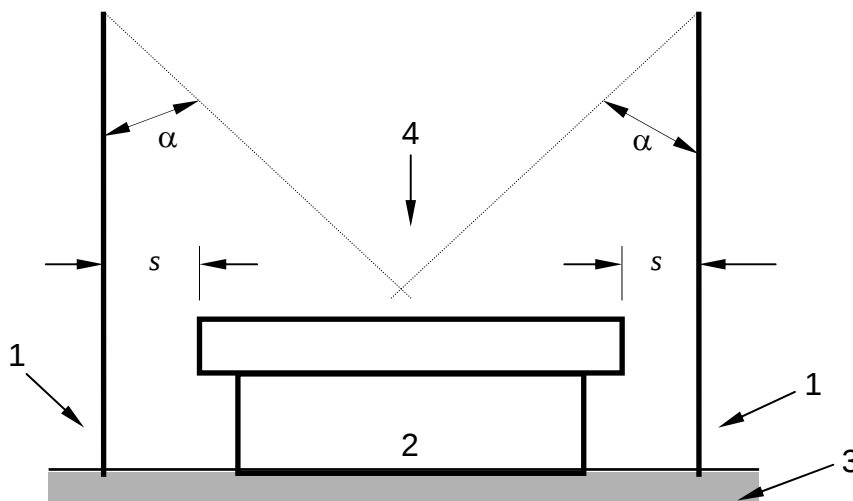
6.5.3 Metoda sudut proteksi

6.5.3.1 Metoda sudut proteksi secara geometris mempunyai keterbatasan dan tidak digunakan untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang ditentukan dalam tabel 3.

6.5.3.2 Konduktor terminasi-udara sebaiknya ditempatkan sedemikian sehingga semua bagian bangunan gedung yang diproteksi berada di sebelah dalam permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik-titik dari konduktor terminasi-udara ke bidang referensi, dengan sudut α ke garis vertikal dalam semua arah.

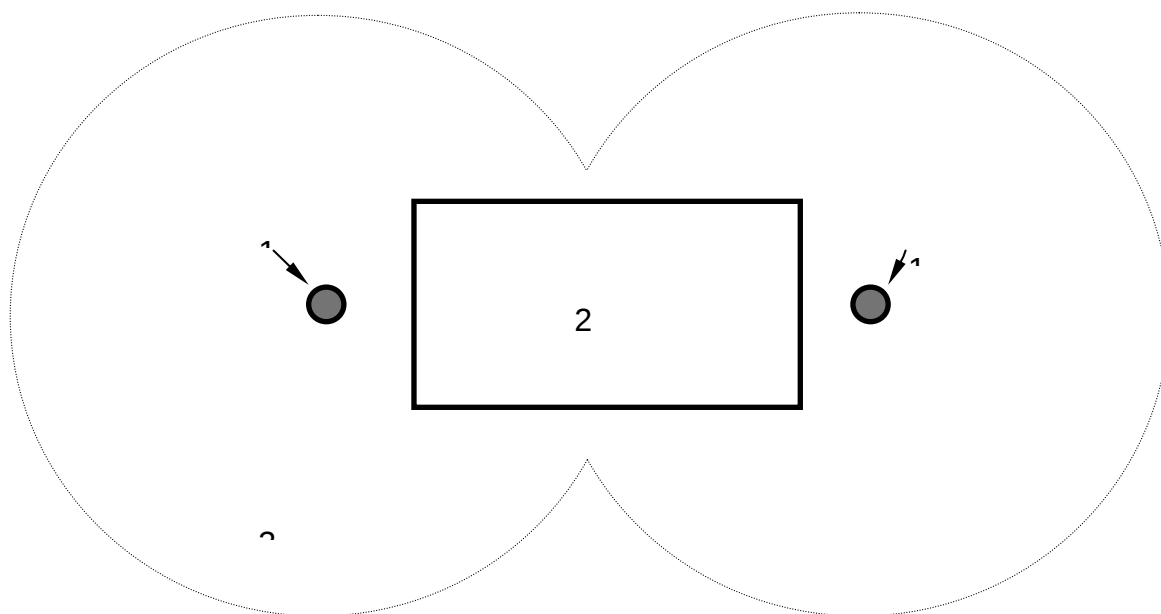
6.5.3.3 Rancangan terminasi-udara meng-gunakan metoda sudut proteksi masing-masing diperlihatkan dalam gambar 8 dan 9 untuk SPP terisolasi dan gambar 10 dan 11 untuk SPP tidak terisolasi.

6.5.4 Metoda bola gulir



- 1 Tiang terminasi-udara
- 2 Bangunan gedung yang diproteksi
- 3 Bidang referensi
- 4 Perpotongan antara kerucut protektif
- s Jarak pisah menurut 6.6.2
- α Sudut proteksi sesuai Tabel 3.

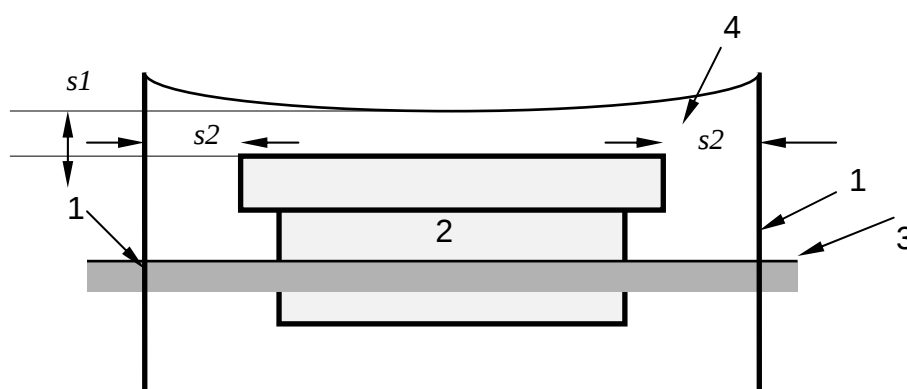
Gambar 8a Proyeksi pada bidang vertikal



Gambar 8b Proyeksi pada bidang referensi horisontal

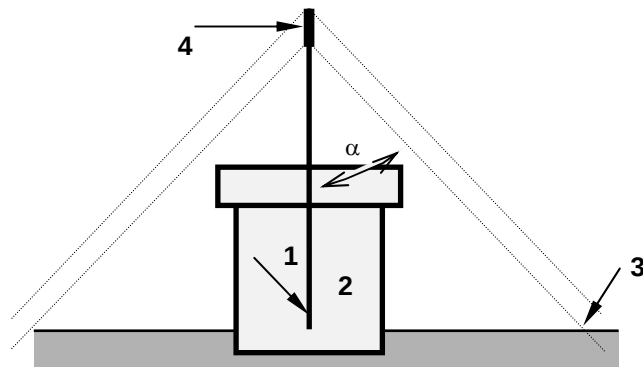
Gambar 8 SPP eksternal terisolasi menggunakan tiang terminasi-udara terisolasi yang dirancang menurut metoda perancangan sudut proteksi terminasi-udara

6.5.4.1 Metoda bola gulir sebaiknya digunakan untuk mengidentifikasi ruang yang terproteksi dari bagian atau luasan bangunan gedung yang tidak tercakup oleh metoda sudut proteksi pada tabel 3.



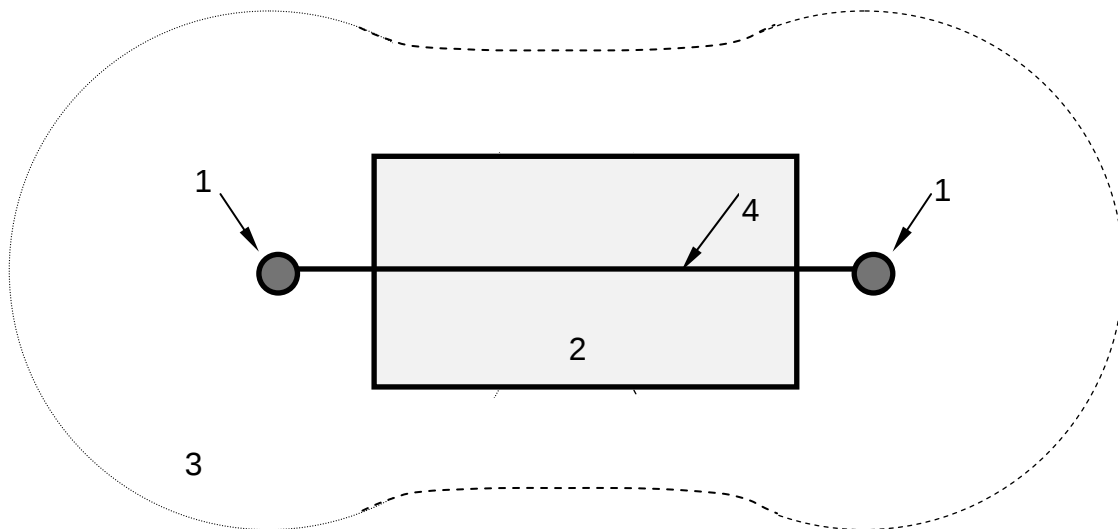
- 2 Bangunan gedung yang diproteksi
- 3 Bidang referensi
- 4 Kawat terminasi-udara horisontal
- s1, s2 Jarak pisah menurut 6.6.2

Gambar 9a Proyeksi pada bidang vertikal yang terdiri dari dua tiang



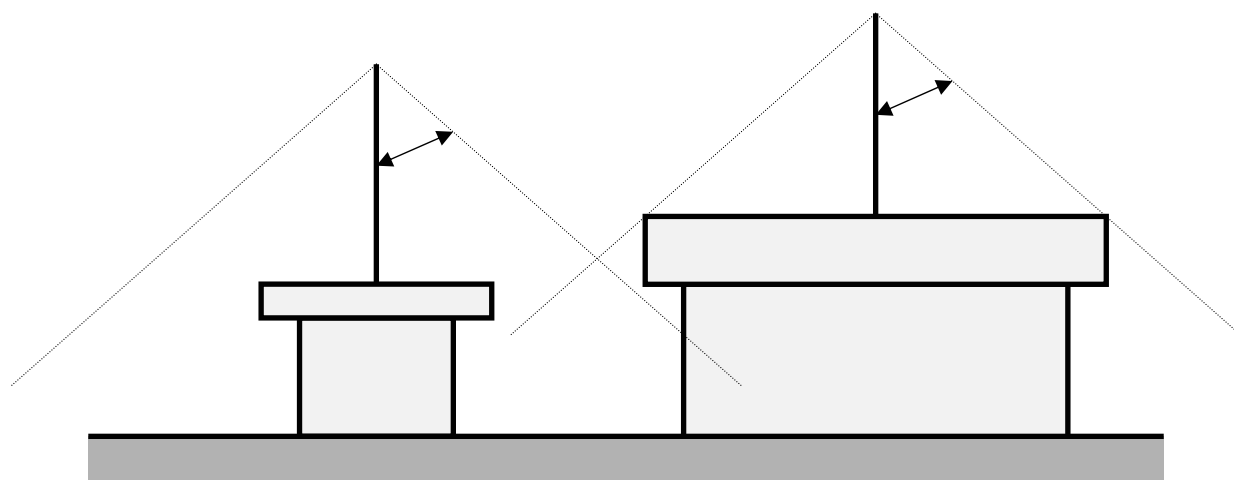
- 1 Tiang terminasi-udara
- 2 Bangunan gedung yang diproteksi
- 3 Bidang referensi
- 4 Kawat terminasi-udara horisontal
- α Sudut proteksi

Gambar 9b Proyeksi pada bidang vertikal tegak lurus ke bidang yang terdiri dari dua tiang



Gambar 9c Proyeksi pada bidang referensi horizontal

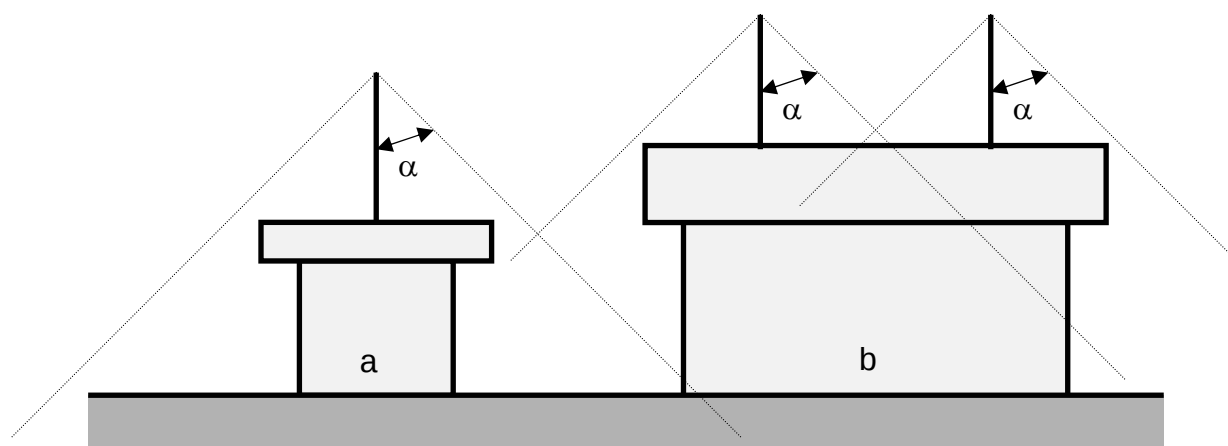
Gambar 9 SPP eksternal terisolasi terdiri dari tiang terminasi-udara terisolasi, yang saling dihubungkan dengan kawat terminasi-udara horisontal



α Sudut proteksi

CATATAN Puncak batang terminasi-udara tidak boleh lebih tinggi dari harga yang dilaporkan dalam Tabel 3. Permukaan tanah dianggap sebagai bidang referensi.

Gambar 10 Contoh perancangan terminasi-udara SPP non-isolir pada bangunan gedung atap datar menggunakan metoda perancangan sudut proteksi terminasi-udara



α Sudut proteksi

CATATAN Seluruh bangunan gedung, a dan b, harus berada didalam kerucut protektif dari batang terminasi-udara.

Gambar 11 Contoh perancangan terminasi-udara SPP non-isolir menggunakan beberapa batang terminasi-udara menurut metoda perancangan sudut proteksi terminasi-udara

6.5.4.2 Dengan metoda ini, penempatan sistem terminasi-udara dianggap memadai jika tidak ada titik pada ruang yang diproteksi tersentuh oleh bola gulir dengan radius R , di sekeliling dan di atas bangunan gedung ke semua arah. Untuk itu bola hanya boleh menyentuh tanah dan atau sistem terminasi-udara.

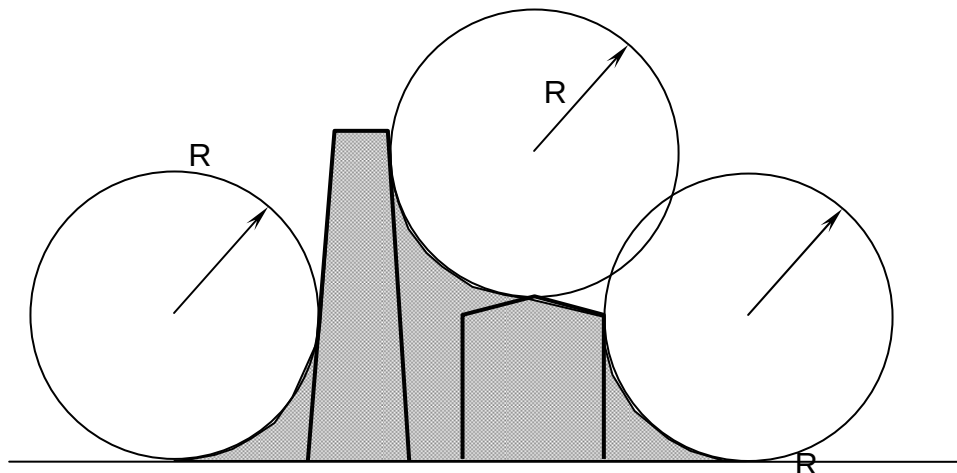
6.5.4.3 Radius bola gulir harus sesuai dengan tingkat proteksi SPP yang dipilih menurut tabel 3.

Gambar 12, 13 dan 14 memperlihatkan contoh pemakaian metoda bola gulir terhadap bangunan gedung yang berbeda. Bola dengan radius R digulirkan sekeliling dan di atas bangunan gedung hingga bertemu dengan bidang tanah atau bangunan gedung permanen atau obyek yang berhubungan dengan bidang bumi yang mampu bekerja sebagai konduktor petir. Titik sentuh bola gulir pada bangunan gedung merupakan titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus di proteksi oleh konduktor terminasi-udara.

6.5.5 Metoda jala

6.5.5.1 Untuk keperluan perlindungan permukaan yang datar, SPP jala diyakini melindungi seluruh permukaan jika kondisi berikut dipenuhi:

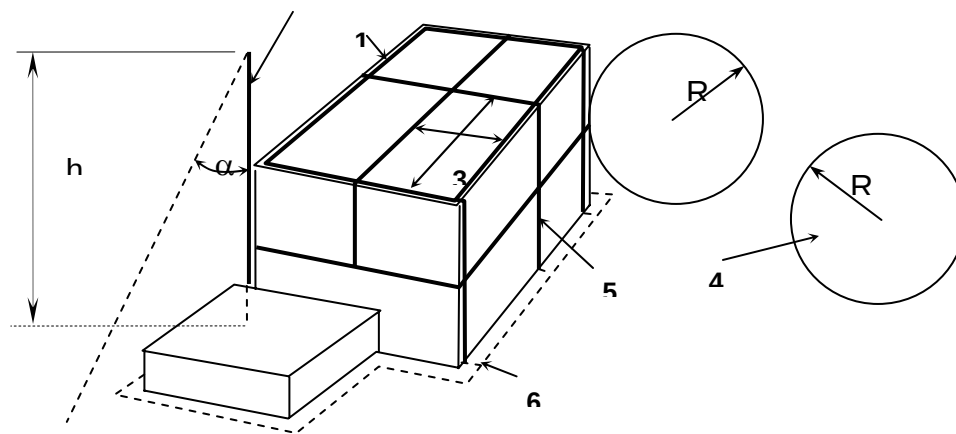
- a) konduktor terminasi-udara ditempatkan pada:
 - 1) garis pinggir sudut atap,
 - 2) serambi atap,
 - 3) garis bubungan atap, jika kemiringan atap lebih dari $1/10$



R Radius bola gulir menurut Tabel 3

CATATAN Konduktor terminasi-udara SPP dipasang pada semua titik dan sekmen yang disentuh oleh bola gulir, dengan radius yang sesuai tingkat proteksi yang dipilih.

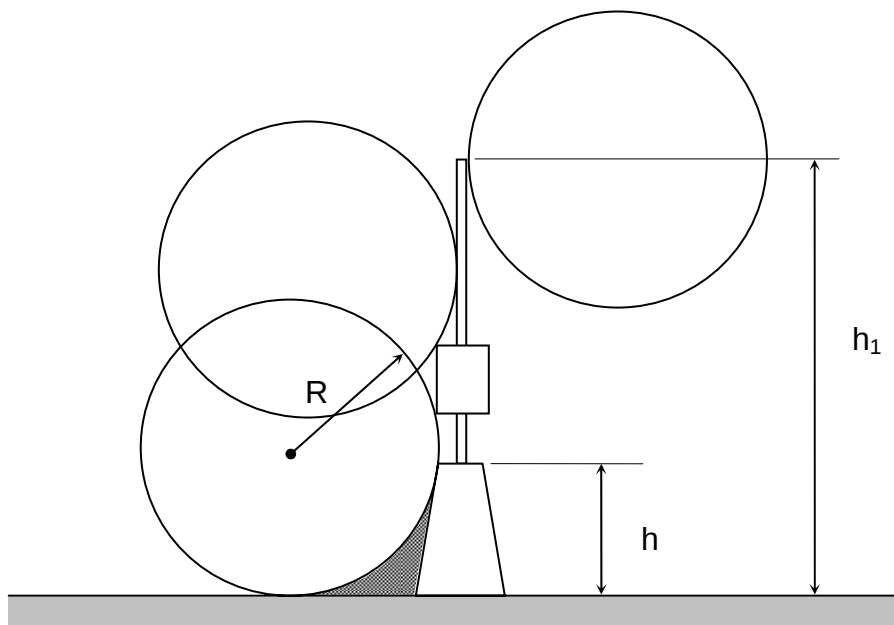
Gambar 12a Perancangan terminasi-udara SPP menurut metoda bola gulir



- | | | | |
|---|--------------------|----------|--------------------------------------|
| 1 | Kawat penangkap | h | Tinggi terminasi-udara di atas tanah |
| 2 | Batang penangkap | α | Sudut proteksi |
| 3 | Ukuran jala | R | Radius bola gulir menurut Tabel 3 |
| 4 | Bola gulir | | |
| 5 | Konduktor penyalur | | |
| 6 | Electroda bumi | | |

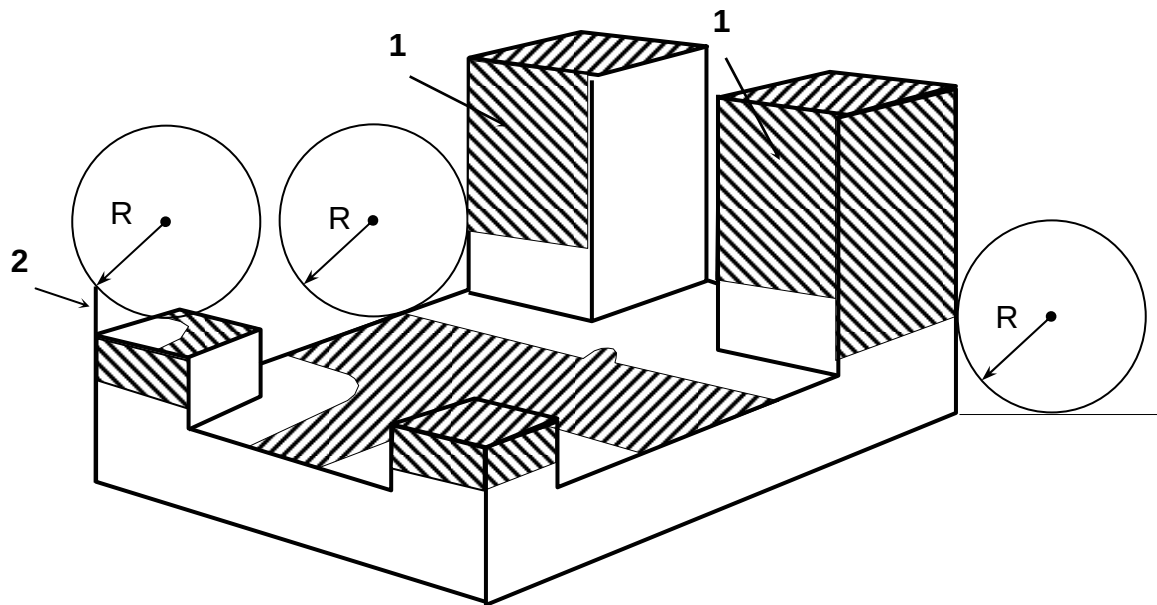
Gambar 12b Susunan umum elemen terminasi-udara

Gambar 12 Perancangan terminasi-udara SPP menurut metoda bola gulir dan susunan umum elemen terminasi-udara



- | | |
|-------|--|
| R | Radius bola gulir menurut Tabel 3 |
| h_t | Tinggi fisik menara, tiang dan batang terminasi-udara |
| h | Tinggi terminasi-udara sesuai yang digunakan dalam Tabel 3 |

Gambar 13 Perancangan SPP pada menara dengan menggunakan terminasi-udara metoda bola gulir



1 Lihat catatan

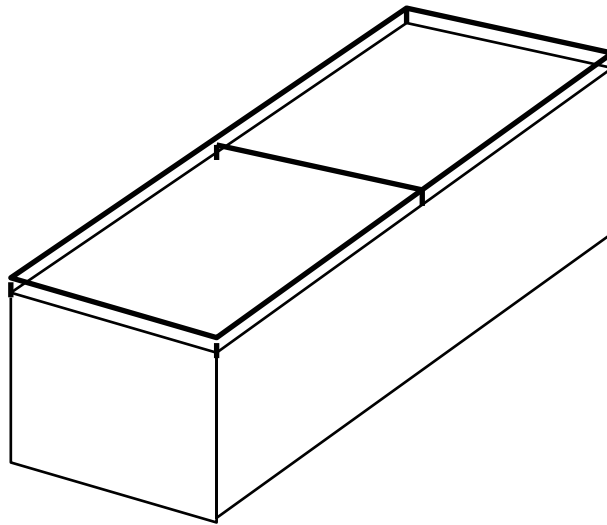
2 Tiang diatas bangunan gedung

R Radius bola gulir menurut Tabel 3

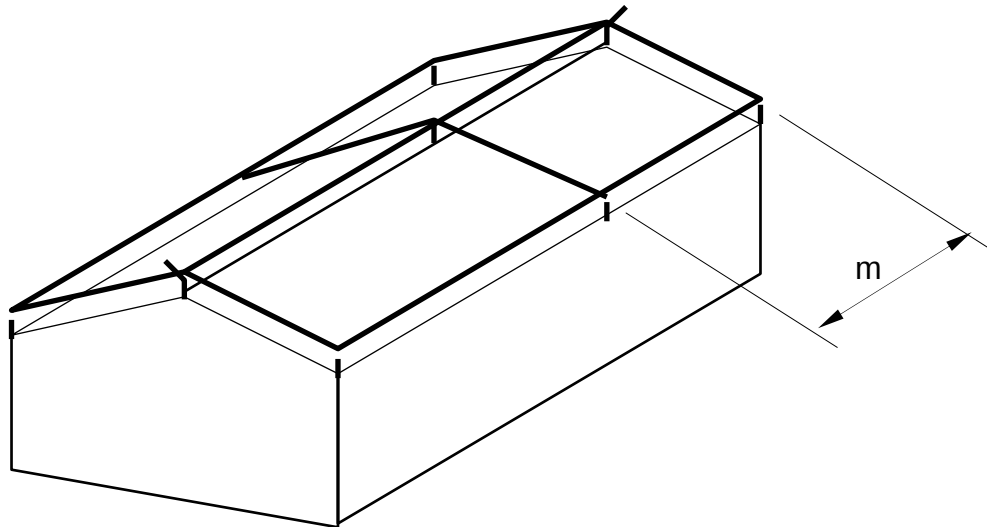
CATATAN Luasan diarsir (1), diperlihatkan sebagai luasan penangkapan petir dan memerlukan proteksi menurut Tabel 4

Gambar 14 Perancangan jaringan konduktor terminasi-udara SPP pada bangunan gedung dengan bentuk yang rumit

- b) permukaan samping pada bangunan gedung yang tingginya lebih dari radius bola gulir yang relevan dengan tingkat proteksi yang dipilih (lihat tabel 3), dilengkapi dengan sistem terminasi-udara;
- c) dimensi jala pada jaringan terminasi-udara tidak lebih dari harga yang diberikan dalam tabel 3;



Gambar 15a Contoh perancangan terminasi-udara pada SPP tak-terisolasi pada bangunan gedung atap datar



Gambar 15b Contoh perancangan terminasi-udara pada SPP tak-terisolasi pada bangunan gedung atap miring

Gambar 15 contoh rancangan terminasi-udara SPP tak-terisolasi

- d) jaringan sistem terminasi-udara disempurnakan sedemikian rupa hingga arus petir akan selalu mengalir melalui dua lintasan logam yang berbeda; tidak boleh ada instalasi logam menonjol keluar dari volume yang dilindungi oleh sistem terminasi-udara;
- e) konduktor terminasi-udara harus mengikuti lintasan terpendek yang dimungkinkan.

6.5.5.2 Contoh SPP tak-terisolasi dengan menggunakan rancangan terminasi-udara metoda jala diperlihatkan dalam gambar 15a untuk bangunan gedung atap-datar dan dalam gambar 15b untuk bangunan gedung atap-miring.

6.5.6 Pemilihan jenis sistem terminasi-udara

6.5.6.1 Standar ini tidak memberikan kriteria untuk pemilihan sistem terminasi-udara karena dianggap batang, kawat rentang dan konduktor jala adalah serupa.

Dipertimbangkan bahwa:

- a). sistem terminasi-udara yang terdiri dari beberapa batang lebih baik untuk SPP terisolasi dan untuk bangunan gedung sederhana berdimensi kecil atau untuk bagian kecil dari bangunan gedung besar. Tinggi batang untuk SPP tak-terisolasi sebaiknya antara 2 m hingga 3 m supaya mencegah peningkatan frekuensi sambaran petir langsung.
SPP batang tidak cocok untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir dan tidak sesuai dengan tingkat proteksi SPP yang dipilih;
- b). rentangan kawat dapat digunakan dalam semua kasus sebelumnya dan untuk bentuk bangunan gedung yang rendah dan panjang ($a/b \geq 4$);
- c). sistem terminasi-udara terdiri dari jala konduktor untuk keperluan secara umum;

6.5.7 Rancangan konduktor penyalur

6.5.7.1 Umum

6.5.7.1.1 Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya memperhitungkan kenyataan bahwa, jika arus petir dibagi dalam beberapa konduktor penyalur, risiko loncatan kesamping dan gangguan elektromagnetik di dalam bangunan gedung berkurang.

6.5.7.1.2 Hal tersebut mengikuti bahwa, sejauh memungkinkan, konduktor penyalur sebaiknya merata menempati sepanjang keliling bangunan gedung dan dengan konfigurasi simetris.

6.5.7.1.3 Pembagian arus diperbaiki tidak hanya dengan menambah jumlah konduktor penyalur tetapi juga dengan pemasangan cincin penyama tegangan.

6.5.7.1.4 Konduktor penyalur sebaiknya ditempatkan sejauh mungkin dari sirkit internal dan bagian logam untuk menghindari keharusan pemasangan IPP.

6.5.7.1.5 Harus selalu diingat bahwa:

- a) konduktor penyalur harus sependek mungkin (untuk mendapatkan induktansi sekecil mungkin);
- b) jarak rata-rata antara konduktor penyalur diperlihatkan dalam tabel 4;
- c) geometri konduktor penyalur dan cincin penyama tegangan mempengaruhi nilai jarak aman (lihat 6.8.1., evaluasi koefisien k_c);
- d) pada bangunan gedung kantilever jarak aman harus dievaluasi berdasarkan risiko loncatan-menysamping terhadap personel (lihat 6.8.4., bangunan gedung dengan bagian kantilever)

Tabel 4 Jarak rata-rata antara konduktor penyalur menurut tingkat proteksi

Tingkat proteksi	Jarak rata-rata (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

6.5.7.2 Jumlah konduktor penyalur dan penempatan untuk SPP terisolasi.

6.5.7.2.1 Jika sistem terminasi-udara terdiri dari beberapa batang pada beberapa tiang terpisah (atau satu tiang), maka paling sedikit diperlukan satu konduktor penyalur untuk setiap tiang. Dalam kasus tiang terbuat dari logam atau baja penguat terinterkoneksi, tidak diperlukan lagi konduktor penyalur.

6.5.7.2.1 Jika sistem terminasi-udara terdiri dari kawat terentang (atau satu kawat), paling sedikit diperlukan satu konduktor penyalur pada setiap ujung kawat.

6.5.7.2.3 Jika sistem terminasi udara membentuk sebuah jaringan konduktor, paling sedikit diperlukan satu konduktor penyalur untuk setiap bangunan gedung penyangganya.

6.5.7.3 Jumlah konduktor penyalur dan penempatan untuk SPP tak terisolasi

6.5.7.3.1 Jika sistem terminasi-udara hanya satu batang, paling sedikit diperlukan satu konduktor penyalur. Dalam kasus seluruh bangunan gedung terbuat dari baja, tidak diperlukan tambahan konduktor penyalur.

6.5.7.3.2 Jika sistem terminasi-udara terdiri dari rentangan kawat, paling sedikit diperlukan satu konduktor penyalur pada setiap ujung kawat.

6.5.7.3.3 Jika sistem terminasi-udara terdiri dari jala konduktor, paling sedikit diperlukan dua konduktor penyalur, terbagi disekeliling bangunan gedung yang diproteksi. Nilai rata-rata jarak antara konduktor penyalur tidak lebih dari nilai yang tercantum dalam tabel 4.

6.5.7.3.4 Nilai rata-rata jarak antara konduktor-kebawah terkait dengan jarak aman dalam butir 6.6.2. Jika nilai ini lebih besar dari yang dispesifikasikan dalam tabel 4, jarak aman harus ditingkatkan.

6.5.8 Rancangan sistem terminasi-bumi**6.5.8.1 Umum**

6.5.8.1.1 Sistem terminasi-bumi harus mempunyai konfigurasi yang dapat mencegah nilai tegangan langkah dan tegangan sentuh yang berbahaya.

6.5.8.1.2 Untuk menyebarkan arus petir ke bumi tanpa menyebabkan tegangan-lebih yang berbahaya, bentuk dan dimensi sistem terminasi-bumi lebih penting dari harga resistans spesifik dari elektroda bumi. Namun demikian, harga resistansi pembumian yang rendah dianggap lebih baik.

6.5.8.1.3 Dipandang dari proteksi petir, sistem terminasi-bumi tunggal terintegrasi lebih baik dan cocok untuk semua keperluan (yaitu proteksi petir, sistem daya tegangan rendah, sistem telekomunikasi dan sistem instrumentasi). Oleh karena itu rancangan rincian pembedaan dan ikatan harus menurut standar atau peraturan yang berlaku.

6.5.8.2 Elektroda bumi

6.5.8.2.1 Jenis elektroda bumi berikut harus digunakan: satu atau lebih elektroda cincin, elektroda vertikal (atau miring), elektroda radial, atau elektroda bumi pondasi.

6.5.8.2.2 Plat dan plat berlubang-lubang kecil (anyaman) adalah merupakan pilihan tetapi harus dihindari jika terdapat kemungkinan korosi, khususnya pada sambungan.

6.5.8.2.3 Panjang minimum elektroda bumi menurut tingkatan proteksi untuk bermacam-macam resistivitas tanah diberikan dalam gambar 16.

6.5.8.3 Susunan pembedaan tipe A

6.5.8.3.1 Susunan tipe ini terdiri dari elektroda bumi radial atau vertikal. Setiap konduktor penyalur harus dihubungkan paling tidak ke sebuah elektroda bumi terpisah terdiri dari salahsatu elektroda radial atau vertikal (atau miring).

6.5.8.3.2 Jumlah minimum elektroda bumi harus dua. Panjang minimum setiap elektroda horisontal radial adalah l_1 dan untuk elektroda vertikal adalah $0,5 l_1$, lihat gambar 16.

6.5.8.4 Susunan pembedaan tipe B

Untuk elektroda bumi cincin (atau elektroda bumi pondasi), radius rata-rata r dari area yang dicakup oleh elektroda bumi cincin (atau elektroda bumi pondasi) tidak lebih kecil dari harga l_1 :

$$r \geq l_1$$

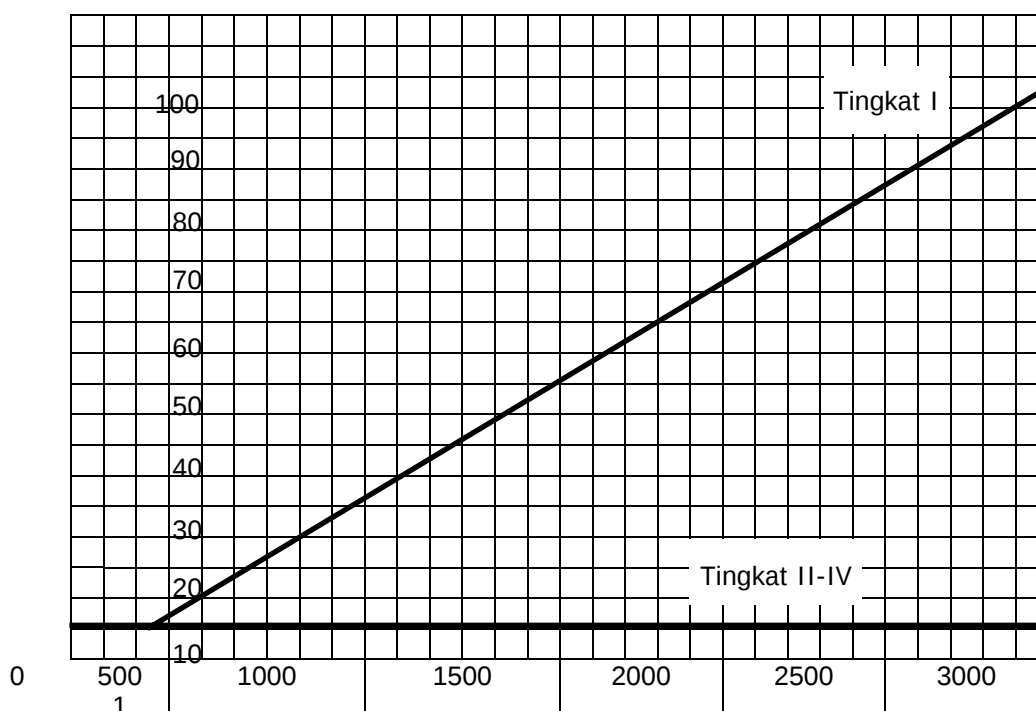
l_1 adalah yang dinyatakan dalam gambar 16 masing-masing menurut tingkat proteksi I dan II sampai IV.

6.5.8.4.2 Bila diperlukan nilai l_1 lebih besar dari nilai r yang memungkinkan, elektroda radial atau vertikal harus ditambah dengan panjang masing-masing l_r (horisontal) dan l_v (vertikal) diberikan oleh :

$$l_r = l_1 - r$$

dan

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$



Gambar 16 Panjang minimum I_1 elektroda bumi menurut tingkat proteksi.
Tingkat II sampai IV tidak tergantung resistivitas ρ

6.5.8.5 Susunan pembumian dalam kondisi khusus

6.5.8.5.1 Bila IPP menurut sub-seksi 6.6.1. diperlukan tetapi SPP eksternal tidak diperlukan, elektroda horisontal dengan panjang I_1 atau elektroda vertikal dengan panjang $0,5I_1$ dapat digunakan sebagai terminasi-bumi.

6.5.8.5.2 Terminasi-bumi instalasi listrik tegangan rendah dapat digunakan untuk keperluan ini bila dipenuhi panjang elektroda bumi tidak lebih kecil dari I_1 untuk elektroda horisontal atau $0,5I_1$ untuk elektroda vertikal.

6.6 Rancangan SPP internal

6.6.1 Ikatan penyama potensial (IPP)

6.6.1.1 Umum

Penyamaan potensial sangat penting untuk mengurangi bahaya kebakaran dan ledakan serta meningkatkan keselamatan di dalam ruang yang diproteksi.

6.6.1.1.1 Penyamaan potensial dicapai dengan cara memasang konduktor pengikat atau proteksi surja yang menghubungkan SPP, kerangka logam bangunan gedung, instalasi logam, bagian konduktif luar, serta instalasi listrik dan instalasi telekomunikasi dalam ruang yang diproteksi.

6.6.1.1.2 Jika SPP terpasang, komponen-komponen logam di luar gedung yang diproteksi juga dapat bisa terpengaruh, karenanya mungkin diperlukan IPP bagi komponen-komponen logam tersebut.

6.6.1.1.3 Jika SPP eksternal tidak dipasang tetapi proteksi terhadap pengaruh petir pada kabel-kabel listrik dan atau data, maka IPP harus dipasang.

6.6.1.2 Pengikat penyama tegangan untuk instalasi logam

6.6.1.2.1 IPP harus dipasang pada lokasi berikut:

- pada ruang bawah tanah atau dekat permukaan tanah. Konduktor pengikat harus dihubungkan ke batang pengikat yang dibuat dan dipasang sedemikian rupa sehingga memudahkan untuk melaksanakan inspeksi.
Batang pengikat harus dihubungkan ke sistem terminasi-bumi. Untuk gedung yang besar, lebih dari satu batang pengikat dapat dipasang dan saling dihubungkan.
- di atas tanah pada jarak interval vertikal tidak lebih dari 20 m untuk bangunan gedung yang tingginya lebih dari 20 m. Batang pengikat harus dihubungkan ke konduktor cincin horizontal yang terhubung ke konduktor penyalur.
- apabila letak peralatan terlalu jauh dari batang IPP yang tersedia.

6.6.1.2.2 IPP secara normal tidak diperlukan untuk butir b) dan c) diatas untuk instalasi logam di dalam bangunan gedung.

6.6.1.2.3 Untuk SPP-terisolasi, IPP harus dipasang hanya di permukaan bumi.

6.6.1.2.4 Jika lempengan berisolasi disisipkan pada saluran gas atau pipa air, maka harus dijembatani oleh GPS yang dirancang untuk kondisi operasi.

6.6.1.2.5 IPP dapat diperoleh dengan bantuan:

- konduktor IPP, dalam hal kontinuitas listrik tidak dijamin oleh IPP alami.
- Jika seluruh arus petir atau sebagian besar arus petir mengalir melalui sambungan IPP, dimensi minimum untuk luas penampang konduktor IPP diberikan dalam tabel 5. Dalam kasus lain, luas penampang diberikan dalam tabel 6;
- GPS, bila konduktor pengikat tidak diizinkan

6.6.1.2.6 GPS sebaiknya dipasang sedemikian rupa agar dapat diinspeksi

Tabel 5 Dimensi minimum untuk konduktor IPP yang menyalurkan sebagian besar arus petir

Tingkat proteksi	Bahan	Luas penampang (mm²)
I sampai IV	Cu	16
	Al	25
	Fe	50

Tabel 6 Dimensi minimum untuk konduktor IPP yang menyalurkan bagian arus petir yang lebih kecil

Tingkat proteksi	Bahan	Luas penampang (mm²)
I sampai IV	Cu	6
	Al	10
	Fe	16

6.6.1.3 IPP untuk bagian konduktif eksternal

Untuk bagian konduktif eksternal, IPP harus dibuat sedekat mungkin dengan titik masuk ke dalam bangunan gedung.

Diharapkan bahwa bagian penting arus petir akan mengalir melalui hubungan IPP. Oleh karena itu persyaratan yang diuraikan dalam butir 6.6.1.2. harus diterapkan.

6.6.1.4 IPP untuk instalasi logam, instalasi listrik, instrumentasi, telekomunikasi, dan bagian konduktif luar dalam kondisi khusus.

Di mana SPP eksternal tidak diperlukan, instalasi metal, instalasi listrik, telekomunikasi, instrumentasi dan bagian konduktif luar harus dihubungkan ke terminasi-bumi di permukaan tanah untuk memenuhi persyaratan butir 6.5.8.5.

6.6.1.5 IPP untuk instalasi listrik, instrumentasi dan telekomunikasi dalam kondisi umum

6.6.1.5.1 IPP untuk instalasi listrik, telekomunikasi dan instrumentasi harus dibuat sesuai dengan butir 6.6.1.2. IPP harus dibuat sedekat mungkin dengan titik masuk kedalam bangunan gedung.

6.6.1.5.2 Jika konduktor berperisai atau di dalam conduit logam, biasanya cukup hanya mengikat perisai, hanya jika perisai ini memberikan resistans listrik sedemikian sehingga beda potensial yang melaluinya tidak akan membahayakan kabel dan perlengkapan yang terhubung.

6.6.1.6 Kedekatan instalasi ke SPP

6.6.1.6.1 Untuk mencegah latu berbahaya bila IPP tidak dapat dicapai, jarak pemisah, s , antara SPP dan instalasi logam juga antara bagian konduktif eksternal dan saluran harus diperbesar di atas jarak aman, d :

$$s \geq d$$

$$s = k_j \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad (\text{m})$$

di mana:

k_j = tergantung pada tingkat proteksi SPP yang dipilih Tabel 7 .

K_C = tergantung pada konfigurasi dimensi (lihat Gambar 17, 18, 19)

k_m = tergantung pada bahan pemisah (Lihat Tabel 7).

$l(\text{m})$ = jarak sepanjang konduktor penyalur dari titik terdekatnya yang dipertimbangkan ke titik IPP terdekat

Rumus ini berlaku jika jarak konduktor penyalur kelipatan 20 m.

6.6.1.6.2 Dalam kasus bangunan gedung beton bertulang dengan baja penguat terinterkoneksi dan dalam kasus bangunan gedung kerangka baja atau bangunan gedung dengan kinerja pemerisaian setara, persyaratan kedekatannya biasanya telah dipenuhi.

Tabel 7 Kedekatan instalasi ke SPP, Nilai koefisien k_i

Tingkat proteksi	k_i
I	0.1
II	0.075
III dan IV	0.05

Tabel 8 Kedekatan instalasi ke SPP, Nilai koefisien k_m

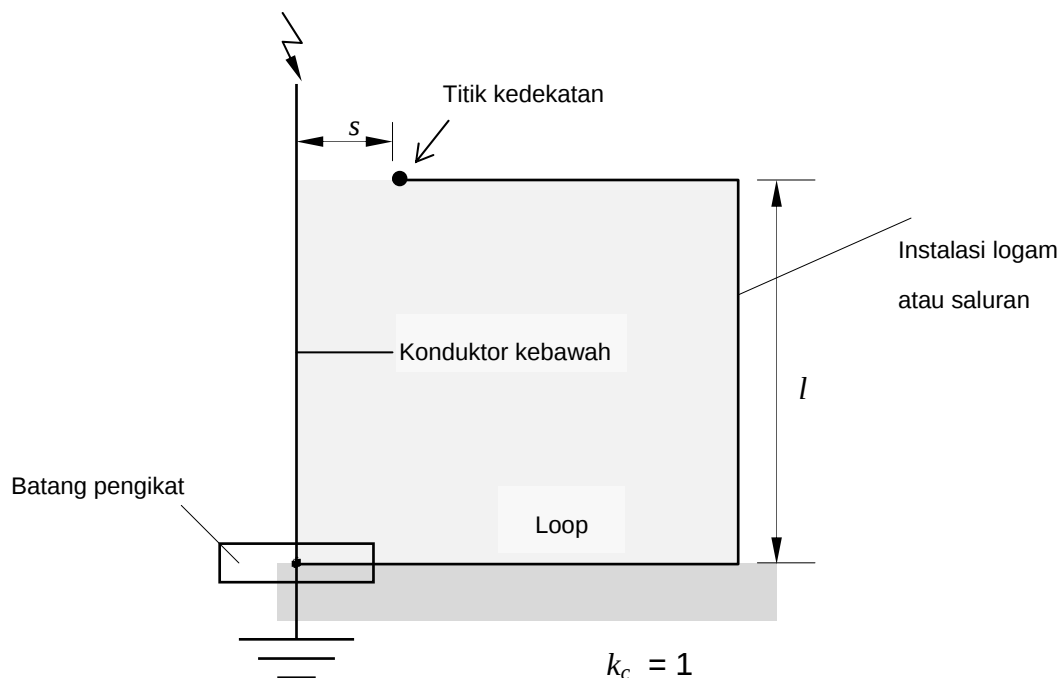
Bahan	k_m
Udara	1
Padat	0.5

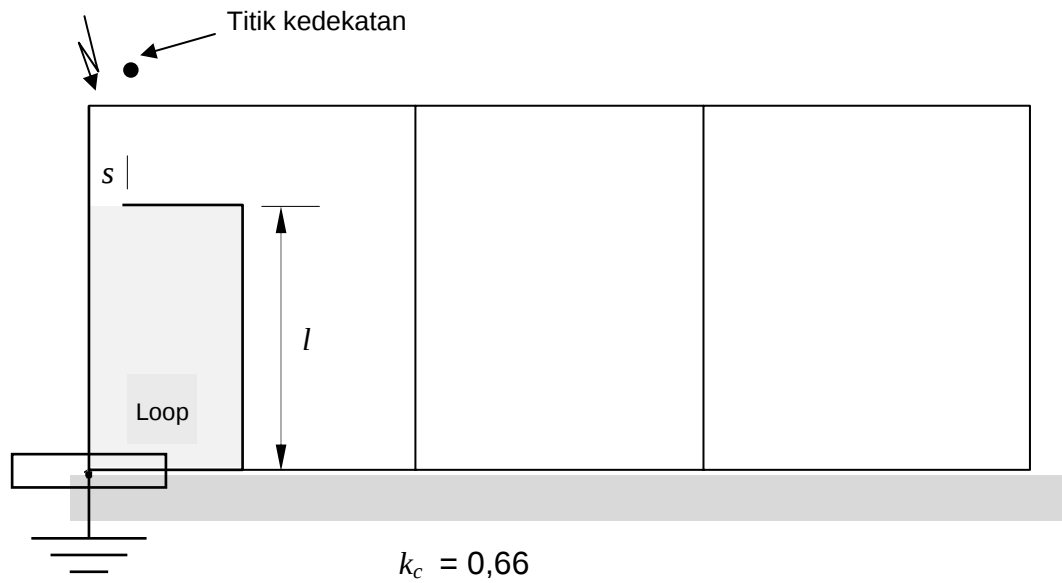
6.6.2 Jarak aman

6.6.2.1 Pemisahan jarak yang cukup melebihi jarak aman ditentukan menurut 6.6.1.6, perlu dijaga antara SPP eksternal dan semua bagian konduktif yang dihubungkan ke IPP pada bangunan gedung.

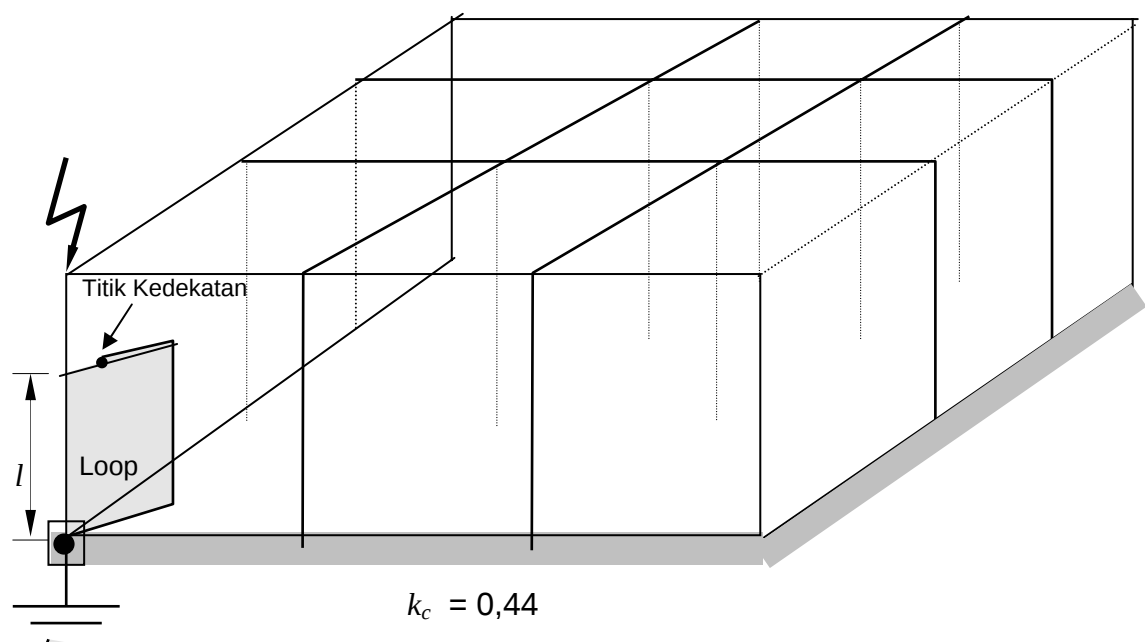
6.6.2.2 Tidak hanya bagian konduktif dari bangunan gedung dan peralatan yang terpasang di dalamnya seharusnya dihubungkan ke IPP tetapi juga perisai konduktor dari sistem suplai daya dan perlengkapan komunikasi.

6.6.2.3 Jarak aman bisa dievaluasi dengan rumus yang diperlihatkan dalam 6.6.1.6. untuk nilai k_c yang sudah dihitung untuk konduktor penyalur berjarak 20 m (tingkat proteksi III).

**Gambar 17** Kedekatan instalasi ke SPP. Nilai koefisien k_c dalam konfigurasi satu-dimensi



Gambar 18 Kedekatan instalasi ke SPP. Nilai koefisien k_c dalam konfigurasi dua-dimensi



Gambar 19 Kedekatan instalasi ke SPP. Nilai koefisien k_c dalam konfigurasi tiga-dimensi

6.6.2.4 Untuk jarak konduktor penyalur yang tidak sama dari 20 m dan untuk pemasangan simetris, evaluasi k_C seharusnya merupakan jarak antara titik sambungan ke IPP dan titik kedekatannya.

6.6.2.5 Dalam bangunan gedung yang komponen bangunannya digunakan sebagai konduktor penyalur alami, sebagai contoh baja penguat di dalam beton, titik referensi harus pada titik sambung konduktor penyalur alami.

6.6.2.6 Dalam kasus:

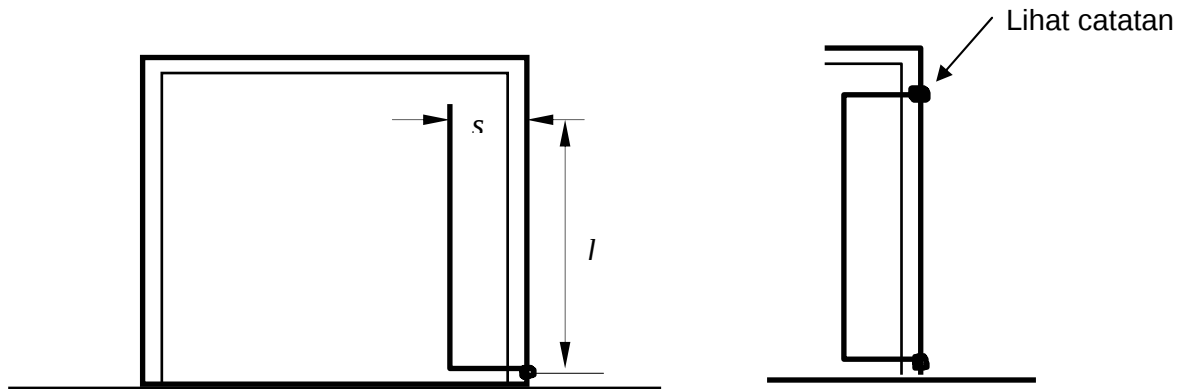
- a) bangunan gedung beton bertulang dengan baja penguat interkoneksi;
- b) bangunan gedung kerangka baja;
- c) bangunan gedung dengan kinerja pemerisaian setara;
- d) SPP eksternal terisolasi.

IPP harus dibuat diatas permukaan tanah.

6.6.2.7 Dalam kasus khusus pengikat penyama tegangan dapat saja diperlukan di permukaan atap.

6.6.2.8 Dalam kasus bangunan gedung pada industri, bagian konduktif dari bangunan gedung dan atap secara umum boleh digunakan sebagai perisai elektromagnetik dan sebagai konduktor penyalur dan sebagai IPP.

6.6.2.9 Dalam kasus bangunan gedung pada industri, bagian konduktif dari bangunan gedung dan atap secara umum boleh digunakan sebagai perisai elektromagnetik dan sebagai konduktor penyalur dan sebagai IPP.



s Jarak pisah
 l Panjang untuk evaluasi jarak aman
 d Jarak aman (lihat 6.6.1.6)

Gambar 20a Jarak pisah $s \geq d$

Gambar 20b Jarak pisah $s < d$

CATATAN Bila jarak pisah tidak dapat dinaikkan diatas jarak aman d pengikat harus dipasang pada titik dengan jarak terdekat, gambar 20b.

Gambar 20 Jarak pisah antara SPP dan instalasi logam

6.6.2.10 Gambar 20, 21, dan 22 menggambarkan cara menggunakan panjang kritis untuk perhitungan jarak aman d , menurut 6.6.1.6, diukur pada SPP.

6.6.2.11 Bila tidak mungkin menjaga jarak pisah lebih besar dari jarak aman d seluruh panjang instalasi yang dipertimbangkan, IPP instalasi ke SPP sebaiknya juga dipasang pada titik dengan jarak terdekat dari titik IPP acuan (lihat gambar 20b).

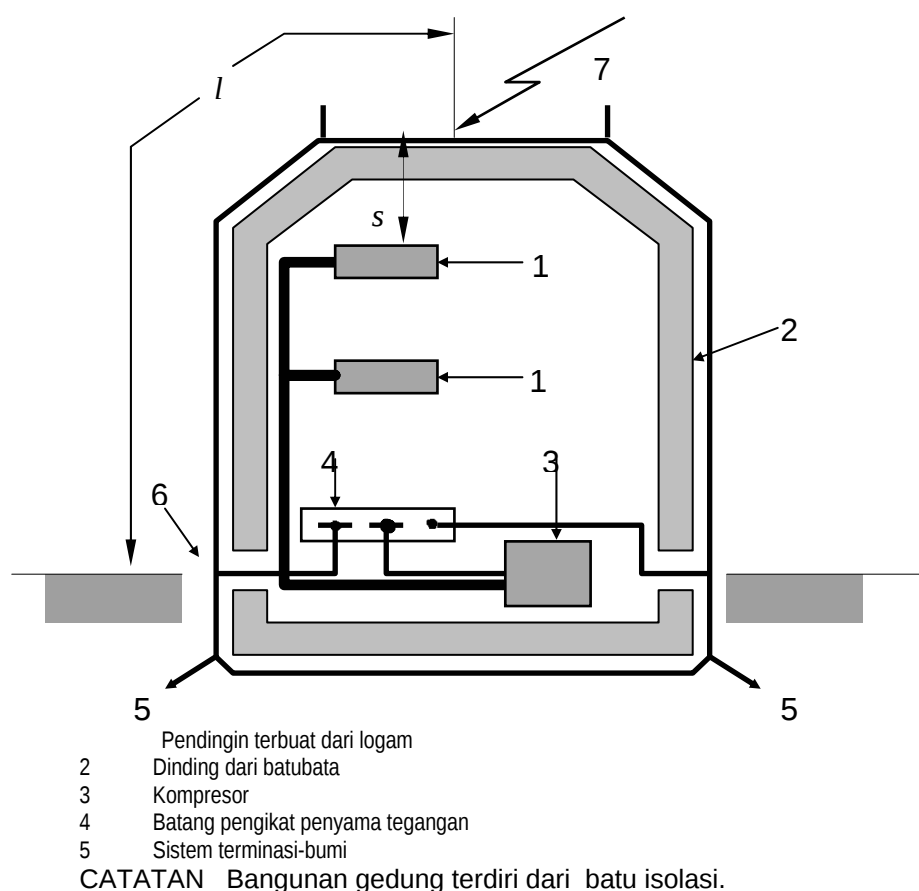
6.6.2.12 Oleh karena itu konduktor listrik perlu di atur kembali jalurnya menurut persyaratan jarak aman (lihat butir 6.6.1.6) atau konduktor listrik perlu diselubungi perisai konduktif yang diikatkan ke SPP pada titik dengan jarak terdekat dari titik IPP acuan.

6.6.2.13 Bila IPP instalasi ke SPP dipasang pada titik acuan dan titik dengan jarak terdekat, kondisi kedekatannya perlu di penuhi sepanjang seluruh lintasan instalasi.

6.6.2.14 Konduktor pada atap dan hubungan batang terminasi-udara boleh dipasang secara tetap pada atap dengan menggunakan pemisah dan pemegang tetap konduktif. Konduktor bisa juga diletakkan pada permukaan dinding jika dinding dibuat dari bahan yang tidak dapat terbakar

6.6.2.15 Kesepakatan perlu dicapai dengan personil yang bertanggung jawab atas instalasi listrik yang melakukan penyusunan kembali sirkit listrik yang tidak sesuai dengan jarak aman ke konduktor terminasi-udara pada bangunan gedung.

6.6.2.16 Bila instalasi listrik tidak dapat disusun lagi jalurnya, IPP ke SPP eksternal perlu dilakukan menurut butir 6.6.1.6.



Gambar 21 Arahan untuk perhitungan jarak aman d untuk titik tangkap petir yang jarang terjadi pada jarak l dari titik referensi menurut 6.6.1.6

6.6.3 Konduktor IPP

6.6.3.1 Konduktor IPP harus tahan terhadap bagian arus petir yang mengalir padanya

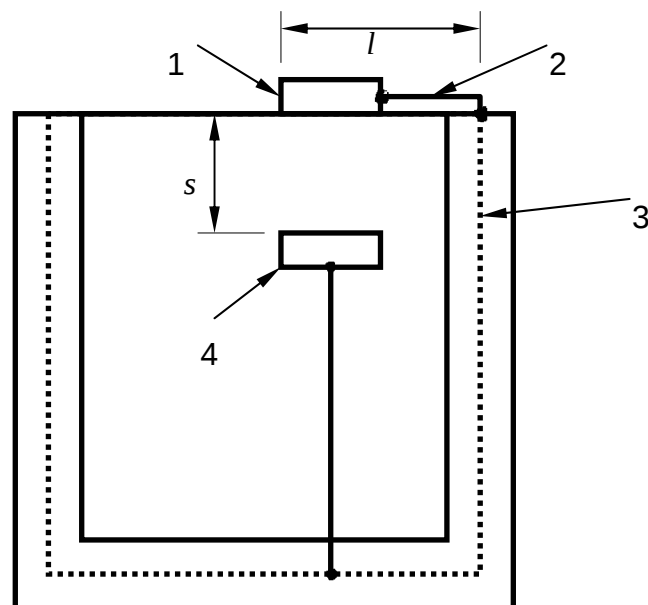
6.6.3.2 Konduktor IPP instalasi metal internal ke bangunan gedung biasanya tidak mengalirkan arus petir yang berarti. Dimensinya harus sesuai dengan tabel 3.

6.6.3.3 Konduktor IPP dari bagian konduktif eksternal ke SPP biasanya mengalirkan sebagian kecil arus petir.

6.6.3.4 Konduktor IPP perlu mempunyai ukuran sedemikian sehingga tahan terhadap arus petir yang dihitung menurut 6.8.2. atau nilai minimum harus sesuai dengan tabel 6.

6.6.4 Gawai proteksi surja

6.6.4.1 Gawai proteksi surja (GPS) harus tahan terhadap arus petir prospektif yang mengalirinya tanpa menimbulkan kerusakan.



- 1 Penguat atap dari logam
- 2 Konduktor pengikat
- 3 Penguat baja di dalam tembok beton
- 4 Bagian konduktif di dalam bangunan gedung
- l Panjang untuk perhitungan jarak aman
- s Jarak pisah: $s \geq d$ (lihat 6.6.1.6)
- d Jarak aman

CATATAN Penguat baja dalam bangunan gedung diguna-kan sebagai referensi penyama tegangan.

Gambar 22 Cara mengukur panjang l yang digunakan dalam perhitungan jarak aman menurut 6.6.1.6, dengan bangunan gedung beton bertulang menurut definisi 3.57

6.6.4.2 Nilai arus nominal berikut dapat dipertimbangkan:

- a) GPS untuk instalasi listrik internal: $I_n \geq 10$ kA untuk arus impuls 8/20 μ s

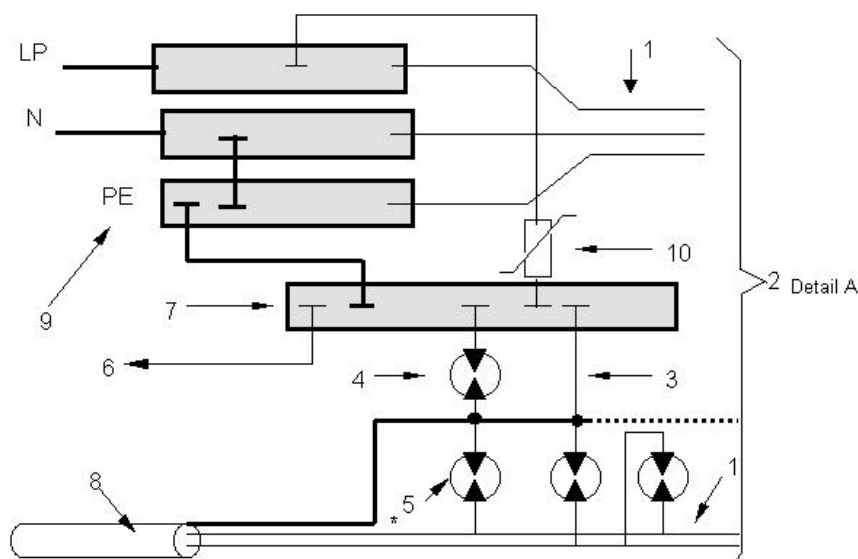
- b) GPS tidak diperlukan untuk kabel berperisai dengan luas penampang perisai lebih dari 10 mm², diikat pada kedua ujungnya.
- c) GPS untuk instalasi listrik masuk ke bangunan gedung :

$$I_n \geq \frac{I_f}{n'}$$

di mana :

I_f = adalah bagian arus petir mengalir melalui saluran yang dihitung menurut 8.8.2;

n' = adalah jumlah total konduktor saluran.



- 1 Ke gawai yang diproteksi
- 2 Lihat Gambar 24, detail A
- 3 Alternatif 1 (lebih disukai)
- 4 Alternatif 2 (bila pengisolan saluran komunikasi dikehendaki)
- 5 Protektor luahan-gas
- 6 Ke terminasi-bumi pada SPP
- 7 Batang IPP
- 8 Saluran telekomunikasi*
- 9 Saluran tenaga listrik
- 10 GPS, lihat Seksi 4
- * Perisai konduktif pada kabel telekomunikasi, jika dipakai.

CATATAN Sambungan langsung antara satu sisi protektor luahan-gas dan batang IPP, alternatif 1 lebih disukai.

Gambar 23 Contoh GPS dipasang pada kotak distribusi induk daya tengan-rendah pada sisi masuk bangunan gedung dan pada masukan induk untuk saluran komunikasi

6.6.4.3 GPS tidak diperlukan untuk kabel berperisai, dengan perisai diikat ke SPP dan luas penampang perisai tidak lebih rendah dari nilai minimum yang dihitung pada 6.8.3.

CATATAN Kenaikan temperatur yang tidak diperbolehkan untuk isolasi pada saluran dapat terjadi jika arus petir relevan pada saluran lebih besar dari:

$I_f = 8 \text{ A}$, untuk saluran berperisai;

$I_f = 8 n' \text{ A}$, untuk saluran tidak berperisai;

di mana :

I_f = adalah arus petir yang mengalir pada cadar dalam kiloampere;

n' = adalah jumlah konduktor penyalur;

A = adalah luas penampang cadar dalam mm^2 .
A' = adalah luas penampang tiap konduktor saluran dalam mm^2 .

6.6.4.4 GPS harus tahan terhadap sebagian arus petir sesuai perhitungan, dan harus memenuhi keperluan pada tegangan sisa maksimum yang disebabkan oleh surja petir (GPS juga harus mempunyai kemampuan untuk memadamkan arus tenaga listrik ikutan dari catu daya jika GPS disambung ke konduktor tenaga listrik).

6.6.4.5 Tegangan surja maksimum yang diizinkan pada GPS, lihat gambar 23, pada tempat masuk bangunan gedung harus dikoordinasikan dengan ketahanan tegangan impuls pada isolasi, tingkat isolasi dasar pada sistem terkait dan tegangan surja maksimum yang diizinkan pada peralatan.

6.6.4.6 GPS pada tempat masuk ke bangunan gedung harus mencegah energi surja utama dari pemasukan bagian konduktif internal bangunan gedung.

6.6.4.7 GPS dengan tegangan sisa terkecil perlu dipasang pada tempat masuk ke bangunan gedung. Jika tidak, penapis lolos-bawah yang sesuai dapat disisipkan antara GPS pada tempat masuk ke bangunan gedung dan GPS yang dipasang dekat dengan peralatan yang diproteksi.

6.6.4.8 GPS dengan tegangan sisa tinggi, dikombinasi dengan penapis lolos-bawah yang sesuai, yang disebut gawai penekan surja, boleh dipasang dekat dengan atau didalam peralatan yang diproteksi, jika diperlukan.

6.6.4.9 Untuk menjamin kombinasi GPS dapat bekerja dengan tepat didalam sistem komunikasi, impedans seri boleh disambung antara GPS pada tempat masuk ke bangunan gedung dan GPS dekat atau didalam peralatan yang diproteksi.
Lihat contoh pemasangan GPS yang diperlihatkan dalam gambar 23 dan 24.

6.6.4.10 Perhatian khusus sebaiknya diberikan pada perbedaan tegangan surja moda bersama antara instalasi tenaga tegangan rendah dan saluran komunikasi yang dihubungkan ke peralatan elektronik.

6.6.4.11 Tegangan surja dapat juga dikendalikan dengan tindakan melengkapi perisai logam dan jalur kabel yang tepat.

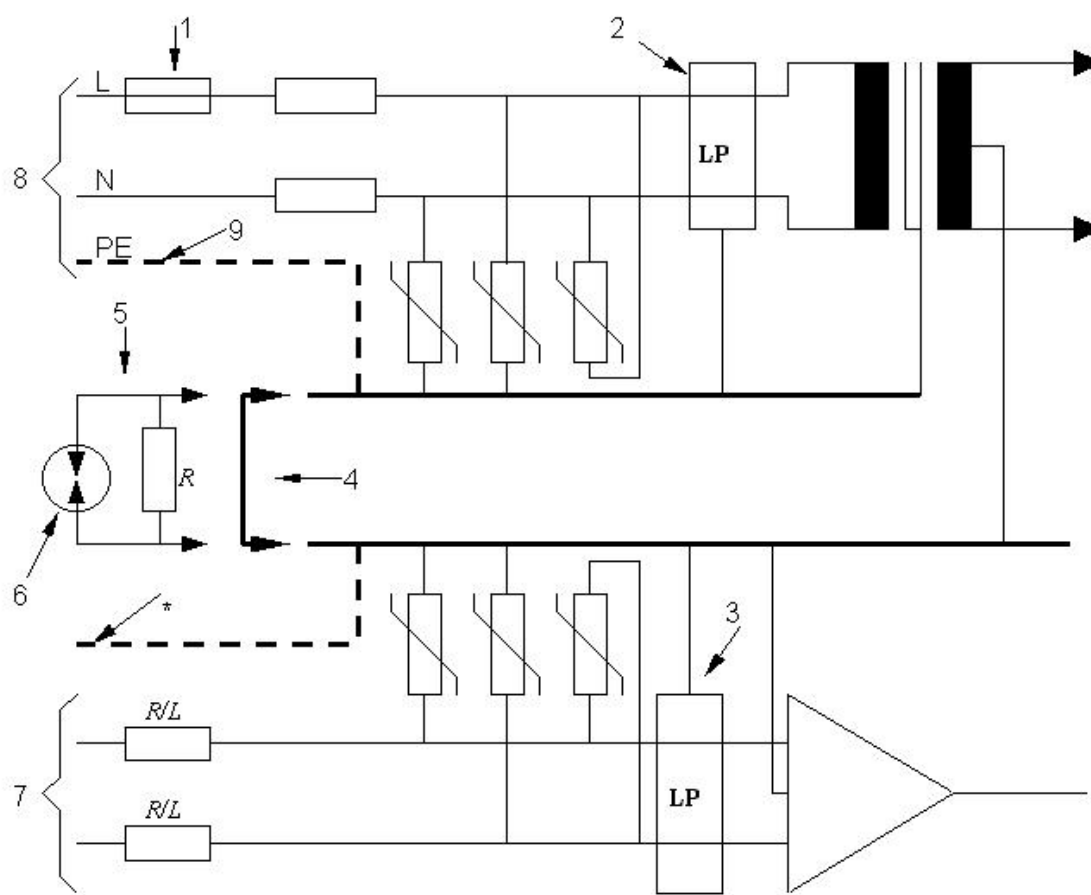
6.6.4.12 Pemasangan GPS sebaiknya dipakai jika tindakan lain tidak cukup atau sulit diterapkan (sehingga mengurangi biaya pemeliharaan SPP dan mengurangi risiko gagal fungsi pada sistem)

6.6.4.13 GPS dalam catu daya tegangan rendah pada peralatan elektronik sebaiknya selalu dipasang setelah pengaman lebur atau pemutus daya otomatis yang akan memutus jika terjadi kelebihan arus dan terkoordinasi dengan baik terhadap gawai proteksi diatasnya.

6.6.4.14 Letak alternatif untuk pengaman lebur adalah di cabang arus sirkit GPS, untuk mencegah peralatan padam bila pengaman lebur bekerja.

6.6.4.15 GPS sebaiknya dihubungkan ke batang IPP dengan konduktor IPP yang pendek.

6.6.4.16 Pabrikan peralatan listrik dan elektronik perlu mempertimbangkan pengalihan energi harmonisa antara berbagai GPS pada waktu perancangan proteksi surja untuk peralatan tersebut.



- | | | | |
|---|---|-----|--|
| 1 | Pengaman lebur | 7 | Saluran telekomunikasi (kabel telekomunikasi perisai konduktif jika dapat digunakan) |
| 2 | Tapis lolos-bawah (daya induk) | 8 | Saluran daya listrik |
| 3 | Tapis lolos-bawah (tele) | 9 | Jika dapat digunakan |
| 4 | Alternatif 1 (hanya dapat digunakan untuk sistem TN-S) | * | Perisai konduktif pada kabel telekomunikasi, jika dipakai. |
| 5 | Alternatif 2 (hanya dapat digunakan untuk sistem TN-S dan TN-C) | LP | Lolos bawah. |
| 6 | Protector luasan-gas | R/L | Resistor atau inductor |

Gambar 24 Detail gambar 23 - Gawai proteksi surja dipasang dekat atau di dalam radas

6.6.5 Instalasi listrik yang menonjol keluar dari ruang yang diproteksi

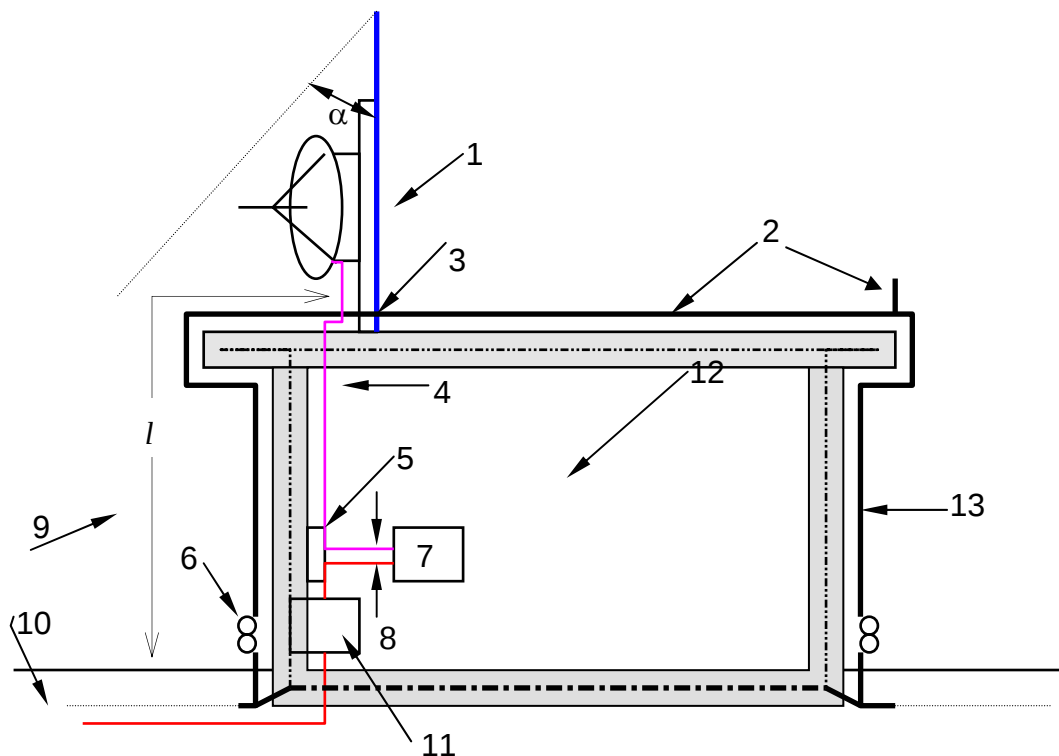
6.6.5.1 Tiang antenna diatas atap bangunan gedung sebaiknya diikat ke sistem terminasi-udara. Kabel antenna koaksial sebaiknya digunakan.

Kabel antenna sebaiknya masuk bangunan gedung pada tempat masuk bersama untuk semua pelayanan atau dekat dengan batang IPP SPP utama. Selubung konduktif kabel antenna harus diikat ke batang IPP SPP utama (lihat gambar 25). Untuk mengurangi tegangan lebih, GPS sebaiknya dipasang pada peralatan.

6.7 Persyaratan listrik dan mekanikal

6.7.1.1 Perancang SPP harus memilih tipe SPP yang cocok untuk mendapatkan konstruksi yang paling efisien. Artinya pertimbangan perancangan bangunan gedung dan bila harus menggunakan SPP terisolasi atau tak terisolasi, atau kombinasi dari kedua tipe proteksi petir.

6.7.1.2 Uji resistivitas tanah harus dilaksanakan sebaiknya sebelum penyelesaian perancangan SPP dan harus dipertimbangkan resistivitas tanah pada berbagai musim.



- 1 Tiang logam
- 2 Terminasi-udara dan konduktor horisontal pada atap
- 3 Sambungan antara konduktor penyalur di atap dan tiang antena logam
- 4 Kabel antena
- 5 Batang IPP utama; perisai logam pada kabel antena dihubungkan ke batang IPP
- 6 Sambungan uji
- 7 Peralatan radio / TV
- 8 Jarak parallel dari kabel antena dan kabel tenaga listrik
- 9 Kabel tenaga listrik
- 10 Sistem terminasi-bumi
- 11 Kotak distribusi tenaga listrik utama dengan GPS
- 12 Elektroda bumi pondasi
- 13 Konduktor SPP
- l Panjang untuk perhitungan jarak aman
- α Sudut proteksi

CATATAN Untuk bangunan gedung kecil cukup hanya dengan dua konduktor dibawah, sesuai 6.5.3.

Gambar 25 Contoh konstruksi proteksi petir dari bangunan gedung dengan antena radio/TV yang menggunakan tiang sebagai batang terminasi-udara

6.7.1.3 Penggunaan bagian konduktif yang cocok pada bangunan gedung perlu dipertimbangkan sebagai komponen alami pada SPP untuk menambah, atau sebagai komponen penting pada SPP.

6.7.1.4 Kerangka baja pada beton bertulang dapat digunakan sebagai konduktor SPP atau dapat digunakan sebagai lapisan perisai konduktif untuk mengurangi medan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh petir didalam bangunan gedung sebagai arus petir yang diinduksikan melalui SPP terisolasi. Tipe SPP terakhir membuat proteksi lebih mudah, terutama untuk bangunan gedung khusus yang berisi instalasi listrik dan elektronik yang luas.

6.7.2 Rancangan Mekanikal

6.7.2.1 Perancang proteksi petir sebaiknya konsultasi dengan personil yang bertanggung jawab atas bangunan gedung, pada bahan perancangan mekanikal mengikuti penyelesaian perancangan listrik.

6.7.2.2 Ukuran minimum komponen proteksi petir untuk berbagai bagian pada SPP sebaiknya mengikuti tabel 5, 6, 10 dan 11.
Bahan digunakan untuk komponen SPP sebaiknya mengikuti tabel 9.

6.7.2.3 Komponen lainnya seperti batang dan klem dapat dipilih menurut standar nasional. Perancang proteksi petir harus memperkirakan kenaikan temperatur dan gaya mekanik pada komponen untuk menjamin relevansi SPP.

6.7.2.4 Bila terdapat perbedaan dari dimensi dan bahan yang dispesifikasikan dalam tabel 5, 6 and 10, penggunaan parameter luasan listrik petir sesuai dengan tingkat proteksi petir yang dipilih diberikan dalam bagian 5, perancang atau pemasang proteksi petir sebaiknya memprakirakan temperatur konduktor petir pada kondisi sedang disambar dan sebaiknya menentukan ukurannya yang sesuai.

6.7.2.5 Bila kenaikan temperatur yang berlebihan menjadi perhatian untuk permukaan tempat komponen karena mudah terbakar atau mempunyai temperatur titik cair rendah, konduktor berpenampang lebih besar harus ditentukan atau langkah keselamatan lainnya harus dipertimbangkan. SPP untuk bangunan gedung yang berisi bahan mudah terbakar harus mengacu pada standar dan peraturan yang berlaku.

6.7.2.6 Perancang SPP dan pemasang SPP harus menetapkan konduktor penguat dan pemegang yang tahan terhadap gaya elektrodinamik dari arus petir dalam konduktor dan juga memberi peluang untuk pemuatan atau penyusutan konduktor akibat perubahan temperatur.

6.8 Perhitungan rancangan

6.8.1 Evaluasi koefisien k_c

Koefisien pembagian arus petir, k_c , diantara konduktor penyalur sebaiknya mengikuti tabel 10 dan gambar 26 dan 27 dalam standar ini.

6.8.2 Arus petir mengalir melalui bagian konduktif eksternal dan instalasi yang masuk ke bangunan gedung

Tabel 9 Nilai koefisien k_c

Tipe system terminasi bumi	Konduktor penyalur	
	Tidak saling terhubung pada permukaan tanah	Saling terhubung pada permukaan tanah
Batang tunggal	1	1
Kawat	1	Lihat gambar 26
Jala	1	Lihat gambar 27

6.8.2.1 Bagian arus petir I_f yang relevan untuk setiap bagian konduktif eksternal atau saluran tergantung pada jumlahnya, resistans bumi ekuivalen dan resistans sistem terminasi-bumi ekuivalen:

$$I_f = \frac{Z \cdot I}{n_1 Z + Z_1}$$

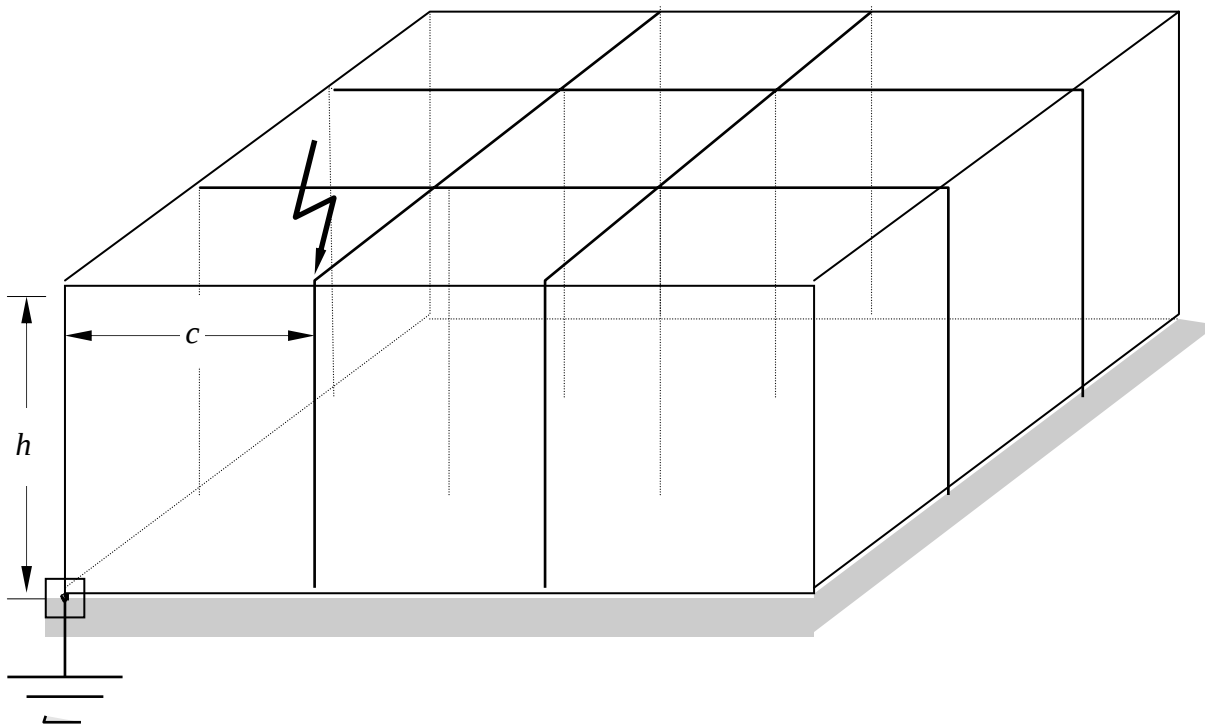
di mana :

Z = resistans ekivalen dari sistem terminasi-bumi (tabel 11);

Z_1 = resistans bumi ekivalen dari bagian eksternal atau saluran (tabel 11);

n_1 = jumlah seluruh bagian eksternal atau saluran;

I = arus petir yang relevan dengan tingkat proteksi.



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

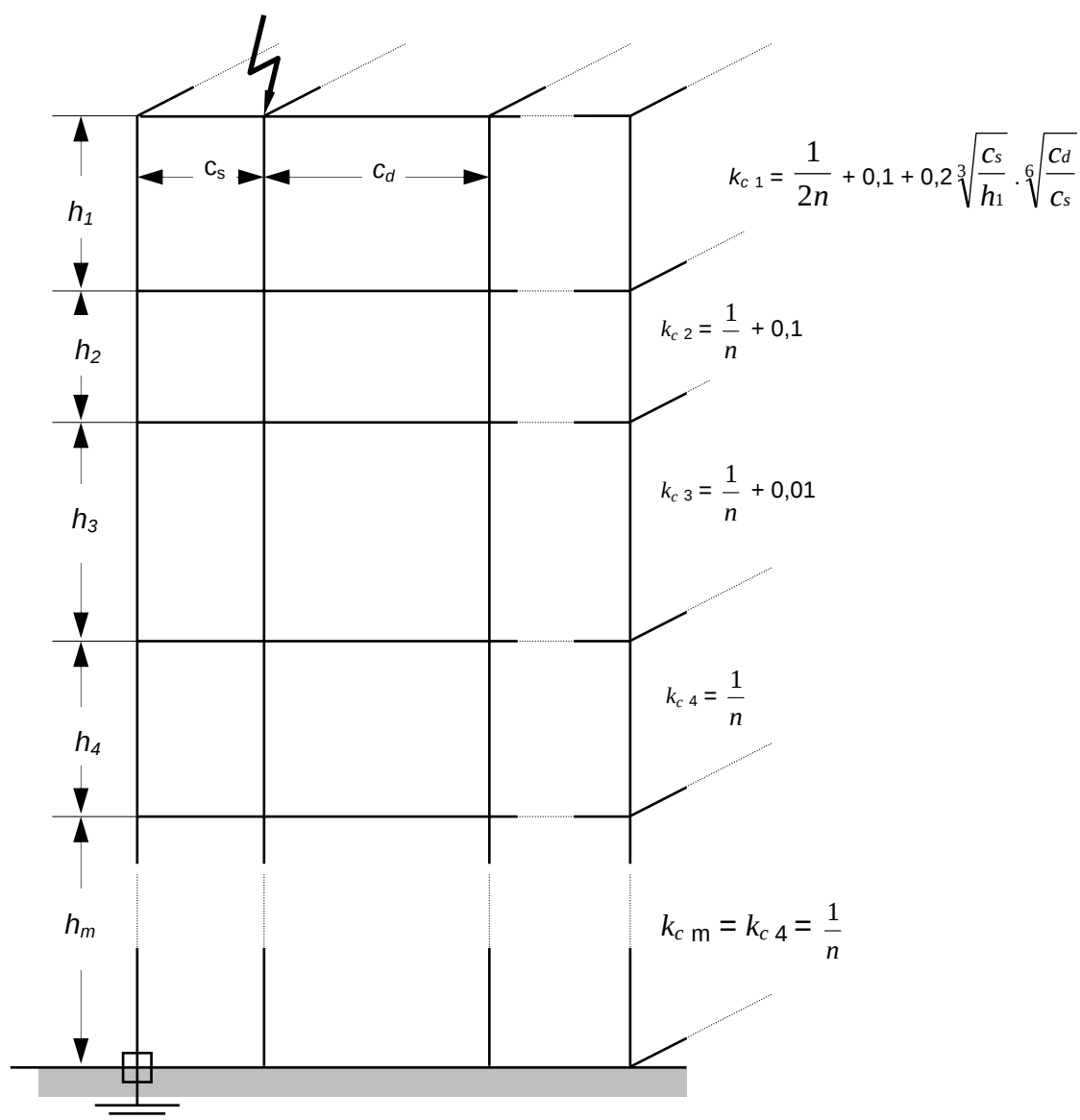
n Jumlah total konduktor penyalur

c Jarak dari konduktor penyalur terdekat

h Jarak antara konduktur cincin

CATATAN Untuk evaluasi rinci nilai k_c gunakan Gambar 27 dan 28.

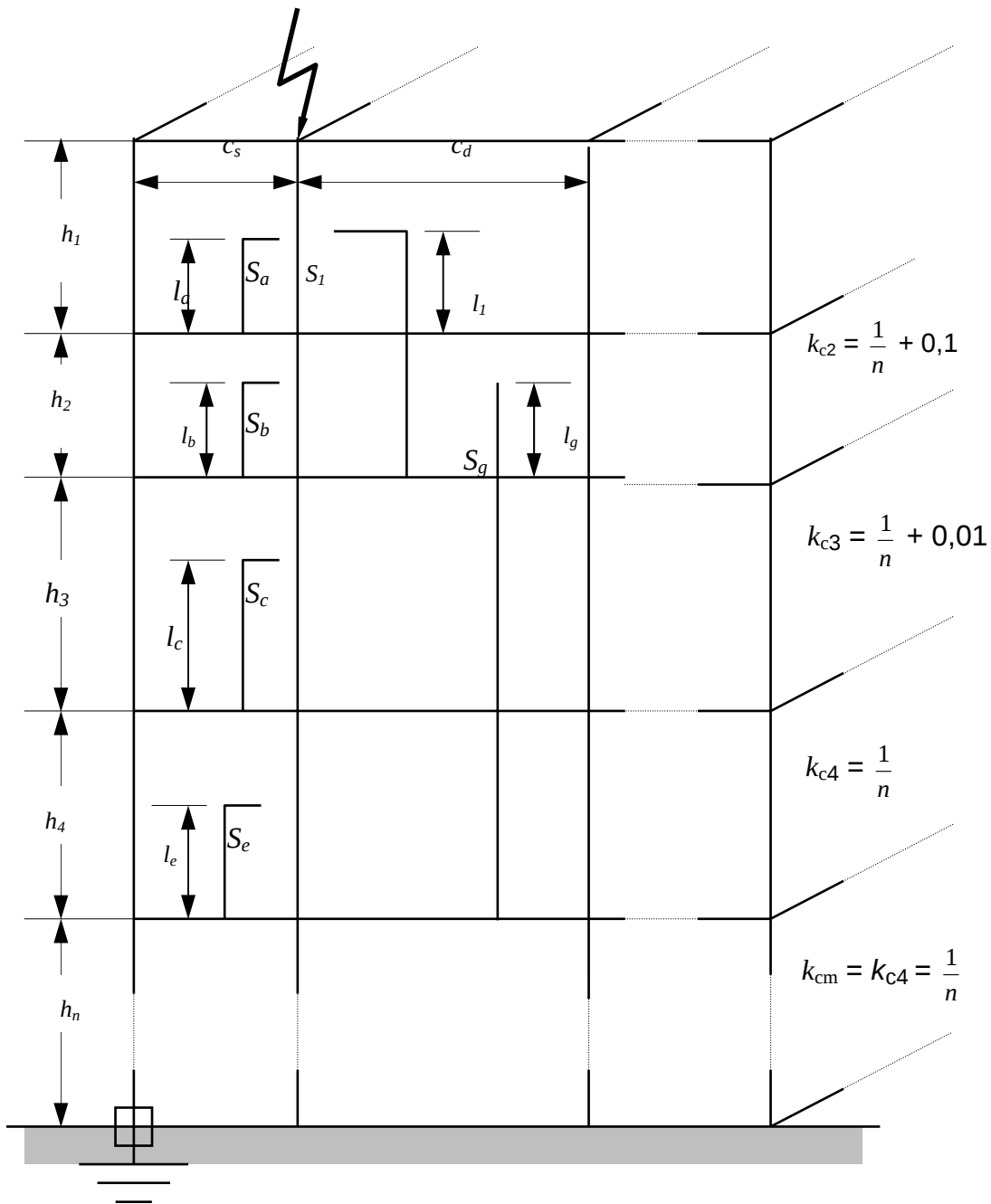
Gambar 26 Nilai koefisien k_c dalam kasus sistem terminasi-udara jala dan sistem terminasi-bumi tipe-B



Gambar 27 Nilai koefisien k_c dalam keadaan sistem terminasi-udara, yang saling terhubung dengan konduktor penyalur cicin dan sistem terminasi-bumi tipe B

Tabel 10 Nilai ekivalen resistan bumi Z dan Z_1 menurut resistivitas tanah ρ ($\Omega \cdot m$)

ρ ($\Omega \cdot m$)	Z_1 (Ω)	Resistan bumi ekivalen sehubungan dengan tingkat proteksi Z (Ω)		
		I	II	III - IV
100	8	4	4	6
200	13	6	6	4
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60



$$\begin{aligned}
 s_a \geq d_a &= \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c1} \cdot l_a & s_b \geq d_b &= \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c2} \cdot l_b \\
 s_c \geq d_c &= \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c3} \cdot l_c & s_e \geq d_e &= \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c4} \cdot l_e \\
 s_f \geq d_f &= \frac{k_i}{k_m} (k_{c1} \cdot k_{c2} \cdot h_2) & s_g \geq d_g &= \frac{k_i}{k_m} (k_{c2} \cdot l_g \cdot k_{c3} \cdot h_3 + k_{c4} \cdot h_4)
 \end{aligned}$$

Gambar 28 Contoh perhitungan jarak aman d dalam keadaan sistem terminasi-udara, yang saling terhubung dengan konduktor penyalur cincin dan sistem terminasi-bumi tipe B

6.8.2.2 Jika saluran tidak dilengkapi perisai, atau tidak dimasukkan dalam kunduit logam, setiap konduktor membawa sebagian arus petir sama dengan n' jumlah total konduktor.

6.8.2.3 Bila parameter dalam tabel 10 (tingkat proteksi, resistivitas tanah) tidak diketahui, sebagai estimasi kasar harga berikut dapat diterima:

$$I_f = \frac{0,5I}{n_1}$$

6.8.3 Penampang minimum perisai kabel

6.8.3.1 Tegangan lebih antara konduktor aktif dan perisai kabel karena arus petir yang mengalir di perisai, tergantung pada bahan, dimensi perisai, panjang dan posisi kabel.

6.8.3.2 Harga minimum luas penampang perisai A_{min} dalam hal kabel tidak memerlukan pemasangan GPS diberikan oleh

$$A_{min} = \frac{I_f \rho_c l_c 10^6}{U_c} \text{ mm}^2$$

untuk:

I_f = arus yang mengalir pada perisai dalam kiloampere (kA);

ρ_c = resistivitas perisai dalam ohmmeter ($\Omega \cdot m$);

l_c = panjang kabel dalam meter (m) (lihat Tabel 11);

U_c = ketahanan tegangan impuls kabel dalam kilovolt (kV) (lihat Tabel 12).

Tabel 11 Panjang kabel yang dipertimbangkan menurut kondisi perisai

Kondisi perisai	l_c
Dalam hubungan dengan resistivitas tanah ρ ($\Omega \cdot m$)	$l_c = 8 \sqrt{\rho}$
Terisolasi dari tanah atau diudara	l_c = jarak antara bangunan gedung dan titik pembumian perisai terdekat

Tabel 12 Ketahanan tegangan impuls kV dari isolasi kabel untuk tegangan pengenal yang berbeda

Tegangan pengenal kV	U_c kV
$\leq 0,05$	5
0,22	15
10	75
15	95
20	125

6.8.4 Bangunan gedung dengan bagian kantilever

6.8.4.1 Dalam kasus stuktur dengan konstruksi kantilever, pemisahan jarak s dalam meter harus memenuhi kondisi berikut:

$$s > 2,5 + d \text{ (m)}$$

di mana

d = jarak aman dalam meter yang dihitung menurut butir 6.6.2.

6.8.4.2 Penataan sebaiknya dibuat untuk jalur langsung menembus bangunan gedung pada titik masuk gelung konduktor jika kondisi dalam butir 6.6.2 tidak dipenuhi.

7 Pemilihan bahan

7.1 Bahan

7.1.1 Bahan SPP dan kondisi pemakaiannya adalah seperti dalam tabel 13. Ukuran konduktor termasuk konduktor terminasi udara, konduktor penyalur dan konduktor terminasi-bumi, untuk bahan yang berbeda seperti tembaga, aluminium dan baja adalah seperti dalam tabel 14

7.1.2 Tebal minimum lempengan logam atau pipa logam dan bangunan gedung yang dipakai sebagai bagian dari terminasi udara alami seharusnya sesuai dengan tabel 13 dan ukuran minimum untuk konduktor IPP sesuai dengan tabel 14 dan tabel 15.

7.2 Proteksi terhadap korosi

7.2.1 SPP sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi seperti tembaga, aluminium, inox dan baja galvanis.

7.2.2 Bahan batang dan kawat terminasi udara seharusnya bersesuaian secara elektrokimia dengan bahan elemen penyambung dan elemen pemegang, dan seharusnya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosfer atau kelembaban.

7.2.3 Sambungan antara bahan yang berbeda harus sebaiknya dihindarkan, atau harus dilindungi

7.2.4 Bagian dari tembaga seharusnya tidak dipasang diatas bagian galvanis kecuali bagian tersebut dilindungi terhadap korosi (lihat butir 7.3).

Tabel 13 Bahan SPP dan kondisi penggunaan

Bahan	Penggunaan			Korosi		
	Dalam udara terbuka	Dalam tanah	Dalam beton	Resistan	Meningkat oleh	Elektroli-tik dengan
Tembaga	Padat Berserabut Sebagai pelapisan	Padat Berserabut Sebagai pelapisan	—	Terhadap banyak bahan	Klorida konsentrsi tinggi Senyawa sulfur Bahan organik	—
Baja galvanis panas	Padat Berserabut	Padat	Padat	Baik, walaupun dalam tanah asam	—	Tembaga
Stainless steel	Padat Stranded	Padat	—	Terhadap banyak bahan	Air dengan larutan klorida	—
Aluminium	Padat Berserabut	—	—	—	Agen basis	Tembaga
Lead	Padat Sebagai pelapisan	Padat Sebagai pelapisan	—	Sufat konsentrasi tinggi	Tanah asam	Tembaga

7.2.5 Partikel yang sangat halus akan termakan oleh tembaga, menghasilkan kerusakan korosi pada bagian galvanis walaupun tembaga dan galvanis tersebut tidak berkontak langsung.

Konduktor aluminium seharusnya tidak dihubungkan dengan permukaan bangunan yang mengandung batu kapur seperti beton dan plesternya dan seharusnya tidak digunakan dalam tanah.

7.3 Logam dalam tanah dan udara

Korosi akan terjadi pada suatu logam dengan laju yang tergantung pada jenis logam dan lingkungannya.

Tabel 14 Dimensi minimum untuk bahan SPP

Tingkat proteksi	Bahan	Terminasi-udara (mm ²)	Konduktor penyalur (mm ²)	Terminasi-bumi (mm ²)
I sampai IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

Tabel 15 Tebal minimum tebal lempengan logam atau pipa pada sistem terminasi-udara

Tingkat proteksi	Bahan	Ketebalan <i>t</i> (mm)
I sampai IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

Untuk menyelesaikan problema korosi tertentu, sangat disarankan berkonsultasi dengan spesialis korosi.

7.3.2 Untuk mengurangi korosi pada suatu SPP langkah–langkah tersebut harus dilaksanakan:

- hindarkan pemakaian logam yang tidak sesuai untuk lingkungan yang agresif.
- hindarkan kontak logam yang berlainan jenis, yang berbeda dalam sifat elektrokimia dan aktifitas galvanisnya.
- gunakan ukuran penampang konduktor yang sesuai konduktor, bilah IPP dan terminal hantaran dan untuk meyakinkan bahwa laju korosi akan sesuai dengan kondisi layanan.
- lakukan pengisian atau pengisolasian dengan bahan yang sesuai pada sambungan konduktor yang tidak dilas untuk menghindari kelembaban.
- selubungi, lapiasi atau pasang isolasi yang sesuai pada logam yang sensitif terhadap uap atau cairan yang korosif dilokasi instalasi.
- pertimbangkan efek galvanis dari bahan logam lainnya, pada tempat elektroda bumi ditempatkan.

7.3.3 Untuk memenuhi usaha diatas, dikutip beberapa hal yang perlu diperhatikan sebagai contoh spesifik sebagai berikut:

- tebal minimum atau tebal minimum lempeng sebaiknya 1,5 mm untuk baja, aluminium, tembaga, paduan tembaga atau paduan nikel/chrom/besi.

- b) pada daerah hubungan yang sangat rapat (atau sampai menyentuh) metal yang berlainan jenis akan dapat menyebabkan korosi, tidak perlu tersambung secara listrik; maka disarankan agar memasang insulator pemisah.
- c) konduktor baja yang tidak terlindungi sebaiknya digalvanis secara celup panas hingga tebal 50 mikron.
- d) konduktor aluminium sebaiknya tidak boleh ditanam di tanah atau tidak dipasang berhubungan langsung dengan beton, kecuali sudah diselubungi dengan baik dengan bahan selubung insulator.
- e) sambungan tembaga - aluminium harus dihindarkan. Dalam hal tidak dapat dihindarkan, sambungannya harus dengan las atau dengan menggunakan lapisan perantara lempengan Al/Cu.
- f) penguat atau selubung untuk konduktor aluminium sebaiknya logam sejenis, berpenampang cukup untuk menghindari kerusakan akibat cuaca.
- g) tembaga sangat sesuai pada sebagian besar pemakaian elektroda pembumian, kecuali untuk asam, amoniak kaya oksigen atau kondisi berbelerang. Namun harus diingat bahwa tembaga akan menimbulkan kerusakan galvanis pada bahan ferrous tempat ia terhubung. Hal ini memerlukan saran spesialis, terutama bila menggunakan sistem proteksi katodik
- h) untuk konduktor atas dan konduktor bawah yang terpapar pada gas buang agresif, masalah korosi wajib diperhatikan secara khusus, yaitu dengan menggunakan baja paduan tinggi.
- i) baja stainless atau paduan nikel yang lain dapat dipakai untuk beberapa persyaratan ketahanan korosi. Juga pada kondisi anaerobic, seperti tanah liat, mereka akan terkorosi secepat baja lunak. Selanjutnya, bila terhubung kepada suatu protektif bumi TN-C-S, baja stainless cenderung menurunkan korosi elektrolit seperti tembaga atau baja. (point ini dibuang)
- j) sambungan antara baja dan tembaga atau paduan tembaga diudara terbuka, jika tidak tersambung dengan las, sebaiknya dilapis timah atau dilapis secara penuh dengan pelapis kedap lembab tahan lama.
- k) tembaga dan paduan tembaga akan mengalami keretakan karena tekanan korosi dalam uap amoniak. Bahan ini sebaiknya tidak digunakan untuk IPP pada kondisi spesifik ini.
- l) pada daerah laut/pantai, semua sambungan konduktor sebaiknya di las atau dilapis timah atau dilapis secara penuh dengan pelapis kedap lembab tahan lama.

7.4 Logam dalam beton

7.4.1 Baja atau baja galvanis yang tertanam dalam beton menyebabkan potensial alamiah yang stabil dari metal, karena keseragaman alkali/basa lingkungannya. Sebagai tambahan, beton mempunyai keseragaman relatif dalam hal ketinggian tahanan hingga mencapai $200\Omega.m$ atau lebih tinggi.

7.4.2 Dengan demikian maka baja tulangan dianggap lebih tahan korosi dari pada baja yang terpapar diluar, walaupun dihubungkan dengan bahan elektroda katodik

7.4.3 Penggunaan logam penguat seperti pada konduktor penyalur tidak menimbulkan masalah korosi sejauh titik sambung dengan terminasi udara terbungkus dengan baik, misalnya dengan dempul epoxy resin dengan ketebalan yang cukup.

7.4.4 Penyambung IPP tembaga seharusnya tidak dipakai sebagai pengganti penyambung IPP baja karena masalah korosi dalam beton yang lembab.

8 Konstruksi SPP eksternal

8.1 Sistem terminasi-udara

8.1.1 Informasi umum

8.1.1.1 Temperatur maksimum yang diijinkan untuk konduktor di atas atap yang tidak mudah terbakar tidak akan dilampaui jika luas penampang sesuai dengan tabel 15.

Logam dengan konduktivitas rendah, seperti baja stainless, dapat digunakan dengan penampang lebih besar.

8.1.1.2 Atap yang dibuat dari bahan yang mudah terbakar harus dilindungi dari pengaruh bahaya pemanasan arus petir dari konduktor SPP dengan tindakan berikut:

- a) mengurangi temperatur konduktor dengan memperbesar luas penampang;
- b) menambah jarak antara konduktor dengan atap yang dilindungi;
- c) menyelipkan lapisan pelindung panas antara konduktor dengan bahan yang mudah terbakar.

8.1.2.7 Terminasi-udara tak-terisolasi

8.1.2.1 Untuk mendapatkan proteksi yang cukup, konduktor terminasi-udara di atap sebaiknya dipasang sesuai dengan butir 6.5.2.

8.1.2.2 Konduktor terminasi-udara dan konduktor penyalur sebaiknya disambung dengan konduktor sesuai tabel 3 dan tabel 4.

8.1.2.3 Pada bangunan gedung biasa dengan pinggiran-atap, konduktor atap sebaiknya dipasang pada pinggiran-atap, sekurangnya dua konduktor penyalur harus dipasang pada pojok yang berlawanan dari bangunan gedung

8.1.2.4 Untuk bangunan gedung panjang, konduktor tambahan seharusnya dipasang sesuai dengan tabel 3 dan 4, dan harus disambung ke konduktor terminasi-udara di puncak atap.

8.1.2.5 Konduktor di puncak atap sebaiknya dipasang dengan penopang konduktor. Konduktor ini dihubungkan ke konduktor penyalur di pinggir atap.

8.1.2.6 Konduktor terminasi-udara, konduktor sambungan dan konduktor penyalur, harus dipasang melalui jalur yang terdekat yang memungkinkan.

8.1.2.7 Pada bangunan gedung dengan atap rata, konduktor keliling sebaiknya dipasang dekat dengan pinggir luar dari atap sejauh dapat dipraktekkan.

8.1.2.8 Bilamana permukaan atap melebihi dari ukuran jala yang disyaratkan pada tabel 5, maka konduktor terminasi-udara tambahan harus dipasang.

8.1.2.9 Gambar 29 memperlihatkan contoh peletakan SPP eksternal pada bangunan gedung dengan atap datar terbuat dari bahan isolasi, seperti kayu atau bata. Penyangga atap berada dalam ruang terproteksi. Pada bangunan gedung yang tingginya melebihi 20 m, cincin penyama tegangan disambung ke semua konduktor penyalur yang dipasang pada fasad. Detil A pada gambar 29 menunjukkan contoh perancangan sambungan uji yang menyediakan uji kontinuitas.

8.1.2.10 Semua konduktor SPP harus kuat dan aman secara mekanik sehingga mampu bertahan terhadap tekanan karena angin, cuaca dan karena pekerjaan di atas permukaan atap.

8.1.2.11 Penutup logam yang berfungsi sebagai proteksi mekanis dinding luar, sebaiknya dipergunakan sebagai komponen alami dari terminasi-udara, sesuai 10.1.3 atau 10.2.3, jika tidak ada resiko kebakaran karena pelelehan logam.

8.1.2.12 Penutup logam yang tidak memenuhi ketentuan tebal minimum, dapat dipergunakan sebagai terminasi udara, sejauh pelelehan logam dapat diterima. Bila tidak, atap tersebut harus diproteksi oleh sistem terminasi-udara yang cukup tinggi. (lihat gambar 30).

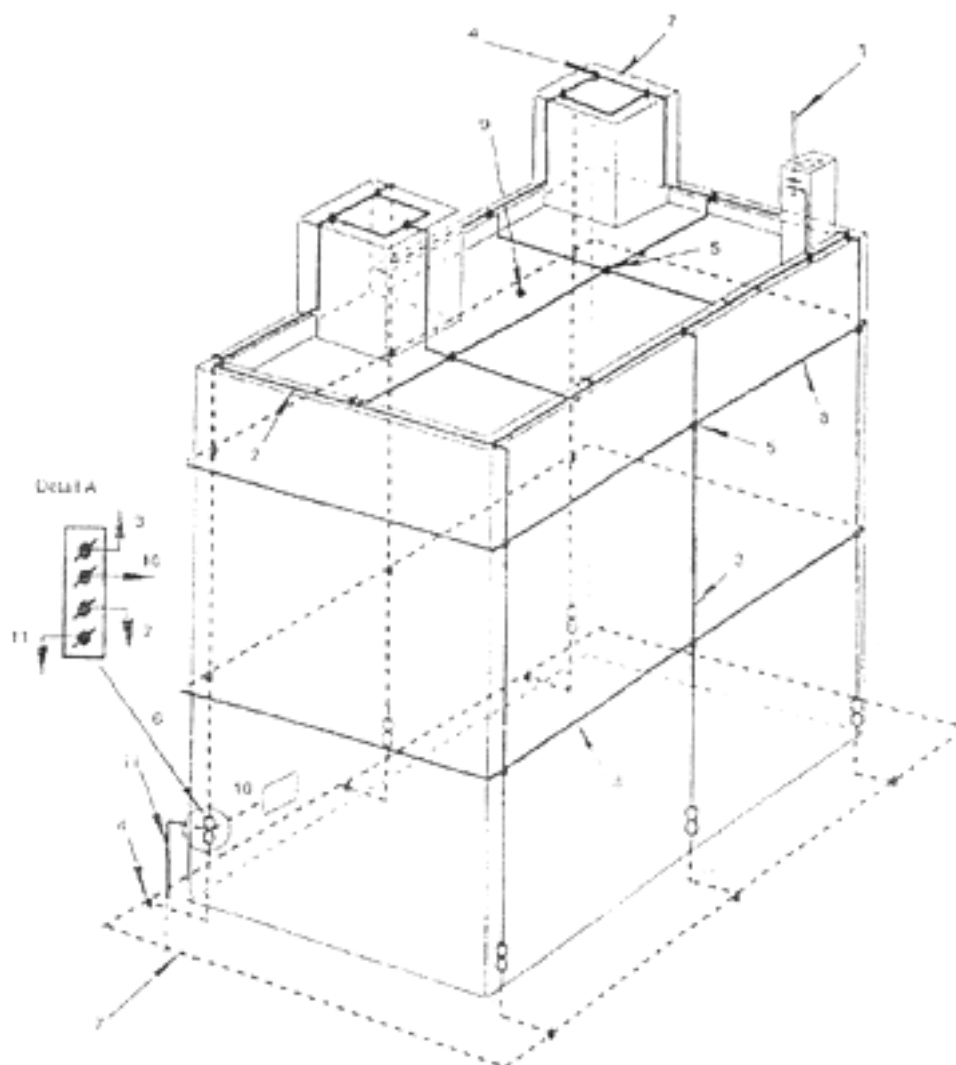
8.1.2.13 Bila penyangga insulasi dipergunakan, kondisi untuk jarak aman terhadap lempeng konduktif seperti dinyatakan dalam (pasal 8.1.3 atau 8.2.3)

8.1.2.14 Bilamana penyangga konduktif dipergunakan, sambungan ke atap logam harus mampu menahan sebagian arus petir (lihat gambar 30).

CATATAN Gambar 31 memperlihatkan contoh dari terminasi-udara alami yang mempergunakan sandaran atap sebagai konduktor terminasi-udara pada daerah pinggir atap.

8.1.2.15 Bagian bangunan gedung pasangan luar dan menonjol dari permukaan atap sebaiknya dilindungi dengan batang terminasi-udara; sebagai alternatif, kerangka logamnya sebaiknya diikat ke SPP.

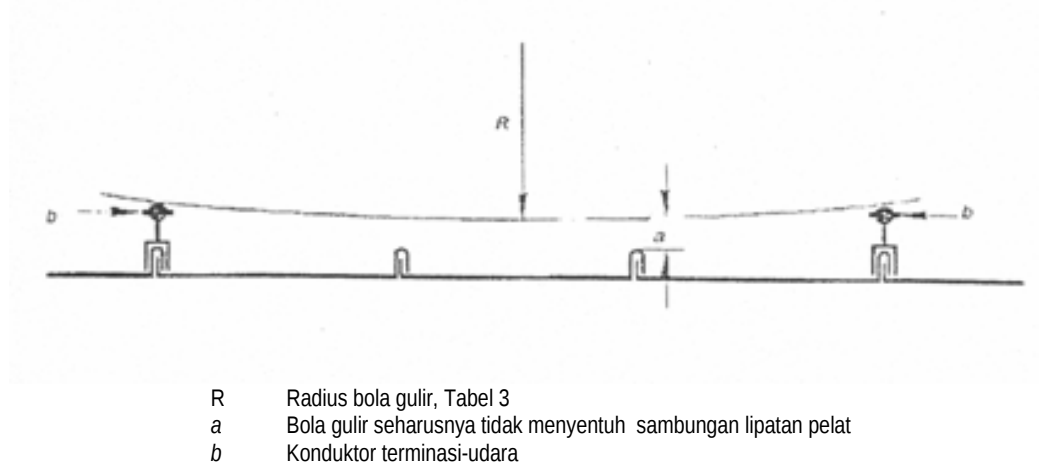
CATATAN Bangunan gedung kerangka baja ditunjukkan pada Gambar 32. Penguat baja pada dinding beton digunakan sebagai komponen alami dari SPP.



- 1 Batang terminasi-udara
- 2 Konduktor horisontal terminasi-udara
- 3 Konduktor penyalur
- 4 Sambungan tipe-T
- 5 Sambungan tipe-silang
- 6 Sambungan uji
- 7 Susunan elektroda bumi tipe-B, elektroda bumi cincin
- 8 Konduktor cincin penyama teganganisasi
- 9 Atap datar dengan peralatan atap
- 10 Terminal untuk penyambungan batang penyama teganganisasi dari SPP internal
- 11 Terminal untuk penyambungan elektroda pembumian tipe-A

CATATAN Konduktor cincin penyama teganganisasi diterapkan. Rincian A memperlihatkan perancangan sambungan uji. Jarak antara konduktor penyalur menurut persyaratan dalam Tabel 5.

Gambar 29 Penempatan SPP eksternal diatas bangunan gedung yang terbuat dari bahan isolasi misalnya batu bata dengan ketinggian hingga 60 m dengan atap datar dan dengan peralatan atap



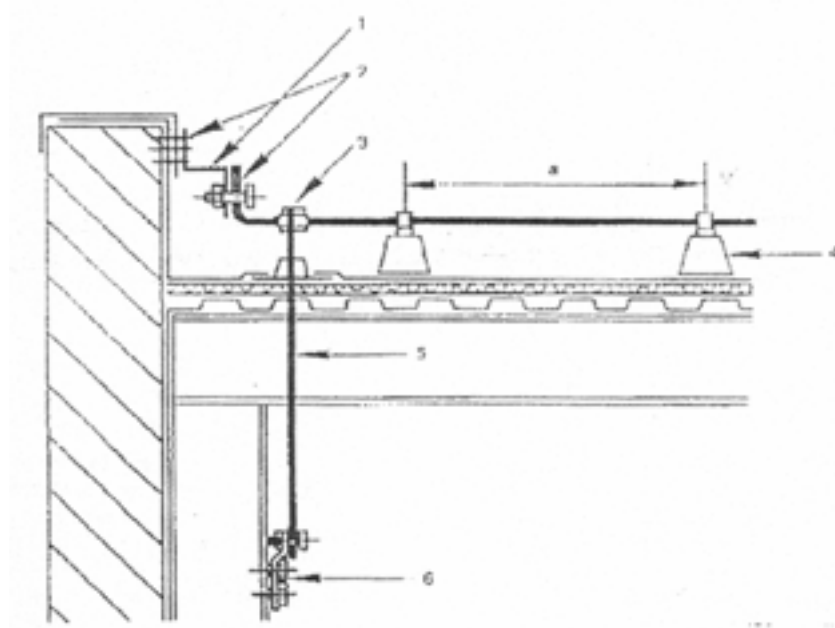
Gambar 30 konstruksi terminasi-udara diatas atap dengan penutup konduktip yang pelubangan penutupan tidak diterima

8.1.3 Komponen alami

8.1.3.1 Bagian dari bangunan gedung berikut ini dapat dipertimbangkan sebagai komponen terminasi-udara alami:

- a) lembar logam penutup ruang terproteksi yang memenuhi syarat berikut:
 - 1) kontinuitas listrik antar bagian dibuat tahan lama;
 - 2) ketebalan lempeng logam tidak kurang dari nilai t yang diberikan dalam tabel 17 jika diperlukan perhatian terhadap timbulnya lubang atau titik panas;
 - 3) ketebalan lempengan logam tidak kurang dari 0,5 mm jika timbulnya lobang dan/atau pemanasan setempat dapat diabaikan.
 - 4) tidak dibungkus oleh bahan insulasi;
 - 5) bahan bukan logam pada atau diatas lembar logam dapat tidak termasuk dari ruang yang diproteksi;
- b) komponen logam pada konstruksi atap, di bawah atap bukan logam, asalkan komponen ini tidak masuk dalam ruang terproteksi;
- c) bagian logam seperti talang, hiasan, jeruji, dsb., yang luas-penampangnya tidak kurang dari yang ditentukan untuk komponen terminasi-udara standar;
- d) tangki dan pipa logam, dengan tebal dinding logam tidak kurang dari 2,5 mm, dan timbulnya lobang tidak menimbulkan bahaya;
- e) pipa logam dan tangki dengan tebal tidak kurang dari nilai t yang diberikan dalam tabel 15 dan bahwa kenaikan temperatur dipermukaan dinding bagian dalam tidak menimbulkan bahaya.

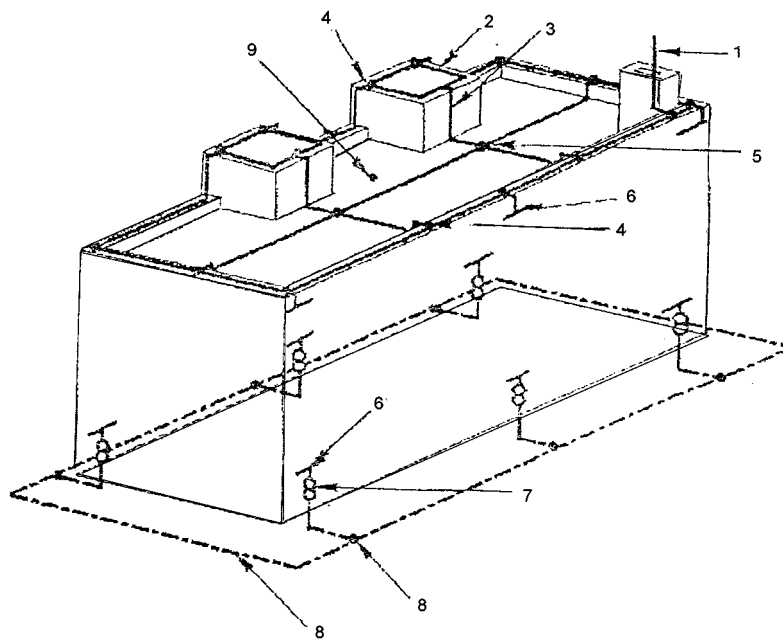
CATATAN Lapisan cat tipis atau asphal 0,5 mm atau PVC 1 mm tidak dianggap sebagai insulator.



- 1 Konduktor fleksibel
- 2 Sambungan
- 3 Sambungan-T
- 4 Pemegang konduktor terminasi-udara
- 5 Bushing kedap air untuk saluran SPP
- 6 Sambungan

CATATAN Penutup logam diatas sandaran atap digunakan sebagai konduktor terminasi-udara dan dihubungkan ke penopang baja digunakan sebagai konduktor penyalur dari SPP. Dimensi yang sesuai untuk a dapat 0,8 hingga 1,5 m.

Gambar 31 Konstruksi SPP menggunakan komponen alami diatas atap dari bangunan gedung



- 1 Batang terminasi-udara
- 2 Konduktor horisontal terminasi-udara
- 3 Konduktor penyalur
- 4 Sambungan tipe-T
- 5 Sambungan tipe silang
- 6 Sambungan ke batang baja penguat
- 7 Sambungan uji
- 8 Elektroda bumi, susunan pembumian tipe B, elektroda bumi cincin
- 9 Atap datar dengan perlengkapan atap

CATATAN Baja penguat pada bangunan gedung harus sesuai dengan 1.3 pada IEC 61024-1 (*Definition of Reinforced concrete structure*). Semua dimensi SPP harus sesuai dengan tingkat proteksi yang dipilih

Gambar 32 Konstruksi SPP eksternal diatas bangunan gedung beton yang diperkuat dengan baja dengan menggunakan penguatan dinding luar bangunan gedung sebagai komponen alami

8.1.3.2 Bejana dan pipa yang berisi gas atau cairan bertekanan tinggi, sebaiknya tidak digunakan sebagai terminasi udara alami. Bilamana hal ini tidak dapat dihindari, pengaruh panas dari arus petir harus diperhitungkan pada waktu merencanakan perpipaan.

8.1.3.3 Komponen konduktif di atas permukaan atap seperti tangki sering kali secara alami disambung ke peralatan di dalam bangunan gedung. Untuk mencegah penyaluran seluruh arus petir melalui gedung, maka komponen tadi harus disambung secara baik dengan SPP dan jaring terminasi-udara.

Gambar 33 dan 34 adalah contoh yang memperlihatkan detail ikatan dari komponen konduktif diatas atap ke terminasi- udara.

8.2 Sistem konduktor penyalur

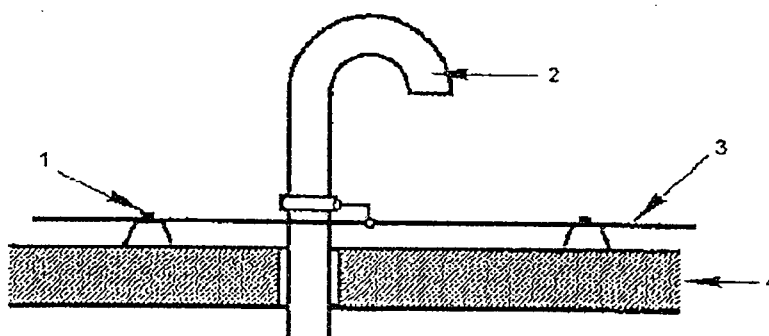
8.2.1 Informasi umum

8.2.1.1 Konduktor penyalur eksternal sebaiknya dipasang antara terminasi-udara dan sistem terminasi-bumi pada bangunan yang tidak mempunyai komponen konduktif vertikal yang kontinu. Jarak rata-rata antara konduktor penyalur harus memenuhi tabel 4.

8.2.1.2 Jarak rata-rata antara konduktor penyalur, berkaitan dengan jarak aman (lihat 6.6.2). Jika harga ini lebih besar dari spesifikasi dalam tabel 10, jarak aman sebaiknya dihitung kembali (lihat 6.6.2).

8.2.1.3 Sistem terminasi-udara, sistem konduktor penyalur dan sistem terminasi-bumi sebaiknya diselaraskan untuk menghasilkan lintasan arus petir sependek mungkin.

8.2.1.4 Konduktor penyalur sebaiknya disambung pada titik simpul sambungan jaringan terminasi-udara dan dipasang secara vertikal ke titik simpul dari sistem jaringan terminasi-bumi.



- 1 Pemegang konduktor terminasi-udara
- 2 Pipa logam
- 3 Konduktor-atap - konduktor terminasi-udara horisontal
- 4 Atap dari bahan isolasi

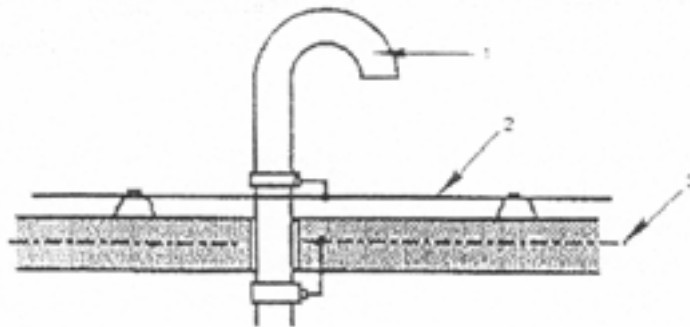
CATATAN Penyambungan kawat dan sambungan harus tahan terhadap arus petir penuh dan harus sesuai dengan Tabel 6. Pipa baja harus sesuai dengan Tabel 15

Gambar 33 Sambungan batang terminasi-udara alami ke terminasi-udara konduktor diatas atap dari bahan isolasi

8.2.2 Konduktor penyalur tak-terisolasi

8.2.2.1 Pada bangunan gedung dengan bagian konduktif luas di dinding luar, konduktor terminasi- udara dan sistem terminasi-bumi sebaiknya dihubungkan ke bagian konduktif dari bangunan gedung di beberapa titik. Sambungan sebaiknya dibuat sesuai dengan metoda yang dijelaskan dalam lampiran B (IEC 61024-1-2).

Hal ini akan mengurangi jarak aman sesuai 6.6.2. dan medan elektromagnetik di dalam bangunan gedung.



- 1 Pipa logam
- 2 Konduktor-atap - konduktor terminasi-udara horisontal
- 3 Baja penguat didalam beton

CATATAN Pipa baja harus sesuai dengan Tabel 14, pengikat harus sesuai dengan Tabel 5 dan penguatan harus sesuai dengan butir 3.57. Pengikat atap sebaiknya kedap air.

Gambar 34 Sambungan batang terminasi-udara alami ke konduktor terminasi-udara dan ke sistem pengikat penyama tegangan dari bangunan gedung, dalam kasus tertentu, ke penguat dari penguat beton bangunan gedung

8.2.2.2 Semua kolom internal dan semua penyekat dinding internal dengan bagian konduktif, seperti tulangan baja, yang tidak memenuhi kondisi jarak aman, sebaiknya disambung dengan sistem terminasi-udara dan dengan sistem terminasi-bumi pada titik yang sesuai. Hal ini akan mengurangi jarak aman seperti dalam 6.6.2. dan medan elektromagnetik di dalam bangunan gedung.

8.2.2.3 Gambar 35 memperlihatkan SPP dari bangunan gedung besar dengan bagian dalam tiang yang terbuat dari beton bertulang. Untuk mencegah bahaya latu antara bagian konduktif yang berbeda dari bangunan gedung, tulangan harus dihubungkan ke sistem terminasi-udara dan ke sistem terminasi-bumi. Akibatnya sebagian arus petir akan mengalir melalui konduktor penyalur internal.

Akan tetapi, arus petir akan terbagi diantara konduktor penyalur yang sangat banyak dan mempunyai bentuk gelombang yang hampir sama dengan arus sambaran petir.

Jika sambungan ini tidak dibuat dan terjadi latu, hanya satu atau beberapa dari konduktor penyalur internal ini yang akan membawa arus. Bentuk gelombang loncatan arus akan lebih tajam dari arus petirnya, sehingga tegangan induksi pada rangkaian tertutup disekitarnya akan meningkat.

8.2.3 Komponen alami

8.2.3.1 Bagian dari bangunan gedung berikut ini dapat dipertimbangkan sebagai konduktor-penyalur alami:

- a) Instalasi logam yang memenuhi syarat :
 - 1) kontinuitas listrik antara berbagai bagian dibuat tahan lama sesuai dengan persyaratan sambungan
 - 2) dimensinya sekurang-kurangnya sama dengan spesifikasi standar konduktor penyalur;
- b) kerangka baja bangunan dari bangunan ;

- c) baja yang saling terinterkoneksi pada bangunan gedung; dalam kasus beton prategang, harus diperhitungkan pengaruh dari arus petir dan penyambungannya terhadap kekuatannya.
- d) elemen fasad, dan/atau komponen logamnya yang memenuhi syarat:
 - 1) dimensinya sesuai dengan persyaratan untuk konduktor penyalur dan ketebalannya tidak kurang dari 0,5 mm;
 - 2) kontinuitas listrik pada arah vertikal dibuat tahan lama.

8.2.3.2 Konduktor cincin horisontal tidak diperlukan jika kerangka baja logam dari bangunan gedung baja atau baja yang terinterkoneksi dari bangunan gedung digunakan sebagai konduktor penyalur

8.2.3.3 Penggunaan konduktor penyalur alami untuk memaksimumkan jumlah konduktor paralel diijinkan jika ini mengurangi tegangan jatuh di sistem konduktor penyalur dan mengurangi interferensi elektromagnetik dalam bangunan gedung. Akan tetapi, hal ini sebaiknya diyakinkan bahwa konduktor penyalur ini secara kelistrikan kontinu sepanjang seluruh lintasan antara sistem terminasi-udara dan sistem terminasi bumi.

8.2.3.4 Tulangan baja bangunan gedung yang baru didirikan sebaiknya dispesifikasi menurut pasal 4 .

8.2.3.5 Jika kontinuitas kelistrikan dari konduktor penyalur alami tidak dapat dijamin, konduktor penyalur konvensional harus dipasang.

8.2.3.6 Untuk bangunan gedung dengan kebutuhan proteksi yang rendah, talang air logam cukup untuk digunakan sebagai konduktor penyalur menurut persyaratan diatas boleh digunakan untuk konduktor penyalur.

8.2.3.7 Sambungan sebaiknya disediakan di atas dinding pelindung ke sistem terminasi-udara dan pada bagian bawah sistem ke terminasi-bumi dan ke tulangan baja dinding, bila ada.

Gambar 35 memperlihatkan contoh konstruksi dari sambungan penyalur tegangan pada baja-penguat bangunan gedung beton dengan dinding depan logam.

8.2.4 Sambungan uji

8.2.4.1 Pada sambungan terminasi-bumi uji sebaiknya ditempatkan sambungan uji pada setiap konduktor penyalur dalam kasus konduktor kebawah "alami"..

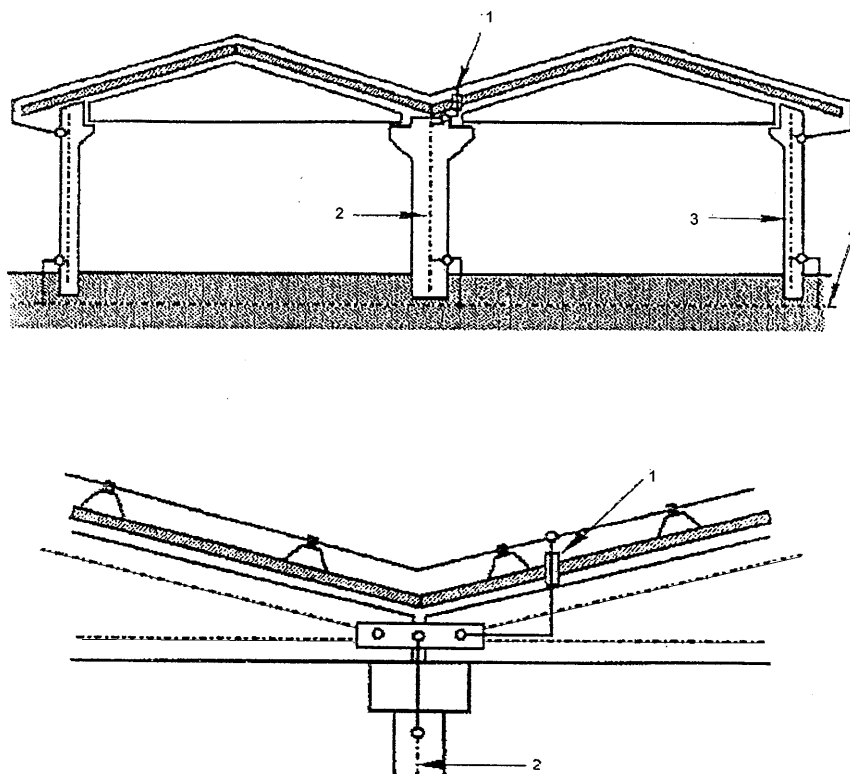
8.2.4.2 Sambungan sebaiknya tertutup, tetapi dapat dibuka dengan bantuan perkakas sederhana untuk keperluan pengukuran..

8.2.4.3 Sambungan dari konduktor penyalur alami ke elektroda terminasi-bumi, terminasi sebaiknya dilengkapi dengan segmen konduktor berisolasi dan sambungan uji . Elektroda bumi referensi khusus dapat dipasang untuk sarana pemantauan sistem terminasi-bumi dari SPP. Sambungan uji juga berfungsi sebagai titik pengukuran resistansi bumi dari terminasi bumi.

8.2.5 Konduktor penyalur terisolasi

8.2.5.1 SPP terisolasi dapat dicapai dengan cara pemasangan batang terminasi-udara atau tiang yang berdekatan dengan bangunan gedung yang dilindungi, atau dengan kawat gantung diantara tiang, sesuai dengan kondisi kedekatan dari 6.6.1.6.

8.2.5.2 SPP terisolasi dapat juga dipasang di atas bangunan gedung dengan bahan terinsulasi, seperti batu bata, bilamana jarak pemisahannya, seperti dijelaskan dalam 6.6.1.6, dijaga dan tidak ada sambungan ke komponen konduktif dari bangunan gedung atau ke peralatan yang dipasang didalamnya, kecuali ke sistem terminasi-bumi pada permukaan tanah.



- 1 Konduktor SPP melalui bushing kedap air
- 2 Baja penguat didalam kolom beton
- 3 Baja penguat didalam tembok beton
- 4 Baja penguat didalam pondasi bangunan gedung - elektroda bumi pondasi

CATATAN Baja penguat dari kolom internal menjadi konduktor penyalur internal alami bila Baja penguat dari kolom dihubungkan ke terminasi-udara dan terminasi-bumi dari SPP. Lingkungan elektromagnetik dekat dengan kolom harus dipertimbangkan bila peralatan elektronik dipasang dekat kolom

Gambar 35 Konduktor penyalur internal didalam bangunan gedung industri.

8.2.5.3 Peralatan konduktif didalam bangunan gedung dan konduktor listrik tidak boleh dipasang dengan jarak pisah lebih dekat daripada yang ditentukan dalam 6.6.2. Semua instalasi yang akan datang sebaiknya memenuhi persyaratan SPP terisolasi sebagaimana ditetapkan dalam persyaratan IEC 61024-1. Persyaratan ini harus diketahui pemilik bangunan

8.2.5.4 Pemilik bangunan harus menginformasikan kepada kontraktor yang bekerja di dalam bangunan ini tentang kondisi SPP terisolasi ini.

Konduktor SPP sebaiknya dipasang dengan klem berisolasi bila pemasangan klem tersebut ke dinding terlalu dekat dengan bagian konduktif, sedemikian rupa, sehingga jarak pemisah antara SPP dan bagian konduktif dalam melebihi jarak aman sebagaimana disyaratkan dalam 6.6.2.

8.2.5.6 Atap konduktif yang tidak tersambung ke IPP, tapi mempunyai jarak pisah dari jarak aman, harus disambung ke sistem terminasi-udara dari SPP terisolasi.

8.2.5.7 SPP terisolasi harus dipasang pada bangunan gedung yang memiliki bagian konduktif saling terhubung secara luas bila dikehendaki untuk mencegah arus petir mengalir melalui dinding bangunan gedung dan dalam peralatan yang terpasang.

8.2.5.8 Pada bangunan gedung terdiri atas bagian konduktif yang saling terhubung secara kontinu, seperti konstruksi baja atau beton bertulang baja, SPP terisolasi sebaiknya tetap memperhatikan jarak aman terhadap bagian konduktif ini untuk mendapatkan jarak yang sesuai. Konduktor SPP mungkin harus dipasang pada bangunan gedung dengan klem berisolasi.

8.3 Sistem terminasi bumi

8.3.1 Umum

8.3.1.1 Fungsi dari sistem terminasi bumi:

- a) Menyalurkan arus petir ke bumi;
- b) Sebagai IPP diantara konduktor penyalur;
- c) Mengendalikan potensial pada sekitar dari dinding konduktif bangunan;
- d) Mencegat arus petir sewaktu menyebar pada permukaan bumi.

8.3.1.2 Elektroda bumi pondasi dan elektroda bumi cincin memenuhi semua kebutuhan ini. Elektroda bumi tipe A radial atau elektroda bumi vertikal pancangan-dalam tidak memenuhi fungsi IPP dan pengendali tegangan.

8.3.1.3 Pondasi bangunan gedung dari beton bertulang baja yang terinterkoneksi sebaiknya digunakan sebagai elektroda bumi pondasi. Pondasi bangunan tersebut memiliki resistans pembumian yang sangat rendah, dan berfungsi sebagai IPP yang sangat baik. Jika tidak dimungkinkan, sistem terminasi-bumi cincin sebaiknya dipasang di sekeliling bangunan gedung.

8.3.2 Pemasangan elektroda bumi

8.3.2.1 Elektroda bumi harus dipasang diluar ruang yang diproteksi pada kedalaman paling tidak 0,5 m dan didistribusikan merata mungkin untuk meminimalkan pengaruh kopling listrik didalam bumi.

8.3.2.2 Elektroda bumi dalam beton harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat diinspeksi selama konstruksi.

8.3.2.3 Kedalaman penanaman dan tipe elektroda bumi dalam beton harus sedemikian sehingga meminimalkan pengaruh korosi, pengeringan tanah dan dengan demikian menstabilkan resistans bumi ekuivalen. Untuk batu cadas padat, hanya susunan pembumian tipe B yang direkomendasikan.

8.3.3 Elektroda bumi pondasi

8.3.3.1 Panjang dari elektroda bumi tambahan sebaiknya dihitung menggunakan diagram pada Gambar 16, menurut butir 6.5.4.2.

8.3.3.2 Logam yang digunakan untuk elektroda bumi sebaiknya memenuhi daftar bahan pada tabel 14, dan sifat bahan terhadap korosi dalam tanah sebaiknya diperhitungkan. Beberapa panduan diberikan pada butir 7.2. Bilamana panduan untuk tanah tertentu tidak tersedia, pengalaman dengan sistem terminasi-bumi disekitar lokasi, yang tanahnya mempunyai sifat kimia serupa dan konsisten, sebaiknya dipakai. Bilamana parit untuk elektroda bumi ditimbun kembali, sebaiknya hati-hati sehingga tidak ada debu berterbangan, dari bongkahan arang atau puing bangunan yang kontak langsung dengan elektroda bumi.

8.3.3.3 Elektroda-bumi dalam tanah sebaiknya menggunakan konduktor tembaga atau baja stainless, bila ini disambung ke besi dalam beton, lihat butir 7.2. Pondasi terminasi bumi untuk memperkuat pondasi beton diperlihatkan pada butir A 4.5. dari IEC 61024-1-2.

8.3.3.4 Podasi elektroda bumi terdiri atas jaringan dengan ukuran tidak melebihi 10 m, sebaiknya dipasang dalam lapisan beton yang bersih pada bagian bawah lubang galian pondasi.

8.3.3.5 Konduktor menurut tabel 14, sebaiknya menghubungkan terminasi bumi jaring dengan tulangan dalam pondasi, elektroda bumi cincin, konduktor penyalur eksternal ke lapisan penghalang kelembaban, isolasi, atau, bila dimungkinkan, dengan bushing kedap tekanan-air melalui insulasi.

Bila penembusan konduktor melalui lapisan isolasi tidak diizinkan oleh kontraktor bangunan, sambungan sebaiknya dibuat diluar bangunan gedung.

Gambar 36 memperlihatkan tiga contoh berbeda cara memasang elektroda bumi pondasi pada bangunan gedung dengan pondasi kedap air untuk mencegah rembesan lapisan lembab.

8.3.4 Elektroda bumi cincin - tipe B

8.3.4.1 Untuk bangunan gedung yang menggunakan bahan isolasi seperti batu bata tanpa pondasi beton bertulang baja, terminasi bumi cincin sebaiknya dipasang sesuai dengan 6.5.8.4.

8.3.4.2 Elektroda bumi cincin sebaiknya dipasang lebih dari 1 meter dari bangunan gedung dan dengan kedalaman 0,5 meter atau lebih dan sebaiknya seluruhnya mengelilingi bangunan gedung yang dilindungi.

8.3.4.3 Bilamana banyak orang sering berkumpul di daerah dekat dengan bangunan gedung yang dilindungi, pengendalian potensial lebih lanjut sebaiknya disediakan.

8.3.4.4 Elektroda-bumi cincin tambahan sebaiknya dipasang dengan jarak sekitar 3 meter dari cincin pertama dan seterusnya. Lebih lanjut elektroda cincin tambahan dari bangunan gedung sebaiknya ditanam lebih dalam yakni pada jarak 4 m dari bangunan gedung dan kedalaman 1 meter; pada 7 meter dari bangunan gedung dan kedalaman 1,5 meter dan pada 10 meter dengan kedalaman 2 meter. Elektroda bumi cincin ini sebaiknya disambung ke konduktor cincin pertama dengan cara menggunakan konduktor radial.

8.3.5 Elektroda bumi radial dan vertikal - tipe A

8.3.5.1 Elektroda bumi radial sebaiknya disambung ke ujung bawah dari konduktor penyalur dengan menggunakan sambungan uji. Elektroda bumi radial boleh diakhiri dengan elektroda bumi vertikal, bila cocok.

Setiap konduktor penyalur sebaiknya dilengkapi dengan elektroda bumi.

8.3.5.2 Pada elektroda bumi tipe A pengaturan panjang maksimum setiap elektroda diberikan pada gambar 16 sebaiknya diterapkan. Pengaturan elektroda bumi sesuai menurut butir 6.5.8.3.1.

Panjang dari elektroda vertikal sebaiknya 0,5 kali panjang yang diberikan pada gambar 16.

Pada gambar 37 memperlihatkan susunan pembedaan tipe A dan gambar 38 gabungan dari susunan tipe A dan tipe B sesuai butir 6.5.8.2.

8.3.5.3 Dalam susunan tipe A, biaya elektroda bumi vertikal lebih murah dan memberi resistansi pembedaan lebih stabil dalam tanah dari pada elektroda horizontal.

Bila susunan pembedaan tipe A (lihat 6.5.8.3.1) disediakan, maka penyamaan potensial sebaiknya dilakukan dengan cara memasang IPP dalam bangunan.

8.3.5.4 Jarak minimum D dalam tanah antara elektroda bumi dan konduktor lainnya dalam tanah (yang karena satu sebab, tidak boleh disambung ke SPP) harus dihitung sebagai berikut :

$$D = b \cdot p^{0,4} k_c^{0,5}$$

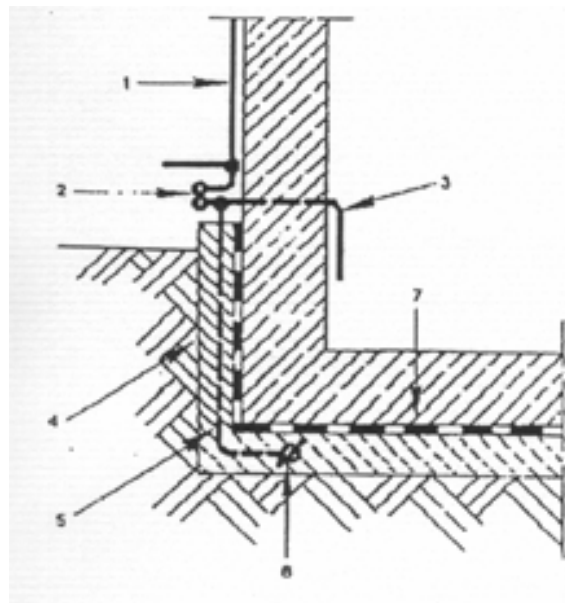
di mana :

b = adalah parameter yang berhubungan dengan protection level pada tabel 19 standar ini.

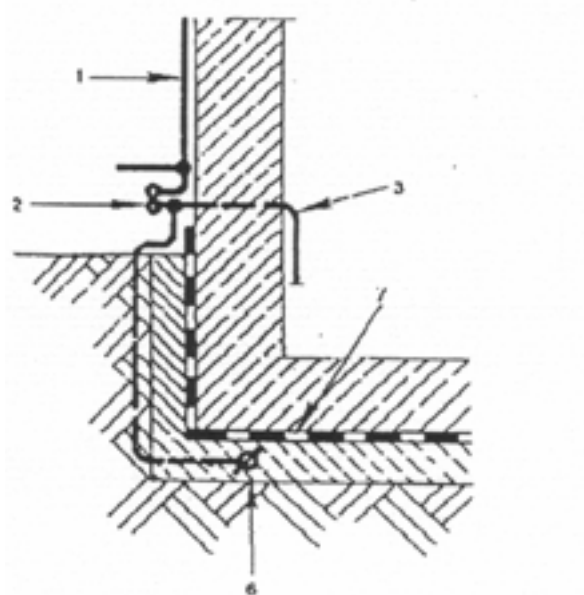
k_c = adalah diambil pada tabel 10;

P = adalah resistansi tanah rata-rata dalam ohm meter (Ω m)

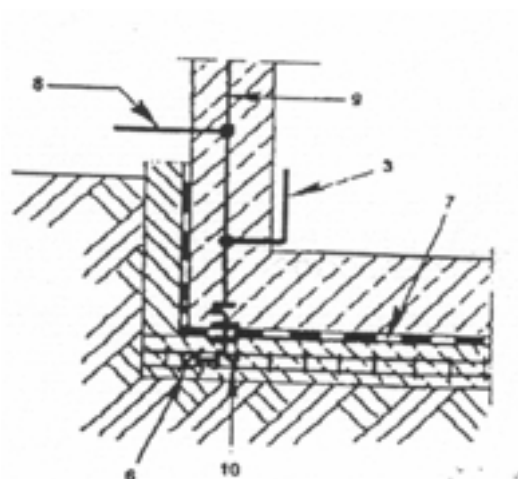
Prakteknya, dalam tanah dengan resistansi dibawah 1000 Ω m rentang jarak D antara 1,0 meter dan 4,0 meter.



Gambar 36a Pondasi terisolasi dengan elektroda bumi pondasi dalam lapisan beton tanpa penguat dibawah isolasi bitumen



Gambar 36b Pondasi terisolasi dengan konduktor terminasi-bumi sebagian menembus lewat tanah



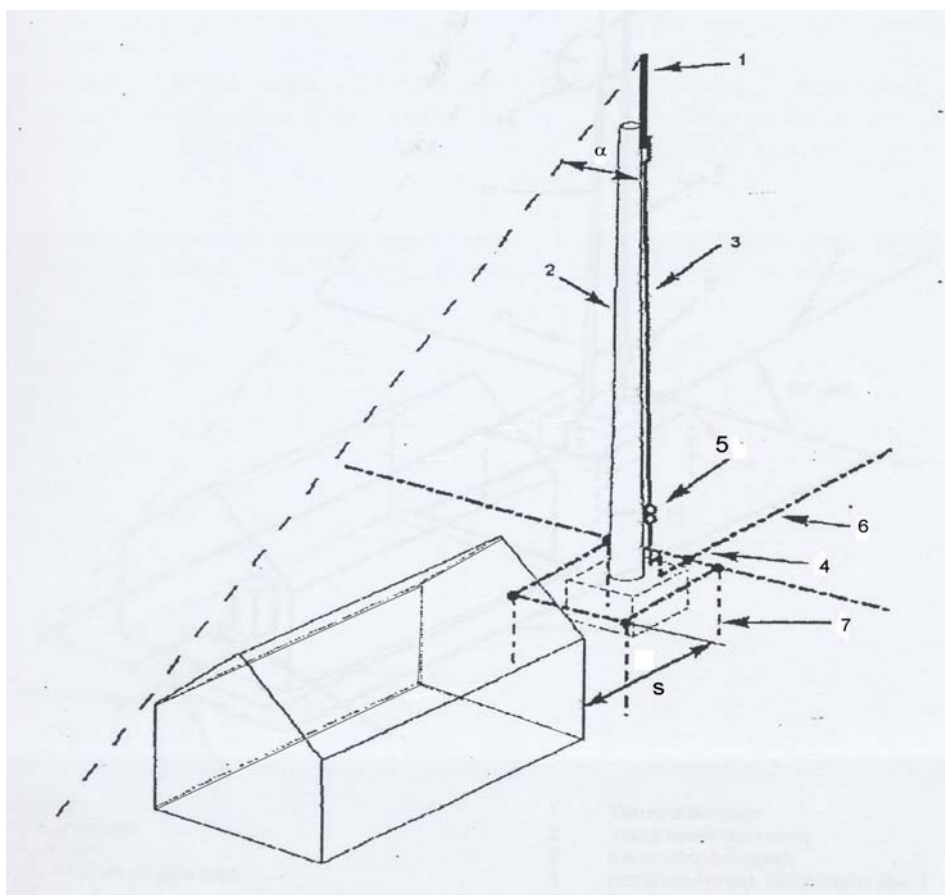
Gambar 36c Sambungan konduktor dari elektroda bumi pondasi ke batang pengikat lewat lapisan isolasi bitumen

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 Konduktor dibawah | 6 Elektroda bumi pondasi |
| 2 Sambungan uji | 7 Isolasi bitumen, lapisan isolasi kedap air |
| 3 Konduktor pengikat ke SPP internal | 8 Konduktor penghubung antara penguat baja dan sambungan uji |
| 4 Lapisan beton tanpa tulang | 9 Penguat baja dalam beton |
| 5 Konduktor penghubung SPP | 10 Pelobangan lapisan bitumen kedap air |
- CATATAN Izin dari kontraktor bangunan gedung diperlukan

Gambar 36 Konstruksi cincin pondasi bumi untuk bangunan gedung dengan perancangan pondasi yang berbeda.

Tabel 16 Nilai parameter b untuk tingkat proteksi yang berbeda

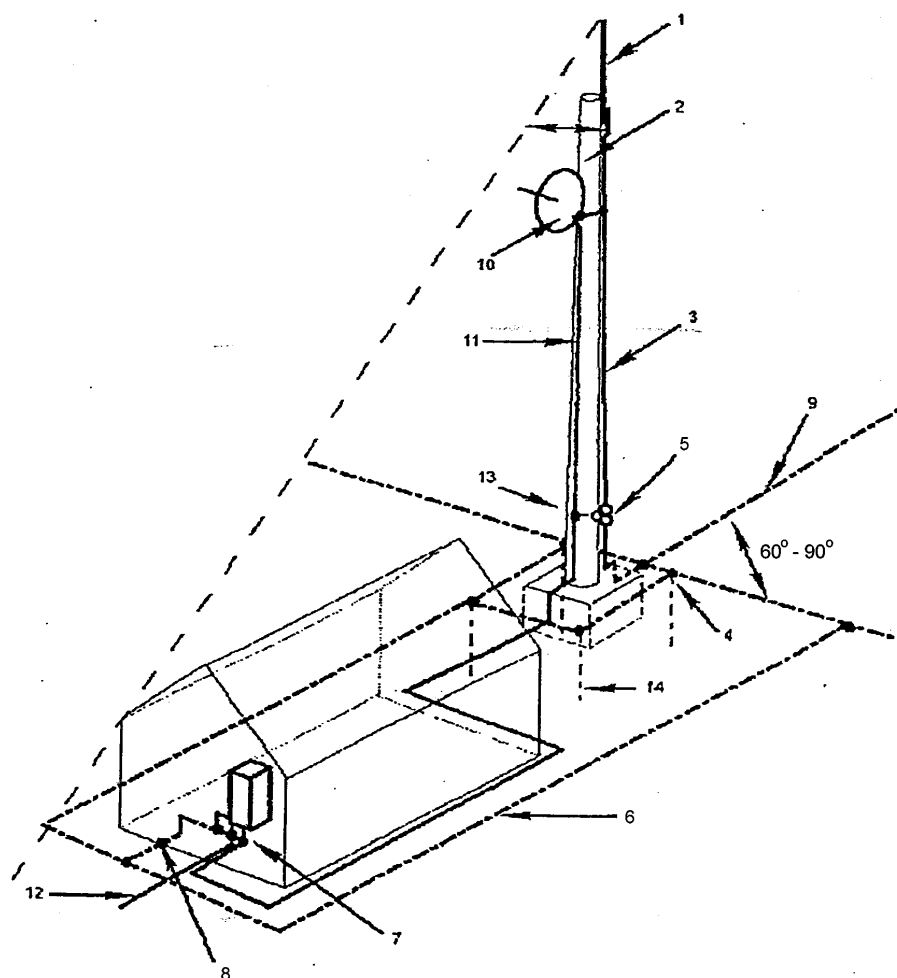
Tingkat proteksi	b
I	0,4
II	0,3
III dan IV	0,25



- 1 Terminasi-udara
- 2 Tiang terminasi-udara
- 3 Konduktor penyalur
- 4 Sambungan tipe-T tahan korosi
- 5 Sambungan uji
- 6 Elektroda bumi, susunan pembedian tipe-A, elektroda bumi radial
- 7 Elektroda bumi vertikal, jika dapat diterapkan
- s Jarak pisah
- α Sudut proteksi

CATATAN Jarak pisah s antara bangunan gedung dan terminasi udara melebihi jarak aman menurut 8.6.1.6 dan jarak dalam tanah antara bagian konduktif dari bangunan gedung dan sistem terminasi-bumi melebihi jarak D menurut 8.3.4 Standar ini.

Gambar 37 SPP eksternal terisolasi untuk bangunan gedung tanpa saluran pelayanan eksternal



- | | | | |
|---|---|----------|--|
| 1 | Terminasi-udara | 8 | Konduktor pengikat ke penguat baja, elektroda bumi pondasi |
| 2 | Tiang terminasi-udara | 9 | Susunan pembumian tipe A - elektroda bumi radial |
| 3 | Konduktor penyalur | 10 | Antenna |
| 4 | Sambungan tipe-T tahan korosi. | 11 | Kabel antenna |
| 5 | Sambungan uji | 12 | Kabel komunikasi |
| 6 | Elektroda bumi, susunan pembumian tipe-A, elektroda bumi radial | 13 | Pengikat perisai kabel |
| 7 | Batang penyalur teganganisasi | 14 | Elektroda bumi vertikal, jika dapat diterapkan |
| | | α | Sudut proteksi |

CATATAN 1 Luas gelung antara konduktor penyalur dan kabel antenna sebaiknya tetap kecil.

CATATAN 2 Sistem terminasi-bumi pada SPP diikat ke bagian konduktip pada bangunan gedung menurut 8.6.1.2 dan ke susunan pembumian tipe B pada bangunan gedung.

Gambar 38 SPP eksternal terisolasi untuk bangunan gedung dengan saluran pelayanan eksternal dan instalasi logam.

8.3.6 Elektroda bumi di dalam tanah berbatu

8.3.6.1 Selama konstruksi, elektroda bumi pondasi sebaiknya dibangun di dalam pondasi beton.

8.3.6.2 Pada sambungan uji elektroda bumi tambahan sebaiknya disambung ke konduktor penyalur dan ke elektroda bumi pondasi.

8.3.6.3 Dalam hal elektroda pondasi tidak tersedia, elektroda bumi cincin sebaiknya digunakan.. Jika elektroda bumi tidak dapat ditanam dalam tanah dan harus dipasang diatas permukaan, sebaiknya dilindungi dari kerusakan mekanik.

8.3.6.4 Elektroda bumi radial yang terletak pada permukaan atau dekat permukaan bumi sebaiknya ditutup dengan batu atau ditanam dalam beton untuk proteksi mekanik.

8.3.6.5 Bila bangunan gedung berada dekat dengan jalan, jika mungkin, elektroda bumi cincin sebaiknya ditanam dibawah jalan. Namun demikian, bila tidak mungkin untuk keseluruhan segmen jalan, kontrol pengendalian ikatan potensial sebaiknya disediakan paling tidak sekitar konduktor penyalur.

8.3.7 Sistem terminasi bumi di area yang luas

8.3.7.1 Secara tipikal kawasan industri terdiri atas sejumlah bangunan gedung, dengan banyak kabel tenaga dan sinyal dipasang.

Sistem terminasi-bumi banyak bangunan gedung yang serupa ini sangat penting untuk melindungi sistem kelistrikannya. Untuk sistem pembumian dengan impedans rendah mengurangi perbedaan potensial antara bangunan gedung dan juga mengurangi masuknya gangguan ke jaringan listrik.

Impedansi bumi yang rendah dapat dicapai dengan melengkapi atau memasang elektroda-bumi pondasi dan tambahan elektroda cincin serta tipe radial sebagaimana dalam 6.5.8.

8.3.7.2 Interkoneksi antara elektroda bumi, elektroda bumi pondasi dan konduktor – penyalur sebaiknya dipasang pada sambungan uji. Beberapa sambungan uji juga harus disambung ke batang IPP dari SPP internal.

8.3.8 Pencegahan terhadap korosi pada sistem terminasi-bumi

8.3.8.1 Elektroda bumi baja di dalam tanah sebaiknya disambungkan ke tulangan beton dengan celah latu yang mampu menyalurkan sebagian besar arus petir (lihat Tabel 6 untuk dimensi konduktor penghubung). Sambungan langsung, dalam tanah, akan meningkatkan risiko korosi yang cukup berarti.

8.3.8.2 Jika pipa logam ditanam didalam tanah dan dihubungkan ke IPP ke sistem terminasi-bumi, bahan pipa yang tidak terinsulasi, dan bahan konduktor pembumian harus identik. Pipa dengan pelindung cat atau aspal tidak dianggap terinsulasi. (lihat catatan dalam 8.1.3).

8.3.8.3 Bila penggunaan bahan yang sama tidak memungkinkan, sistem pemipaan harus diinsulasi dari sistem pembumian bangunan dengan cara memasang pipa yang berinsulasi..

8.3.8.4 Bagian yang berinsulasi sebaiknya dijembatani dengan cara celah latu. Pemasangan celah latu juga sebaiknya dilakukan, bila potongan pipa berinsulasi dipasang untuk proteksi korosi. Celah latu harus mampu menyalurkan sebagian besar arus petir.

8.3.8.5 Bila konduktor tembaga atau baja stainless disambungkan ke tulangan beton, titik sambung dan pada permukaan didekatnya, sebaiknya dilengkapi dengan pelapisan anti korosi.

8.3.8.6 Konduktor dengan selubung timbal tidak boleh dipasang langsung ke beton. Konduktor dengan sarung timbal harus dilindungi terhadap korosi dengan lapisan anti korosi atau dengan insulasi ciut panas.. Konduktor boleh dilindungi dengan menggunakan PVC

8.3.8.7 Konduktor terminasi bumi pada titik masuk ke tanah sebaiknya dilindungi terhadap korosi sepanjang 0,3 m di atas dan di bawah permukaan tanah dengan cara balut anti korosi atau dengan bungkus ciut panas.

8.3.8.8 Bahan yang digunakan untuk penyambungan konduktor didalam tanah harus mempunyai sifat korosi yang identik terhadap konduktor terminasi-bumi. Sambungan dengan klem secara umum tidak diizinkan kecuali pada kasus dimana sambungan telah dilengkapi dengan proteksi korosi. Sambungan las sebaiknya dilindungi terhadap korosi.

8.3.8.9 Korosi logam didalam tanah selalu memerlukan perhatian yang amat serius. Pengalaman praktis memperlihatkan :

- 1) Aluminium tidak boleh digunakan sebagai elektroda bumi;
- 2) konduktor baja berlapis timbal tidak sesuai untuk digunakan sebagai konduktor pembedaan;
- 3) konduktor berlapis diselubungi timbal sebaiknya tidak digunakan dalam beton atau dalam tanah dengan kandungan kalsium tinggi.

Sebagai informasi pemilihan bahan dan perlindungan terhadap korosi, lihat bab 7.

9 Konstruksi SPP internal

9.1 Ikatan penyalur potensial dari bagian konduktif internal

9.1.1 Jika SPP diperlukan, bagian konduktif eksternal, kabel listrik, kabel komunikasi, kabel kontrol, atau komponen induktif eksternal lain yang masuk ke bangunan, harus diikat pada titik masuk secara langsung, atau melalui GPS (gawai proteksi surja) (misalnya arester petir, celah udara, MOV, dioda peredam atau yang lain).
Tipikal pengikatan GPS dapat dilihat pada gambar 24.

9.1.2 Ikatan harus dilaksanakan dengan ikatan konduktor yang pendek.

9.1.3 Batang IPP harus dipasang dan ditempatkan pada sisi dalam atau sisi luar dinding yang dekat permukaan tanah dan terhubung sedekat mungkin dengan sistem terminasi pembedaan yang terdiri atas elektroda bumi cincin, elektroda bumi pondasi dan elektroda bumi alami, sedemikian rupa dengan konduktor pendek..

9.1.4 Jika mungkin, tulangan beton dapat digunakan sebagai IPP

9.1.5 Jika jaringan jala tambahan yang disambung baut atau las diperlukan dalam konstruksi sistem ikatan, konstruksi ini harus sesuai dengan Lampiran D. Sambungan terminal yang dilas atau dibaut dipasang pada dinding dekat permukaan tanah.

9.1.6 Batang ikatan harus dihubungkan melalui konduktor yang dilas atau mur dan baut tahan korosi, contoh susunan batang ikatan adalah ditunjukkan pada gambar 43.

9.1.7 Luas penampang tiap konduktor harus memenuhi tabel 2, sebagai alternatif dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S_p = \sqrt{\frac{aI^2t}{K}} \quad \text{mm}^2$$

di mana :

S_p = luas penampang konduktor proteksi

I = Arus petir total melalui gawai proteksi

- a = Bagian arus petir dalam bagian tertentu dari bagian yang kembali.
 t = waktu operasi dari gawai pemutus untuk arus aI (det).
 K = faktor yang tergantung pada bahan konduktor, jenis isolasi, suhu awal asumsi dan temperatur maksimum yang diperbolehkan dari isolasi.

atau dengan menggunakan alternatif perhitungan dengan metode lain, ukuran konduktor proteksi dan sambungan ikatan yang tergabung atau ikatan penyama potensial dapat dipilih dari tabel 1 standar ini yang dapat membawa sebagian besar petir.

9.1.8 Semua konduktif internal ukuran yang penting, seperti elevator, rel, derek, lantai logam, bingkai logam, pipa dan sistem kabel listrik, harus diberi pengikat ke batang IPP terdekat dengan kabel konduktor ikatan sependek pada level permukaan tanah dan level permukaan lain bila jarak aman sesuai dengan 6.6.1.6 tidak dapat dipenuhi. Pengikatan dengan cara langsung atau melalui GPS (pilih yang mungkin).

Tambahan interkoneksi ganda dari komponen bangunan yang konduktif sangat bermanfaat dan sangat dianjurkan. Contoh susunan ikatan didalam suatu bangunan gedung dapat terlihat pada gambar 39, 40, 41, 42, 50.

9.1.9 Batang IPP atau bagian lain ikatan harus tahan terhadap arus petir..

9.1.10 GPS harus mampu meluahkan surja tegangan lebih akibat petir, konstruksi GPS harus tahan tanpa kerusakan atau menimbulkan kebakaran.

9.2 IPP untuk instalasi eksternal

9.2.1 Seluruh komponen konduktif eksternal, saluran daya listrik, saluran komunikasi dan instrumentasi sebaiknya masuk ke bangunan dekat dengan level permukaan tanah pada titik masuk bersama. Contoh dari konstruksi SPP Internal terlihat pada gambar 54 dan 55.

9.2.2 Batang IPP pada lokasi titik bersama harus dihubungkan ke sistem terminasi bumi dengan konduktor pengikat sependek mungkin.

9.2.3 Apabila dengan satu alasan tertentu bagian konduktif eksternal, saluran daya listrik, instrumentasi dan komunikasi memasuki bangunan gedung pada titiki yang berbeda, sehingga perlu dipasang beberapa batang IPP, batang IPP tersebut harus disambungkan sedekat mungkin dengan sistem terminasi bumi dan membentuk jaringan jala, yaitu: elektroda bumi bentuk cincin, penguat dari pembumian pondasi bila ada. (lihat gambar 39, 40 dan 41).

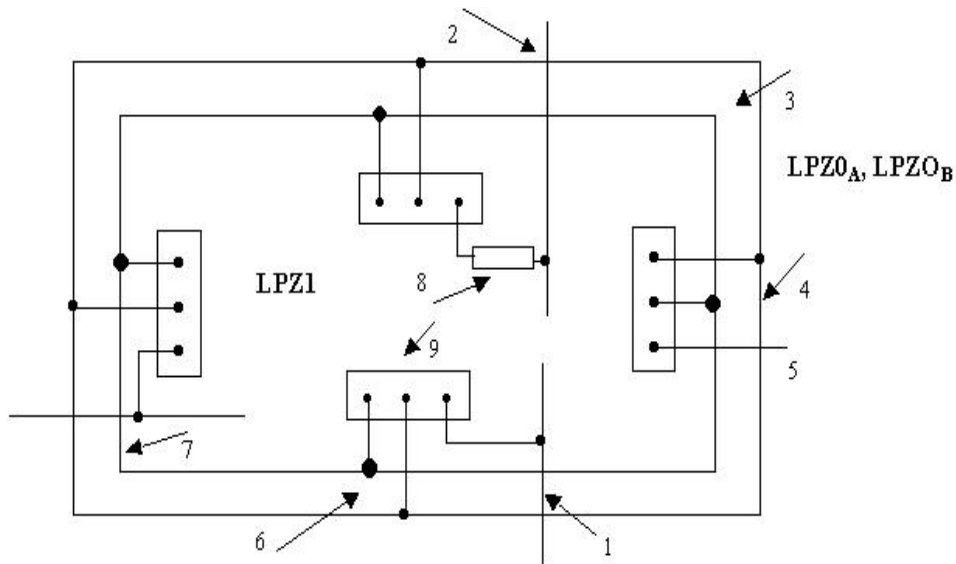
9.2.4 Bila susunan pembumian tipe A diterapkan sebagai SPP, maka batang IPP harus dihubungkan ke elektroda bumi tersekat. Selanjutnya batang-batang IPP tersebut harus disalinghubungkan dengan konduktor cincin internal, atau konduktor lainnya yang membentuk bagian cincin. (lihat gambar 54)

9.2.5 Untuk instalasi eksternal yang masuk di lantai atas, batang IPP harus dihubungkan ke konduktor cincin internal/eksternal yang harus diikat ke konduktor penyalur SPP dan komponen logam lain bila ada. (sebaiknya ke penguat logam dari bangunan gedung, jika dapat diterapkan).

9.2.6 Pengikatan untuk instalasi eksternal didalam bangunan dengan beton bertulang yang berisikan instalasi komputer, komunikasi, sistim informasi dengan skala besar, dan untuk bangunan gedung dimana kebutuhan atas KEM yang sangat ketat, maka harus digunakan plat logam untuk titik masuk kabel dengan interkoneksi ke baja penguat sutuktur atau elemen logam lainnya.

Gambar 52 dan 57 memperlihatkan contoh konstruksi SPP-internal di dalam bangunan gedung beton bertulang baja.

9.2.7 Luas penampang minimum untuk konduktor ikatan atau sambungan pengikat untuk bagian konduktif eksternal pengikat harus diberlakukan sesuai tabel-16 atau dapat dihitung sesuai rumus di butir 9.2.8 diatas, atau lihat Standar ini yang dapat membawa sebagian besar arus petir, untuk contoh lebih dari 25% total arus petir.

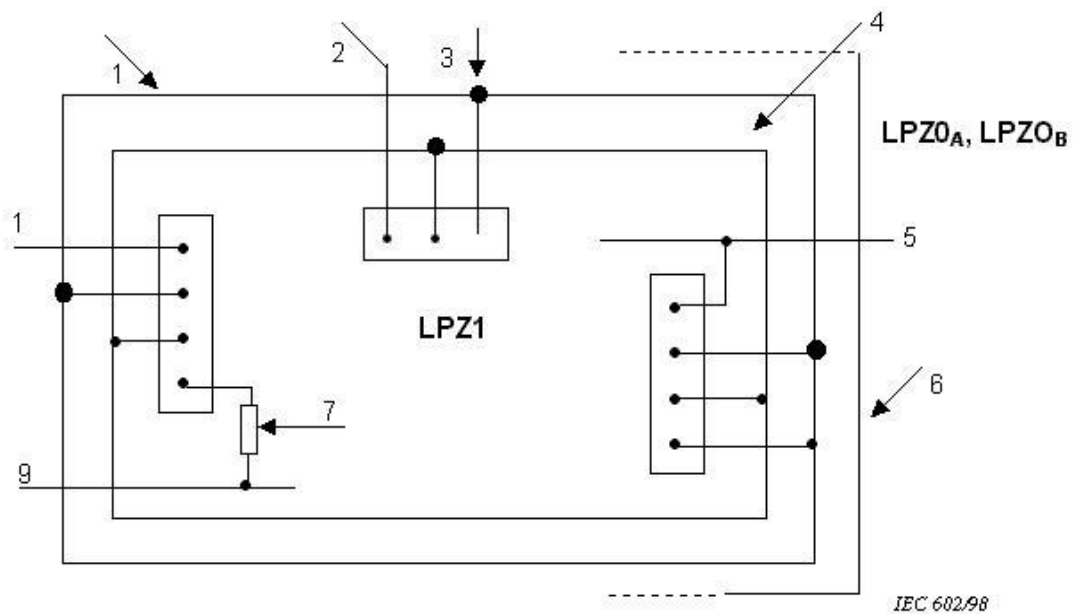


1. Bagian konduktif eksternal, misalnya pipa air logam.
2. Saluran komunikasi atau tenaga listrik.
3. Tulangan baja dari dinding beton bagian luar dan pondasi.
4. Elektroda bumi cincin.
5. Keelektroda bumi tambahan.
6. Sambungan ikatan khusus*
7. Dinding beton bertulang baja, lihat 3.
8. GPS
9. Batang pengikat.

Lihat juga penerapan dari batang ikatan sambungan baja sebagai yang dijelaskan dalam Lampiran D.

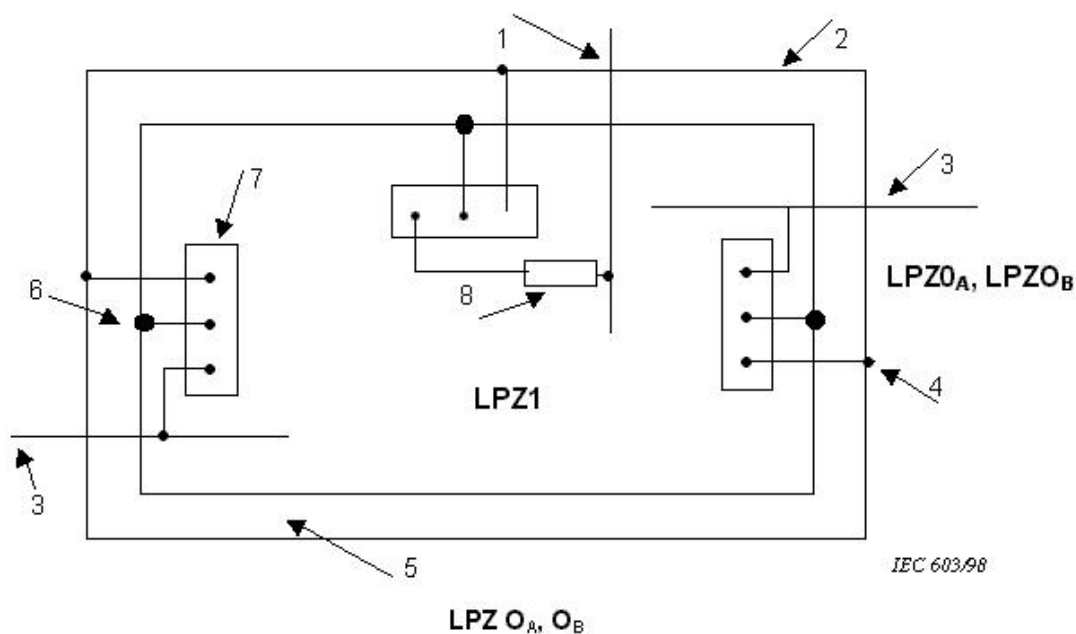
CATATAN Tulangan baja dalam pondasi digunakan sebagai elektroda bumi alami.

Gambar 39 Tipikal suatu susunan pengikatan dalam kasus dari masukan titik banyak dari bagian konduktif eksternal yang menggunakan konduktor cincin internal untuk interkoneksi batang ikatan



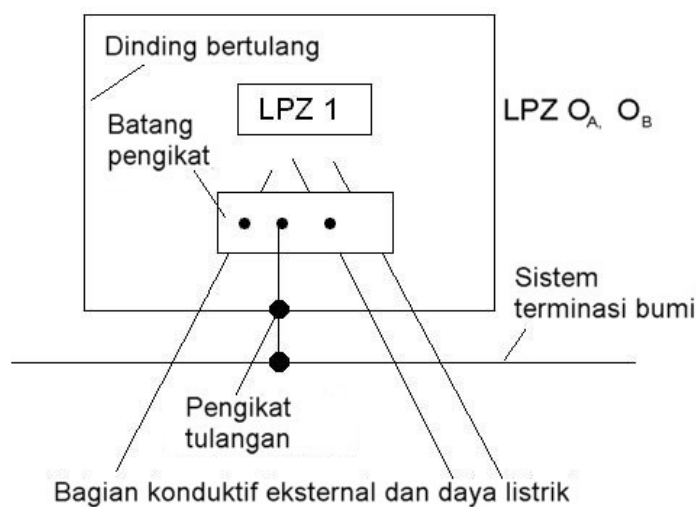
- 1) Penulangan besi dari dinding beton bagian luar pondasi
- 2) Elektroda bumi lain
- 3) Sambungan ikatan sambungan
- 4) Konduktor ring internal
- 5) Ke bagian konduktif eksternal, eq. Pipa air metal
- 6) Elektroda bumi berbentuk ring, pembedian jenis B
- 7) Gawai proteksi surja
- 8) Batang ikatan sambungan
- 9) Saluran komunikasi atau tenaga listrik
- 10) Ke elektroda bumi tambahan

Gambar 40 Tipikal suatu susunan pengikatan dalam kasus dari masukan titik banyak dari bagian konduktif dan saluran komunikasi atau daya listrik yang menggunakan konduktor cincin internal untuk interkoneksi batang ikatan

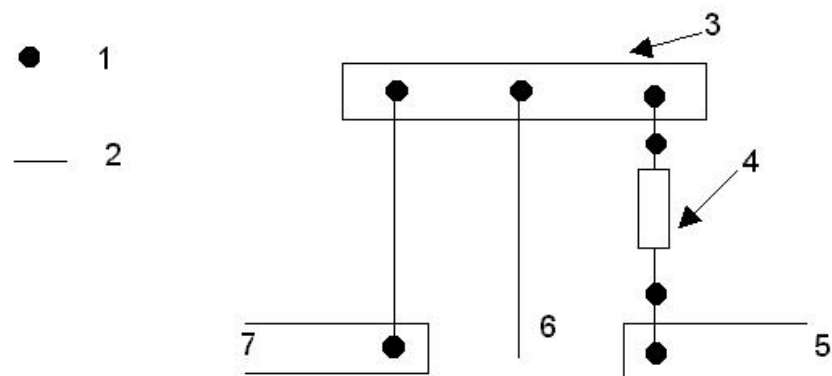


- 1) Saluran komunikasi atau tenaga listrik
- 2) Konduktor ring horisontal eksternal
- 3) Bagian konduktif eksternal
- 4) Sambungan konduktor turun
- 5) Penulangan besi dalam dinding
- 6) Sambungan ikatan spesial
- 7) Batang ikatan sambungan
- 8) Gawai proteksi Surja

Gambar 41 Tipikal suatu susunan pengikatan dalam bangunan gedung dengan masukan titik banyak dari bagian konduktif eksternal yang masuk bangunan tersebut di atas tanah



Gambar 42 Pengikatan dalam kasus titik masukan tunggal dari bagian konduktif eksternal



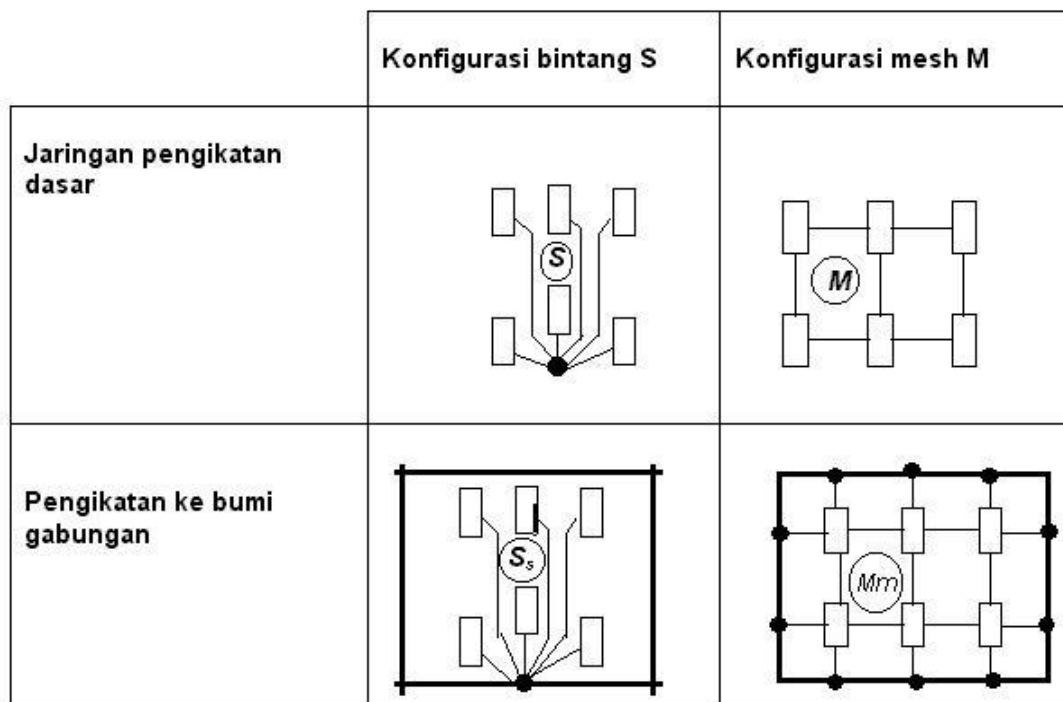
- 1) Sambungan las, baut, klem
- 2) Konduktor pengikat
- 3) Batang pengikat
- 4) Gawai proteksi surja
- 5) Bagian atau sistem yang mensyaratkan pengikatan dengan Gawai proteksi surja
- 6) Ke sistem terminasi bumi
- 7) Bagian atau sistem yang mensyaratkan pengikatan langsung

CATATAN Sambungan pengikatan khusus perlu jika sambungan dibuat untuk penulangan baja

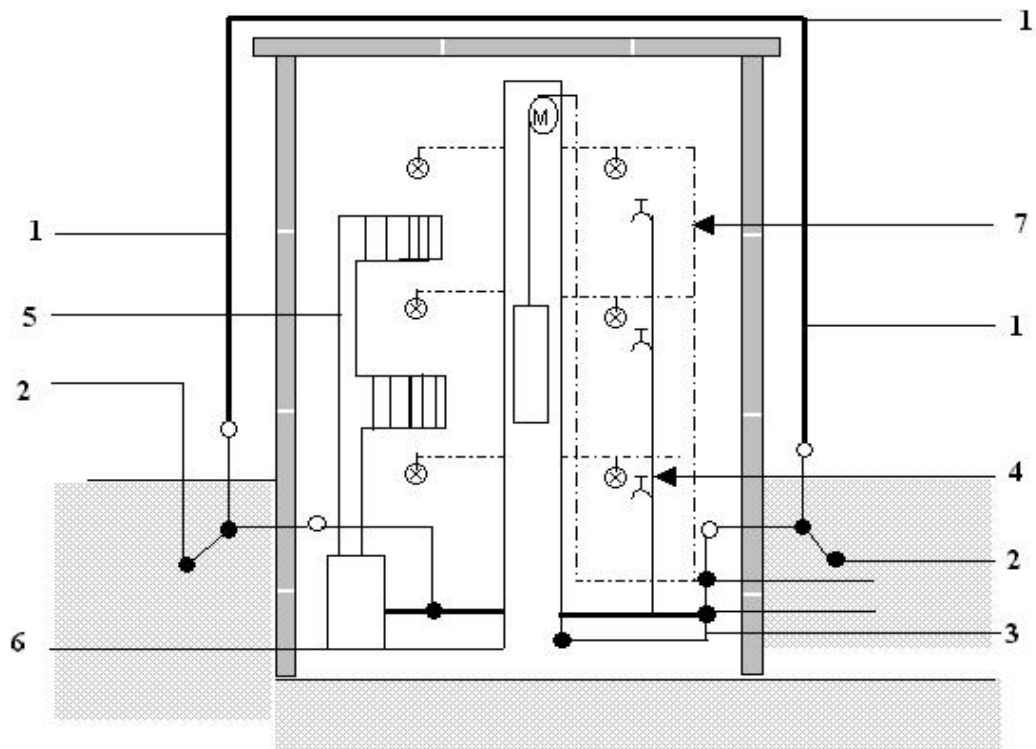
Gambar 43 Susunan pengikatan bagian konduktif, contoh pipa air logam dan batang yang terhubung ke bangunan gedung terminasi bumi

	Konfigurasi bintang S	Konfigurasi mesh M
Jaringan pengikatan dasar		
Pengikatan ke bumi gabungan		

Gambar 44 Metoda dasar pengikatan dari suatu sistem informasi



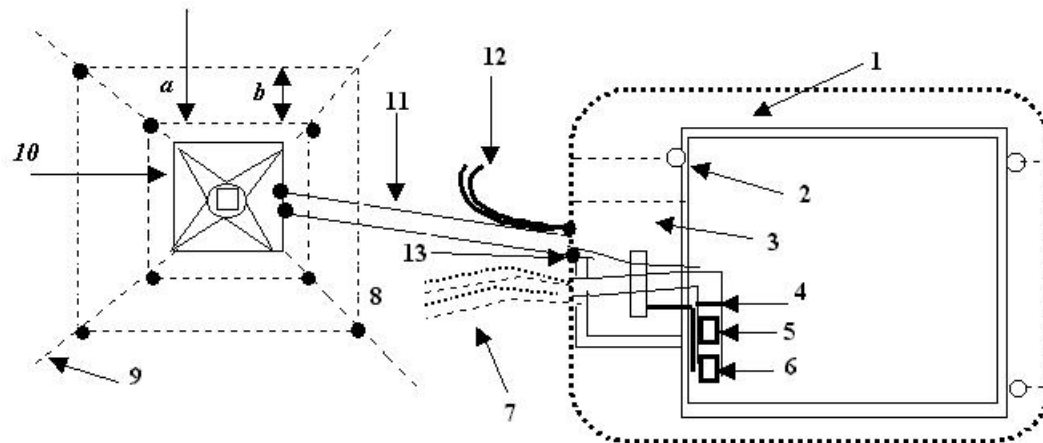
Gambar 45 Tipikal suatu konstruksi SPP internal yang menunjukkan ikatan sambungan ke fasilitas pelayanan (gas, air, listrik) dalam bangunan gedung dinding beton tanpa tulangan baja yang menggunakan titik masukan satu untuk semua fasilitas



- 1) SPP eksternal, terminal udara dan konduktor ke bawah
- 2) Elektroda bumi berbentuk cincin, susunan pembumian tipe B
- 3) Batang ikatan sambungan
- 4) Pipa air logam
- 5) Pipa pemanas sentral
- 6) Batang pengarah elevator
- 7) Instalasi tenaga tegangan rendah

CATATAN Semua pelayanan sebaiknya masuk struktur pada lantai dasar masukan yang sama

Gambar 46 Konstruksi SPP internal yang menunjukkan ikatan SPP internal dan eksternal pada bangunan gedung dinding beton tanpa tulangan baja, dengan titik masuk banyak untuk semua pelayanan

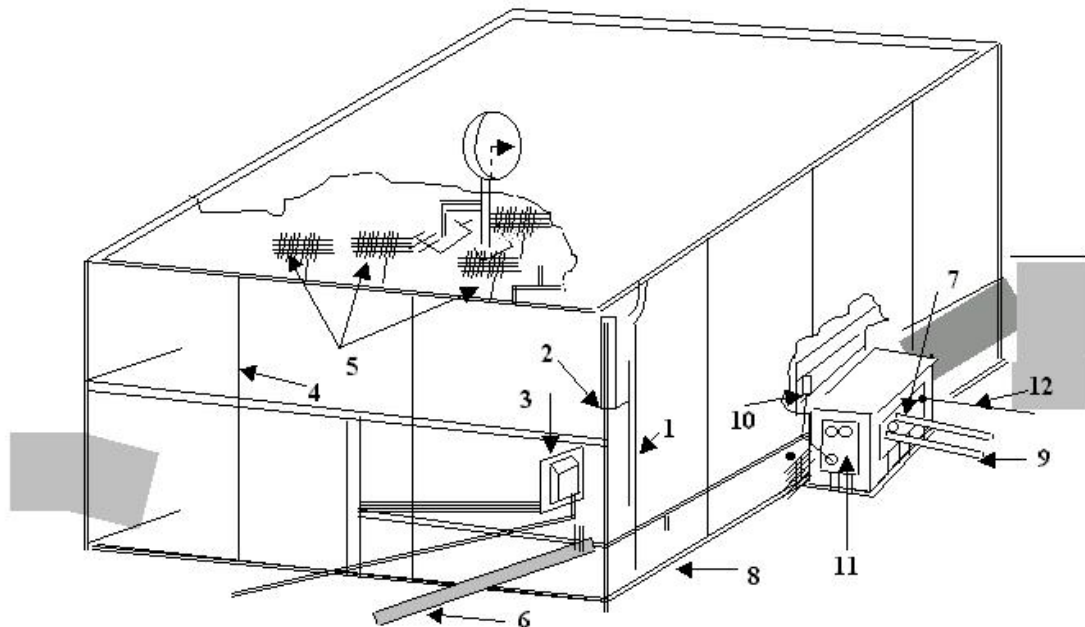


- 1) Struktur beton bertulang baja dengan jendela dan SPP eksternal.
 - 2) Konduktor kebawah.
 - 3) Sambungan antara tulangan baja dan elektroda bumi berbentuk cincin, Pembumian tipe B.
 - 4) Plat baja galvanis (tebal >2 mm) yang digunakan sebagai penggaman batang ikatan dan kontak dengan pelindung logam kabel pada lubang orang. Ketebalan dinding yang lebih tinggi mengurangi resiko kejenuhan magnet (lihat catatan 1).
 - 5) Kotak gawai proteksi surja untuk catu daya tegangan rendah.
 - 6) Kotak gawai proteksi surja untuk telepon.
 - 7) Kabel tegangan rendah atau tinggi dalam dak kabel dengan impedans rendah, dinding baja yang dilas.
 - 8) Kabel telpon dalam dak kabel impedans rendah atau kabel telpon terperisai khusus.
 - 9) Pembumian tipe A.
 - 10) Tower pemancar.
 - 11) Tabung baja galvanis atau dak baja pada pembumian ketebalan dinding (>2 mm dengan resiko kejenuhan), diikat sambung ke penutup lubang orang dari besi.
 - 12) Pipa air logam.
 - 13) Sambungan antara dak logam dan sistem terminasi bumi.
- a = 0.5 m; b= 5m

CATATAN 1 Tembaga lebih disukai dari pada besi sebab alasan korosi yang terjadi dalam bangunan dengan penulangan baja yang diperlukan (baja dalam beton mempunyai potensial galvanis yang sama seperti tembaga dalam pembumian).

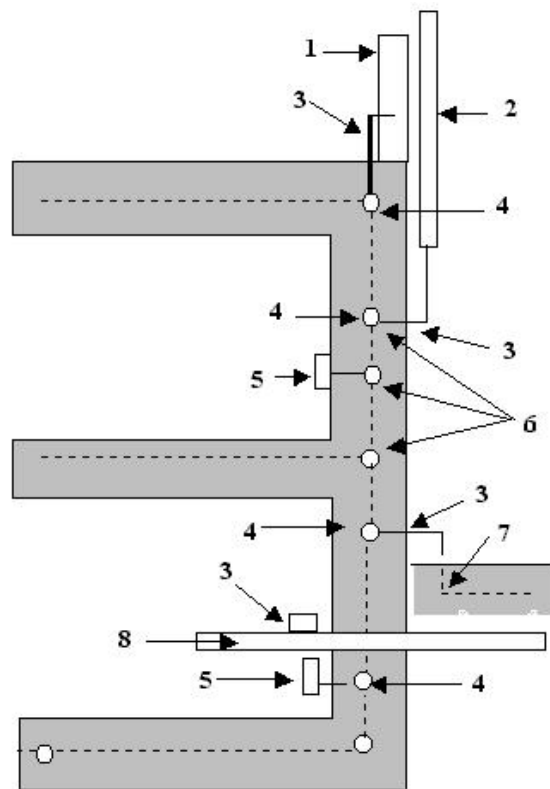
CATATAN 2 Untuk sistem dengan dak kabel pendek elektroda bumi cincin pada tower antenna dan struktur dapat diinterkoneksi dengan elektroda bumi tambahan (lihat IEC 61312-1). Semua dimensi berkaitan dengan enjiniring praktis yang baik tetapi tidak mandatory.

Gambar 47 Konstruksi SPP eksternal dan pembumian bagian konduktif eksternal pada station komunikasi radio dengan dak kabel panjang (> 10 m) dibawah permukaan bumi antara antenna dan perlengkapan didalam bangunan gedung



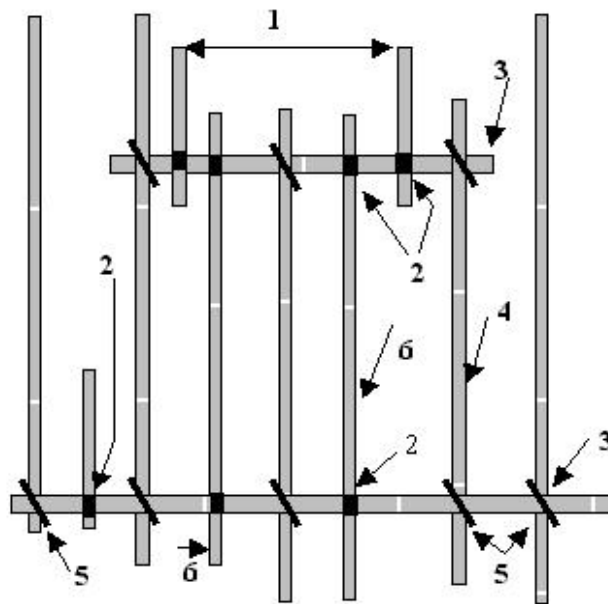
- 1) Pipa buangan, konduktor kebawah natural.
- 2) Sambungan uji.
- 3) Kotak distribusi daya tegangan rendah utama.
- 4) Batang baja tambahan dalam beton sebagai konduktor kebawah spp.
- 5) Sambungan ke penulangan baja.
- 6) Pipa air masukan dengan segmen pengisolasi, gunakan jembatan celah busur.
- 7) Tabung masukan logam untuk kabel televisi.
- 8) Penulangan baja dalam pondasi sebagai sistem terminasi bumi natural.
- 9) Kotak fiktur untuk sambungan kabel.
- 10) Gawai proteksi surja utama pada saluran telekomunikasi.
- 11) Gland plat logam yang menggantikan batang pengikat.
- 12) Elektroda bumi radial terposisi dalam jalur kabel diatas blok tabung plastik untuk kabel, susunan pembumian jenis A.
- 13) Kabel televisi.

Gambar 48 SPP untuk bangunan gedung telekomunikasi konstruksi dari beton bertulang



- 1) Balok penopang baja.
- 2) Pelat logam aling-aling
- 3) Pengikatan
- 4) Konduktor pengikatan baja dari baja lunak
- 5) Batang pengikatan
- 6) Konduktor cincin pengikatan
- 7) Konduktor pengikatan bumi
- 8) Pipa konduktif

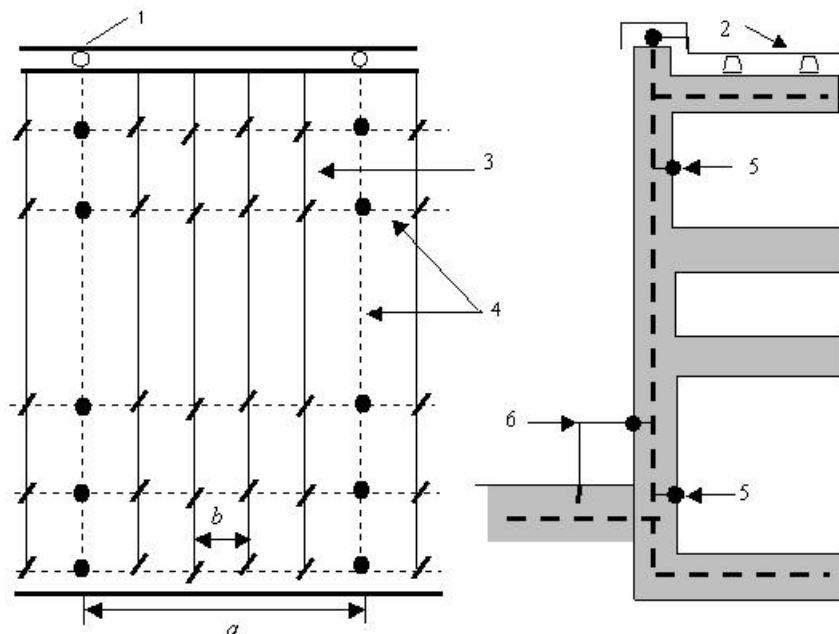
Gambar 49 Contoh susunan titik pengikatan pada struktur industri dari beton bertulang



- 1) Konduktor pengikatan.
- 2) Sambungan terlas.
- 3) Konektor pengikatan baja.
- 4) Batang penguat baja dalam beton.
- 5) Sambungan penekan lilit
- 6) Tambahan – konektor pengikatan baja konduktor dibawah baja lunak.

CATATAN Batang khusus baja lunak, konektor pengikatan sambungan lilit ke batang penguat baja pada beton, ke yang mana konduktor pengikatan seharusnya dilas. Juga untuk batang baja lunak khusus konduktor dibawah seharusnya digunakan.

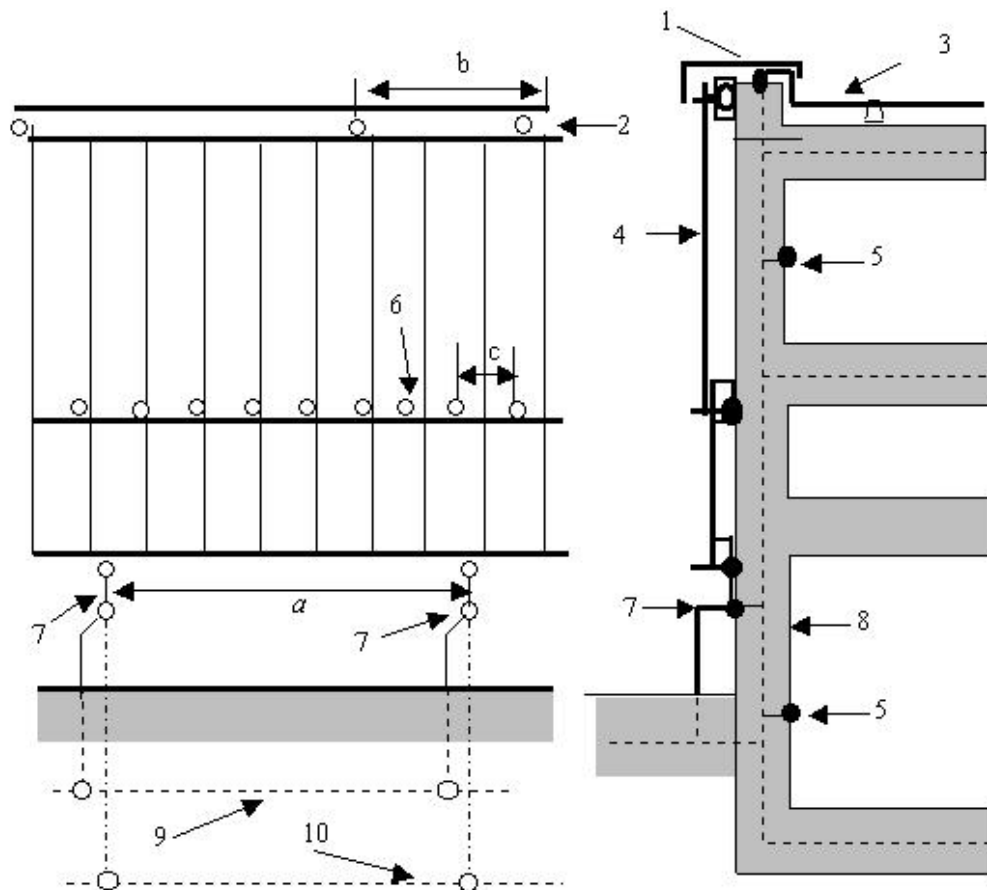
Gambar 50 Konstruksi konduktor pengikatan dan konektor pengikatan baja pada tingkat lantai berbeda dari bangunan gedung beton bertulang baja dengan penulangan digunakan sebagai komponen alami SPP



- 1) Sambungan antara sistem terminal udara dan konduktor dibawah.
 - 2) Konduktor terminasi udara horizontal.
 - 3) Batang penguatan baja.
 - 4) Konduktor dibawah dan konduktor cincin terbuat dari baja ringan.
 - 5) Batang ekipotensial SPP internal.
 - 6) Sambungan uji.
- a = 5 m
b = 1 m

CATATAN SPP dari bermacam struktur yang cocok untuk proteksi terhadap PEMP yang diinginkan. Penguatan seharusnya sesuai dengan ayat 4 & lampiran D. Jarak rekomendasi antara batang konduktor dibawah dan batang penguatan baja vertikal seperti yang ditunjukkan diatas.

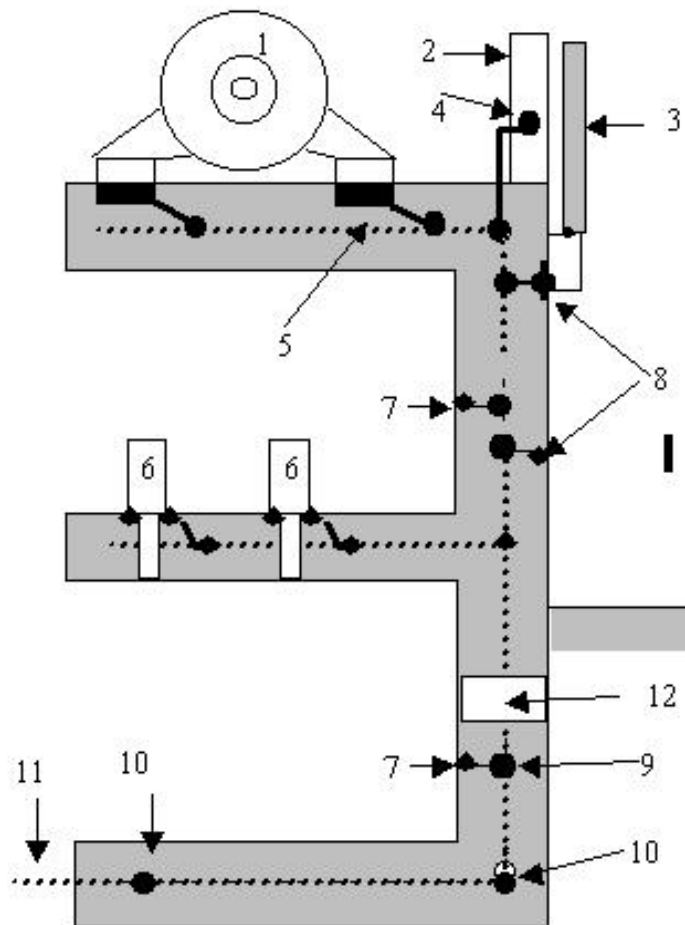
Gambar 51 SPP bangunan gedung beton bertulang baja yang memanfaatkan batang berpenguat untuk perisai terhadap PEMP, sebagai sistem konduktor dibawah alami dan untuk pengikatan penyama tegangan SPP internal



- 1) Penutup Logam sandaran atap
- 2) Sambungan antara pelat penekan dan terminasi udara
- 3) Konduktor terminasi udara horisontal
- 4) Penutup segment penekan logam
- 5) Batang ekipotensial SPP internal
- 6) Sambungan antara pelat penekan
- 7) Sambungan uji
- 8) Penguatan baja dalam beton
- 9) Elektroda bumi cincin tipe B
- 10) Elektroda bumi pondasi
- 11) Contoh aplikasi yang diperbolehkan memanfaatkan dimensi berikut $a = 5\text{m}$, $b = 3\text{m}$, $c = 1\text{m}$

CATATAN Untuk sambungan antara pelat, lihat gambar 53 IEC 61024-1-2.

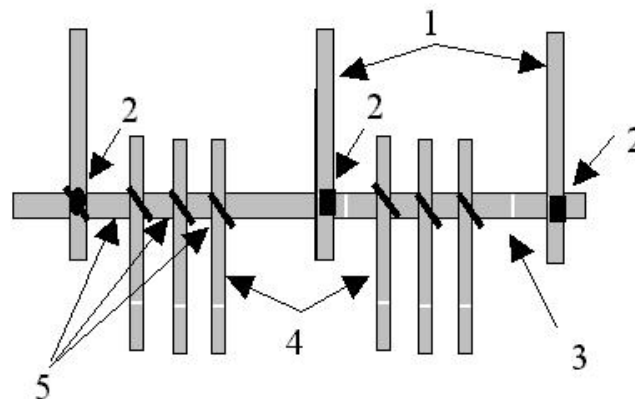
Gambar 52 Penggunaan penutup aling-alang logam sebagai sistem konduktor kebawah alami pada bangunan gedung beton bertulang logam yang sesuai dengan lampiran D



- 1) Perlengkapan daya listrik
- 2) Penyangga dari baja
- 3) Aling-aling penutup dari logam
- 4) Sambungan yang menahan bagian yang substansial dari arus petir
- 5) Sambungan pengikatan
- 6) Perlengkapan listrik
- 7) Batang pengikatan dari SPP internal
- 8) Sambungan untuk penghubung SPP eksternal ke struktur bertulang baja
- 9) Sambungan antara batang pengikatan dan baja penguatan
- 10) Konduktor berbentuk mesh/jala dalam elektroda bumi pondasi
- 11) Baja penguat dalam pondasi
- 12) Masukan umum untuk pelayanan berbeda

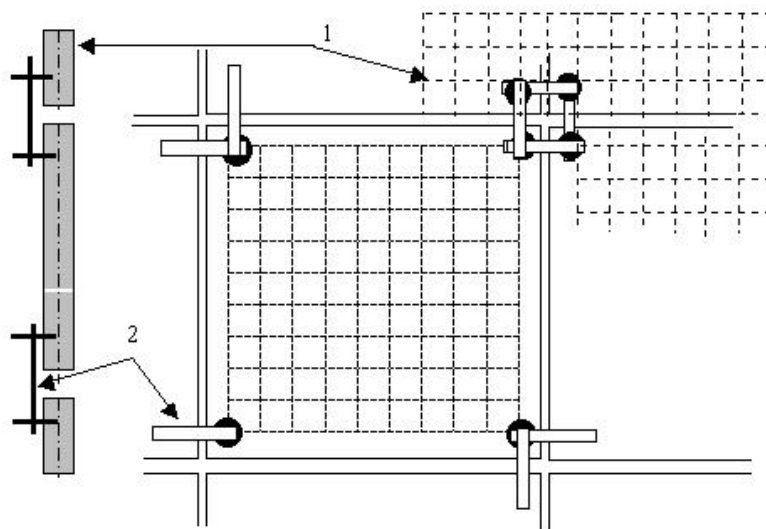
CATATAN Penguatan yang sesuai dengan Lampiran D.

Gambar 53 Contoh pengikatan penyama tegangan dalam bangunan gedung dengan dinding beton bertulang baja yang digunakan sebagai komponen SPP alami



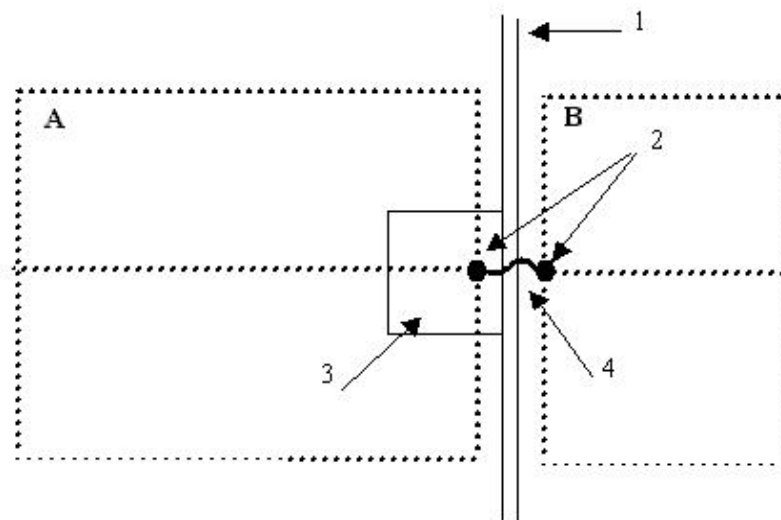
- 1) Konduktor pengikat.
- 2) Sambungan terlas.
- 3) Konektor pengikat dari baja.
- 4) Batang penguat baja.
- 5) Sambungan tekan lilit.

Gambar 54A konstruksi koneksi batang pengikatan baja ke batang pengpenyama tegangan pada bangunan gedung berpenguat baja dengan penguatan digunakan sebagai komponen SPP alami



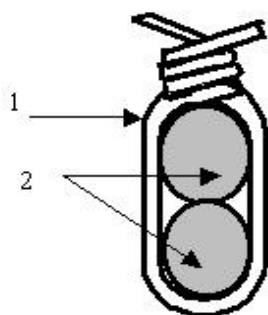
- 1) Beton pratekan bertulang
- 2) Konduktor pengikatan

Gambar 54B Instalasi konduktor pengikatan pada pelat seperti bagian beton bertulang prefabrikasi dengan sarana sambungan konduktor terlas atau berbaut

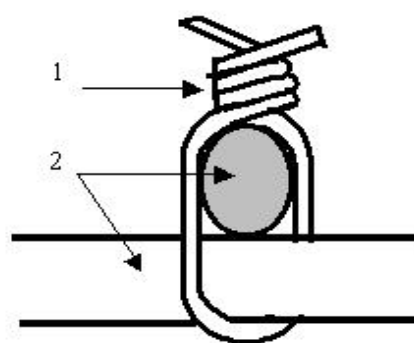


- 1) Slot/parit ekspansi panas
- 2) Sambungan terlas
- 3) Kosong
- 4) Konduktor pengikatan fleksible
- 5) A Beton bertulang bagian 1
- 6) B Beton bertulang bagian 2

Gambar 55 Konstruksi ikatan fleksible antara 2 bagian beton bertulang yang merupakan jembatan parit ekspansi panas pada bangunan gedung



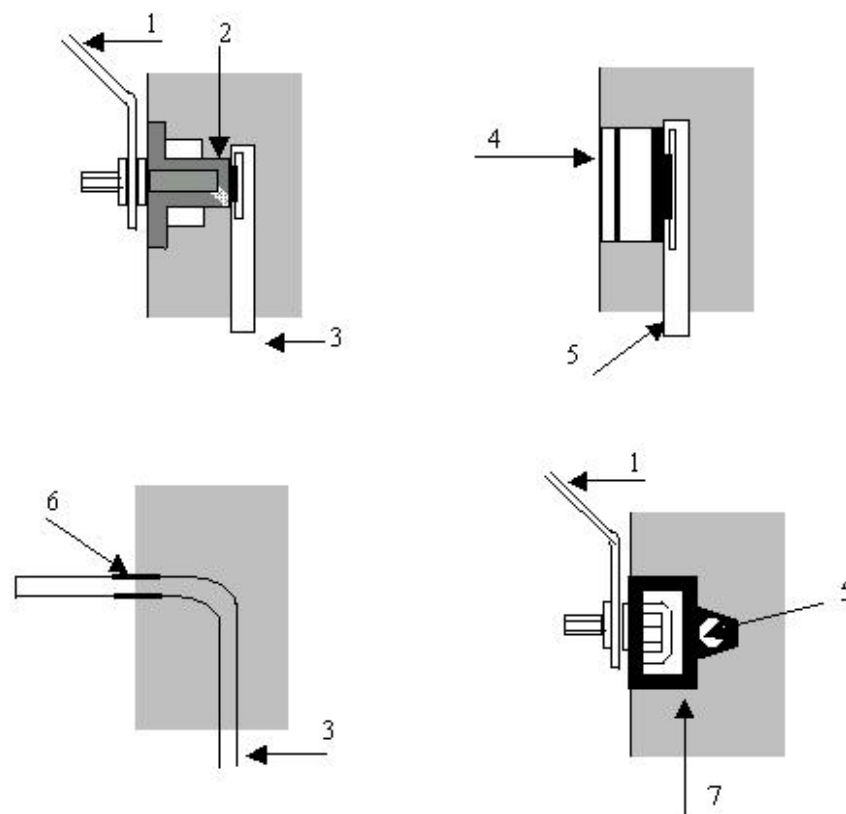
Gambar A1a Batang bulat paralel dua



Gambar A1b Perempatan dua pada sudut kanan

- 1) Kawat baja lunak pelintir
- 2) Batang penguatan baja

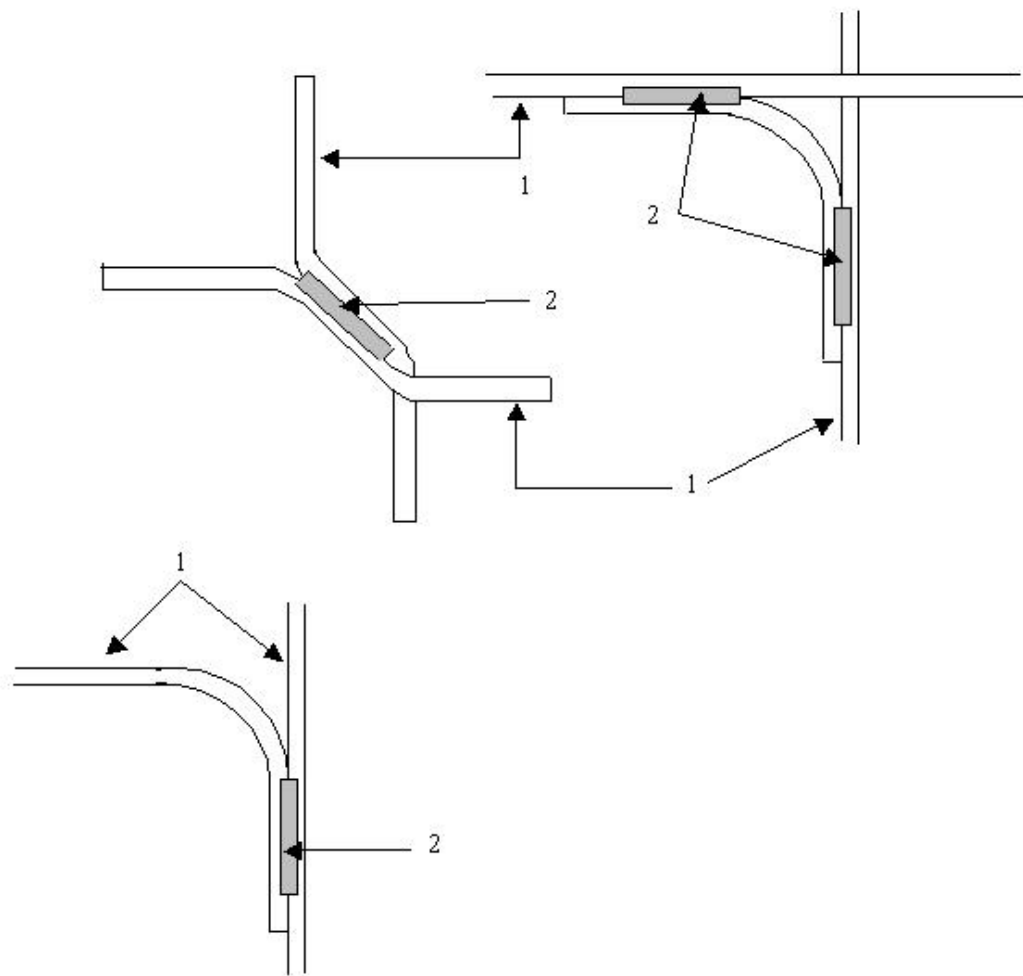
Gambar 56 Sambungan dua batang bulat penguatan baja dengan sambungan lilit memakai kawat baja lunak



- 1) Konduktor pengikatan
 - 2) Baut terlas ke konektor pengikat baja
 - 3) Konektor pengikatan baja
 - 4) Batang pipih pengikatan atau titik pengikatan baja C
 - 5) Konektor pengikatan baja
 - 6) Tindakan proteksi korosi
 - 7) Baja C
- * Konektor pengikatan baja tersambung lilit pada banyak titik ke batang pipih penguatan baja.

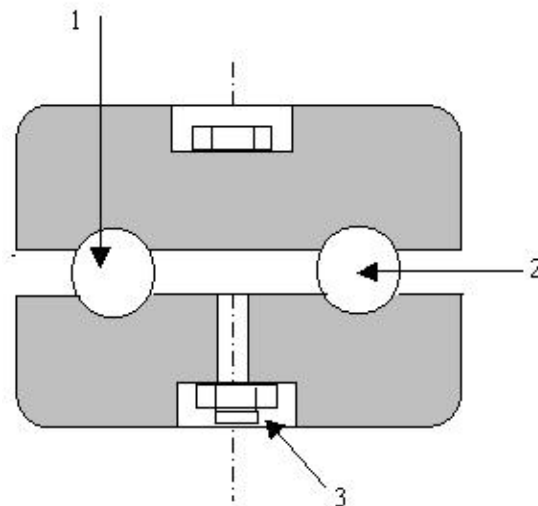
CATATAN Konstruksi C adalah pemecahan tak dapat diterima secara umum dalam praktek keenjineeringan yang baik.

Gambar 57 Contoh untuk titik sambungan ke penulangan dalam dinding beton bertulang

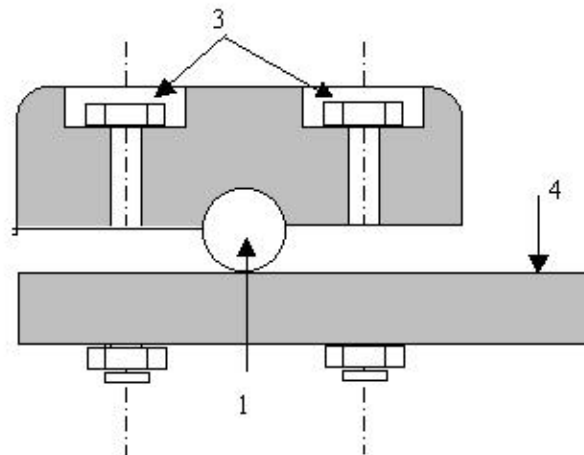


- 1) Batang penguat
- 2) Sim terlas dengan panjang paling sedikit 50 mm

Gambar 58 Sambungan las dari batang berpenguat dalam beton bertulang (jika diijinkan)



Gambar A5a - Batang bulat baja



Gambar A5b - Batang baja pelat ke batang baja bulat

- 1) Batang penguatan
- 2) Ke koneksi
- 3) Sekrup ulir
- 4) Besi strip ke koneksi

Gambar 59 Klem yang digunakan sebagai sambungan untuk batang penguat dan konduktor besi strip

10 Pemeliharaan sistem proteksi petir

10.1 Penjelasan umum

10.1.1 Dalam melaksanakan pemeliharaan dan inspeksi SPP sebaiknya dua program pemeliharaan dan inspeksi dikoordinasikan.

Program inspeksi dan pemeliharaan sebaiknya dibuat oleh pihak yang berwenang, dengan sepengetahuan pemilik bangunan gedung atau wakil yang ditunjuk dan sesuai dengan butir 11.1.1 dan butir 11.1.2.

10.1.2 Karakteristik yang berkaitan dengan listrik dan mekanis dari SPP sebaiknya dipelihara secara menyeluruh selama SPP dipakai agar tetap memenuhi persyaratan rancangan, konstruksi dan pemeliharaan.

Jika terdapat modifikasi pada bangunan atau kegunaan peralatan/perlengkapan atau perubahan fungsi bangunan, maka modifikasi sistem proteksi petir juga diperlukan.

10.2 Prosedur pemeliharaan

10.2.1 Program pemeliharaan secara periodik sebaiknya dilakukan untuk semua SPP. Frekuensi dari pemeliharaan tergantung pada hal-hal sebagai berikut :

- a) cuaca dan lingkungan yang berhubungan dengan degradasi
- b) kerusakan aktual akibat petir
- c) tingkat proteksi yang telah ditetapkan untuk bangunan gedung

10.2.2 Prosedur pemeliharaan SPP sebaiknya dibuat untuk setiap SPP dan menjadi bagian dari keseluruhan program pemeliharaan bangunan gedung.

Program pemeliharaan sebaiknya berisi daftar kegiatan rutin yang memuat daftar periksa sehingga prosedur pemeliharaan yang baku akan dapat dilakukan secara teratur dan perbandingan hasil saat ini yang diperoleh dengan hasil yang dicapai sebelumnya, dapat dilakukan. Tipikal format prosedur pemeliharaan diperlihatkan dalam lampiran B.

10.2.3 Program pemeliharaan hendaknya berisi kegiatan sebagai berikut :

- a) Pengencangan semua konduktor SPP dan sistem komponen.
- b) Pemeriksaan kontinuitas listrik pada instalasi SPP.
- c) Pengukuran resistans bumi dari terminasi bumi.
- d) Pemeriksaan gawai proteksi surya (GPS) dan penggantian GPS yang rusak.
- e) Pemeriksaan untuk menjamin efektivitas SPP tidak berkurang setelah menerima tambahan atau terjadi perubahan dalam bangunan gedung dan instalasi.

10.3 Dokumentasi pemeliharaan

10.3.1 Catatan lengkap prosedur dan hasil pemeliharaan serta tindakan perbaikan harus dipelihara.

10.3.2 Catatan prosedur pemeliharaan harus menyediakan cara mengevaluasi komponen dan instalasi SPP.

Catatan pemeliharaan SPP harus menyajikan dasar untuk program peninjauan kembali prosedur pemeliharaan dan pemutakhiran program pemeliharaan. Catatan pemeliharaan SPP hendaknya disimpan bersama dengan rancangan SPP dan laporan inspeksi SPP.

11 Inspeksi sistem proteksi Petir

11.1 Penjelasan umum

11.1.1 Inspeksi dari SPP harus dilakukan oleh tenaga ahli proteksi petir atau pemeriksa yang berwenang dan harus sesuai dengan butir 11.2 dan butir 11.3.

11.1.2 Pemeriksa harus dilengkapi dengan laporan rancangan SPP yang memuat dokumentasi SPP yang perlu seperti kriteria rancangan, uraian rancangan dan gambar teknis.

Pemeriksa SPP juga hendaknya dilengkapi dengan laporan pemeliharaan dan inspeksi SPP sebelumnya.

11.2 Tujuan inspeksi

Tujuan inspeksi adalah untuk menjamin bahwa:

- a) SPP sesuai dengan rancangan.
- b) Seluruh komponen SPP dalam kondisi baik dan mampu berfungsi sesuai rancangannya dan tidak terjadi korosi.
- c) Setiap tambahan konstruksi atau instalasi baru yang telah dipasang kedalam ruang terproteksi secukupnya dengan pengikatan atau tambahan SPP..

11.3 Tahapan pelaksanaan inspeksi

11.3.1 Inspeksi harus dilakukan seperti berikut dan sesuai dengan butir 10.1.1 sebagai berikut :

- a) Inspeksi selama konstruksi bangunan gedung untuk memeriksa elektroda tanam (dalam beton).
- b) Inspeksi setelah pemasangan SPP. disesuaikan dengan butir 10.2 item a) dan b);
- c) Inspeksi periodik disesuaikan dengan seksi butir 10.2 item a), b), dan c) pada interval yang ditentukan berdasarkan keadaan ruang terproteksi dan problem korosi.
- d) Inspeksi tambahan disesuaikan dengan butir 10.2 item a), b), dan c) setelah perubahan atau perbaikan atau bila diketahui bahwa bangunan gedung tersebut telah disambar petir.
- e) Bila inspeksi regular dari instalasi listrik bangunan disarankan oleh badan berwenang maka SPP harus diinspeksi pada waktu yang sama

11.3.2 Interval antara inspeksi SPP sebaiknya ditentukan berdasarkan faktor berikut:

- a) Klasifikasi bangunan gedung atau daerah yang diproteksi terutama dengan memperhatikan dampak kerusakan.
- b) Tingkat proteksi.
- c) Lingkungan lokal, sebagai contoh lingkungan atmosfer korosip harus mempunyai interval inspeksi yang pendek.
- d) Bahan dari komponen SPP.
- e) Tipe permukaan dimana komponen-komponen SPP dipasang
- f) Kondisi tanah dan laju korosi terkait.

11.3.3 Sebagai tambahan dari yang disebutkan diatas SPP harus diinspeksi bila terjadi perubahan atau perbaikan yang dilakukan pada bangunan gedung yang diproteksi dan juga bila diketahui ada sambaran petir terhadap SPP.

11.3.4 SPP hendaknya diperiksa paling sedikit setiap tahun secara visual. Pada beberapa tempat yang perubahan cuacanya jelek dan terjadi kondisi cuaca yang ekstrem maka disarankan untuk memeriksa sistem lebih sering.

11.3.5 Inspeksi total dan pengujian secara menyeluruh sebaiknya dilakukan setiap tiga sampai lima tahun. Bagian-bagian kritis, sebagai contoh bagian dari SPP yang menerima stress mekanikal berat, gawai proteksi surja, kabel ikatan dan pipa penyalur dan sebagainya hendaknya diperiksa setiap satu sampai tiga tahun tergantung dari penggunaan bangunan gedung atau lingkungan dari lokasi bangunan gedung yang diproteksi.

Tabel 17 merekomendasikan periode inspeksi SPP bila tidak ada peraturan lain yang digunakan.

Tabel 17 Periode antara dari inspeksi SPP

Interval antara dua inspeksi komplit	Interval antara dari inspeksi sistem kritis
2 tahun	6 bulan
3 tahun	12 bulan
4 tahun	12 bulan

11.3.6 Pada kebanyakan daerah geografis dan khususnya pada daerah dengan perubahan musim yang ekstrem dalam temperatur dan curah hujan, variasi dari resistans bumi sebaiknya diperhitungkan dengan mengukur profil resistivitas jenis pada kondisi cuaca yang berbeda.

11.3.7 Suatu perbaikan dari sistem pembumian sebaiknya dipertimbangkan bila profil resistans jenis menunjukkan perubahan lebih besar dari pada yang diperkirakan dalam rancangan dan khususnya bila resistivitas jenis meningkat secara tetap diantara inspeksi yang dilakukan.

11.4 Prosedur Inspeksi

11.4.1 Tujuan pengujian

Tujuan pengujian adalah untuk meyakinkan bahwa sistem sesuai dengan semua ketentuan butir 11.2.

Pengujian terdiri dari pemeriksaan dokumentasi teknis, pemeriksaan visual, pengujian dan pemeriksaan dokumentasi.

11.4.2 Pemeriksaan dokumentasi teknis

Dokumentasi teknis diperiksa kelengkapannya, sesuai dengan standar dan cocok dengan instalasi yang diperiksa.

11.4.3 Pemeriksaan visual

Pemeriksaan visual dilakukan untuk meyakinkan bahwa :

- Sistem dalam kondisi baik.
- Tidak ada ikatan yang lepas dan tidak ada sambungan dan konduktor yang lepas dalam SPP.
- Tidak ada bagian dari sistem yang melemah akibat korosi terutama yang permukaan tanah.
- Semua sambungan ke tanah dalam keadaan terikat baik/kencang.
- Semua konduktor dan sistem komponen terikat kencang ditempatnya dan komponen dan dilindungi dari kerusakan mekanik
- Tidak ada penambahan atau perubahan pada bangunan gedung terdiproteksi yang memerlukan tambahan proteksi.
- Belum ada tanda-tanda kerusakan pada SPP, pada GPS atau kegagalan pemutus arus yang memproteksi GPS.
- IPP yang telah terpasang dengan benar untuk setiap instalasi baru atau tambahan yang dibuat pada bagian dalam bangunan gedung sejak inspeksi terakhir dan pengujian kontinuitas telah dilaksanakan.

- i) Konduktor pengikat dan ikatan bagian dalam bangunan gedung masih ada dan berfungsi.
- j) Jarak aman terpelihara.
- k) Konduktor pengikat dan sambungan, peralatan pemerisaian, jalur kabel dan gawai proteksi surja telah diperiksa dan diuji.

11.4.4 Pengujian

Pemeriksaan dan pengujian SPP termasuk pemeriksaan visual harus dilakukan dengan:

- a) Melakukan pengujian kontinuitas terutama kontinuitas terhadap bagian SPP yang tak dapat dilihat untuk tujuan pemeriksaan pada waktu awal instalasi dan tidak dilakukan pemeriksaan visual secara teratur.
- b) Pelaksanaan pengukuran resistans sistem terminasi bumi setelah melepaskannya dari sistem. Hasil uji ini harus dibandingkan dengan uji sebelumnya, dan/atau dengan nilai yang ditolerir saat ini untuk kondisi tanah ditempat tersebut. Bila ditemukan nilai pengujian secara berarti berbeda dengan nilai sebelumnya yang didapat dengan prosedur pengujian yang sama maka harus dilakukan penyelidikan tambahan untuk menentukan alasan dari perbedaan tersebut.

11.5 Dokumentasi Inspeksi

11.5.1 Panduan inspeksi SPP harus disediakan sebagai arahan inspeksi SPP. Panduan tersebut harus berisi informasi yang cukup yang dapat mengarahkan pemeriksa dalam pemeriksa melalui proses inspeksi sehingga inspektor dapat mendokumentasikan seluruh hal penting yang berkaitan dengan metode instalasi SPP, jenis dan kondisi komponen SPP, metoda pengujian dan rekaman yang baik dari data pengujian yang didapat.

11.5.2 Pemeriksa harus menyimpan satu laporan inspeksi SPP yang harus disimpan bersama dengan laporan rancangan SPP dan dengan laporan inspeksi dan pemeliharaan SPP sebelumnya.

11.5.3 Laporan pemeriksaan inspeksi SPP harus mengandung informasi mengenai hal berikut:

- a) Kondisi umum dari konduktor terminasi udara dan komponen terminasi udara lainnya.
- b) Tingkat korosi secara umum, dan kondisi dari proteksi korosi.
- c) Keamanan dari pemasangan ikatan komponen dan konduktor SPP.
- d) Pengukuran resistans bumi dari sistem pembumian terminasi bumi.
- e) Setiap penyimpangan dari standar dari persyaratan butir 10.2.
- f) Dokumentasi dari semua perubahan dan pengembangan SPP dan setiap perubahan bangunan gedung. Sebagai tambahan, harus ditinjau gambar konstruksi dan uraian rancangan SPP.
- g) Hasil dari pengujian yang dilaksanakan

Lampiran A Fenomena petir dan data

A.1 Karakteristik petir

Petir adalah suatu bahaya alamiah, yakni peluahan muatan listrik statis yang dibangkitkan badai awan.

Bagian utama kilat petir yang menimbulkan kerusakan adalah sambaran balik. Ini adalah bagian kilat, yang berupa muatan petir yang diluahkan ke bumi atau struktur. Besar arus yang mengalir pada sambaran ini berkisar antara 2.000 sampai sekitar 200.000 A.

Pada kebanyakan kilat ke tanah arus yang terjadi berbentuk muatan negatif yang terdapat di dalam awan-guruh dan, oleh karena itu, arus kilat merupakan aliran muatan negatif dari awan ke tanah; sambaran dari bagian awan positif juga terjadi dengan frekuensi yang lebih jarang. Arus mengalir searah dan untuk kilat negatif, kuat arusnya meningkat kurang dari 10 μ det (tetapi untuk kilat positif jauh lebih lama) dan, untuk sambaran tunggal sederhana, dalam waktu 100 μ det atau kurang, akan menurun sampai suatu nilai yang rendah.

Beberapa kilat terdiri dari dua atau lebih sambaran, yang karakteristik masing-masing sesuai dengan karakteristik sambaran tunggal, akan tetapi dapat memiliki jarak waktu 50 mdet sampai 100 mdet. Kilat dengan sambaran berulang memiliki lebih dari 10 sambaran, sehingga dapat memakan waktu sampai 1 detik.

Sebelum kilat terjadi, potensial awan bermuatan dapat diperkirakan secara kasar dengan mengumpamakan muatan Q di awan sebesar 100^0 C dan radius lingkaran ekivalen awan adalah 1 km.

Dengan demikian kapasitansi awan C adalah sekitar 10^{-7} F dan, dari $Q = CV$, the potensial V dapat dihitung sebesar 10^9 V. Oleh sebab itu wajarlah jika dianggap bahwa potensial awan adalah lebih dari 100 MV. Potensial ini cukup tinggi dibandingkan dengan potensial awan yang akan mengubah arah arus.

Walaupun sambaran balik adalah pulsa sambaran petir yang paling penting, proses yang terjadi sebelumnya perlu diketahui agar dapat dimengerti mengapa struktur yang tinggi lebih rentan dibanding dengan yang rendah. Sambaran petir mulai setahap demi setahap turun dari awan berupa sambaran pelopor bergerak sekitar puluhan meter setiap waktu. Jika pada tahap akhir ujung pelopor sudah cukup dekat dengan bumi, sambaran ke atas akan datang dari bumi menyambut ujung dari pelopor arah ke bawah.

Awal dari sambaran ke atas ini tergantung pada besarnya kuat medan kritis yang melampaui titik emisi bumi dan merupakan fungsi muatan yang tersisa karena pelopor ke bawah dan ditambah dengan medan yang disebabkan bentuk geometry bumi. Sambaran ke atas akan lebih panjang untuk muatan yang lebih besar dan karena itu kilat dengan arus yang besar akan lebih mudah muncul dari struktur yang tinggi, karena memiliki medan tambahan yang lebih kuat.

Tabel 3 memperlihatkan parameter petir di beberapa daerah di Indonesia. Tabel 4 sampai 12 adalah nilai dasar parameter petir, kaitannya dengan distribusi frekuensi kumulatif.

A.2 Efek sambaran petir

A.2.1 Efek listrik

Sewaktu arus diluahkan melalui resistan elektroda bumi sistem proteksi petir, akan menimbulkan tegangan jatuh resistif, yang dapat dengan segera menaikkan tegangan sistem proteksi ke suatu nilai yang tinggi dibanding dengan tegangan bumi.

Arus ini juga menimbulkan gradien tegangan yang tinggi di sekitar elektroda bumi, yang berbahaya terhadap manusia dan binatang. Dengan cara yang sama, induktansi sistem proteksi sistem proteksi harus pula diperhatikan karena kecuraman muka gelombang pulsa petir.

Dengan demikian tegangan jatuh pada sistem proteksi adalah jumlah aritmatik komponen tegangan resistif dan induktif.

A.2.2 Tembus-samping

Titik sambaran pada sistem proteksi bisa memiliki tegangan yang lebih tinggi terhadap logam di dekatnya. Oleh karena itu akan dapat timbul risiko tegangan tembus dari sistem proteksi ke logam lain pada atau di dalam struktur. Jika tegangan tembus ini terjadi, sebagian arus petir diluahkan melalui bagian-bagian internal struktur, seperti pipa dan kawat, dan tegangan tembus ini menyebabkan risiko berbahaya terhadap isi dan kerangka struktur.

A.2.3 Efek termal

Dalam kaitan dengan sistem proteksi petir, efek termal pelepasan muatan petir adalah terbatas pada kenaikan temperatur konduktor yang dilalui oleh arus. Walaupun arusnya besar, waktunya adalah singkat dan pengaruhnya pada sistem proteksi biasanya diabaikan. Umumnya, luas penampang konduktor proteksi petir dipilih terutama untuk memenuhi persyaratan kuat mekanis, yang berarti sudah akan cukup besar untuk membatasi kenaikan temperatur 1 °C.

A.2.4 Efek mekanis

Apabila arus yang besar dilepaskan pada konduktor parallel yang berdekatan atau pada suatu konduktor dengan tekukan yang tajam, akan timbul gaya mekanis yang cukup besar. Oleh karena itu, diperlukan ikatan mekanis yang cukup kuat.

Efek mekanis lain ditimbulkan oleh kilat petir disebabkan kenaikan temperatur udara yang tiba-tiba mencapai 30.000 K dan menyebabkan ledakan pemuatan udara di sekitar jalur muatan bergerak. Hal ini adalah karena, jika konduktifitas logam diganti dengan konduktifitas busur api listrik, energi yang timbul akan meningkat sekitar ratusan kali dan energi ini dapat menimbulkan kerusakan pada struktur.

A.2.5 Kebakaran karena petir

Ada dua penyebab utama kebakaran bahan yang mudah terbakar karena petir,

- 1) Sambaran langsung pada fasilitas tempat penyimpanan bahan yang mudah terbakar. Bahan yang mudah terbakar ini mungkin terpengaruh langsung oleh efek pemanasan sambaran, atau jalur sambaran.
- 2) Efek sekunder, penyebab utama kebakaran minyak. Terdiri dari muatan terkurung, pulsa elektrostatik dan elektromagnetik dan arus tanah.

A.2.6 Muatan terjebak

Muatan statis ini diinduksikan oleh badai awan sebagai kebalikan dari proses pemuatan lain. Jika proses netralisasi muatan berakhir dan jalur sambaran sudah netral kembali, muatan terjebak akan tertinggal pada benda yang terisolir dari kontak langsung secara listrik dengan

bumi, dan pada bahan bukan-konduktor seperti bahan yang mudah terbakar. Bahan bukan-konduktor tidak dapat memindahkan muatan dalam waktu yang singkat ketika terdapat jalur sambaran.

A.3 Data petir

Tabel A1 Tingkat isokeraunik di Indonesia
(Atas ijin BMG Indonesia, 1999)
Jawa

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Banyuwangi	101	27.56	Sedang
2.	Bawean	141	38.68	Sedang
3.	Bogor	201	55.15	Tinggi
4.	Cilacap	85	23.29	Rendah
5.	Citeko	227	62.30	Tinggi
6.	Curug	220	60.22	Tinggi
7.	Indramayu	187	51.23	Tinggi
8.	Jakarta	193	52.88	Tinggi
9.	Jatiwangi	189	51.78	Tinggi
10.	Kalianget	166	45.45	Sedang
11.	Lembang	132	36.05	Sedang
12.	Semarang	148	40.63	Sedang
13.	Serang	112	30.61	Sedang
12.	Surabaya	159	43.56	Sedang
15.	Tegal	198	54.34	Tinggi

Bali dan Nusa Tenggara

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Alor	39	10.56	Rendah
2.	Bima	102	27.84	Sedang
3.	Denpasar	61	16.71	Rendah
4.	Flores	88	24.03	Rendah
5.	Kupang	79	21.60	Rendah
6.	Lekunik Baa	78	21.34	Rendah
7.	Mataram	126	34.56	Sedang
8.	Maumere	87	23.87	Rendah
9.	Sumbawa Bs	119	32.61	Sedang
10.	Waingapu	107	29.38	Sedang

Sumatera

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Banda Aceh	55	15.12	Rendah
2.	Batam	131	35.94	Sedang
3.	Belawan	246	67.36	Tinggi
4.	Dabo Singkep	107	29.32	Sedang
5.	Dumai	218	59.75	Tinggi
6.	Gunung Sitoli	112	30.68	Sedang
7.	Jambi	76	20.74	Rendah
8.	Lokseumawe	201	55.07	Tinggi
9.	Medan	224	61.34	Tinggi
10.	Meulaboh	178	48.77	Sedang
11.	Padang Panjang	122	33.47	Sedang
12.	Palembang	156	42.67	Sedang
13.	Pang. Brandan	214	58.60	Tinggi
14.	Pangkal Pinang	118	32.33	Sedang
15.	Riau	217	59.33	Tinggi
16.	Sibolga	158	43.29	Tinggi
17.	Subang	31	8.55	Rendah
18.	Tarempa	74	20.27	Rendah
19.	Tj. Karang	112	30.68	Sedang
20.	Tj. Pandan	46	12.6	Rendah
21.	Tj. Pinang	148	40.61	Sedang
22.	Tuntu. Medan	204	55.89	Tinggi

Kalimantan

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Balikpapan	227	62.10	Tinggi
2.	Banjarmasin	85	23.18	Rendah
3.	Kotabaru	58	15.89	Rendah
4.	Muara Taweh	267	73.20	Tinggi
5.	Nanga Pinoh	112	30.82	Sedang
6.	Paloh	188	51.56	Tinggi
7.	Pangk. Bun	237	65.04	Tinggi
8.	Plangkaraya	298	81.68	Tinggi
9.	Pontianak	219	60.00	Tinggi
10.	Putusibau	169	46.30	Sedang
11.	Samarinda	172	47.06	Sedang
12.	Susilo Sintang	144	39.45	Sedang
13.	Tjn. Selor	88	24.20	Rendah

Sulawesi

No	Location	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Bau-bau	137	37.53	Sedang
2.	Bb. Luwuk	110	30.25	Sedang
3.	Bitung	55	15.07	Rendah
4.	Gorontalo	212	58.08	Tinggi
5.	Majene	139	38.19	Sedang
6.	Manado	126	34.52	Sedang
7.	Masamba	248	67.88	Tinggi
8.	Naha	72	19.62	Rendah
9.	Palu	182	49.73	Sedang
10.	Poso	127	34.79	Sedang
11.	Toli-toli	132	36.05	Sedang
12.	Uj. Pandang	152	41.76	Sedang

Maluku

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Amahai	109	29.95	Sedang
2.	Ambon	82	22.36	Rendah
3.	Bandanaira	63	17.26	Rendah
4.	Geser	91	25.04	Sedang
5.	Kairatu	101	27.56	Sedang
6.	Labuha	130	35.59	Sedang
7.	Namlea	69	18.9	Rendah
8.	Saumlaki	83	22.83	Rendah
9.	Ternate	130	35.73	Sedang
10.	Tual	26	7.12	Rendah

Irian Jaya

No	Lokasi	Hari Guruh Rata-rata Per Tahun	IKL	Tingkat Kerawanan Petir
1.	Jayapura	197	53.88	Tinggi
2.	Manokwari	162	44.41	Sedang
3.	Sorong	147	40.27	Sedang
4.	Timika	149	40.9	Sedang
5.	Wamena	39	10.68	Rendah

CATATAN IKL: Hari-hari petir (guruh)

Tingkat Kerawanan Petir

- Tinggi : IKL>50%
- Sedang : 25%<IKL<50%
- Rendah : IKL<25%

**FORMAT B2 - CONTOH TIPIKAL FORMAT DAFTAR INSPEKSI DAN
PEMELIHARAAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL**

INSPEKSI DAN PEMELIHARAAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL							
STRUKTUR NO:							
GAMBAR DETAIL NO:							
Kondisi batang pengikatan							
Pengikatan No:							
Dimensi (mm)							
Jumlah cabang							
Kontinuitas tiap cab.							
Kekencangan							
Bebas korosi							
Sambungan ke SPP eksternal (jika ada)							
Pencacah petir (jika ada)							
GPS (jika ada)							
Gawai Proteksi Surja (GPS)							
Box / cubical / MCC No:							
Sirkuit No.							
Jumlah GPS							
Tipe GPS							
Tipe sambungan							
Kekencangan							
Pencacah petir (jika ada)							
Jarak perkawatan							
Hasil uji GPS							
Saklar pemutus (jika ada)							
Item	No Tag:	Jarak aman semua bagian konduktif ke konduktor-kebawah terdekat				Jarak aman (sesuai dengan 8.6.2) (m)	
Kotak terminal							
MCC							
Kubical							
Pendingin (AC)							
Dsb.							
Kesimpulan dan rekomendasi:							
Inspector		Supervisor		Disetujui oleh:			
Nama	Tanggal:	Nama	Tanggal:	Nama	Tanggal:		
	Tanda tangan:		Tanda tangan:		Tanda tangan:		

Lampiran B

Keselamatan personil terhadap petir

B.1 Umum

Risiko terbesar akibat sambaran petir langsung dapat terjadi pada seseorang yang bekerja di luar ruangan atau di tempat terbuka, terutama bagi para operator kilang, instalasi tangki dan utilitas. Pencegahan bahaya ini dapat dilakukan dengan proteksi terhadap bahaya sengatan listrik dan panduan keselamatan selama sambaran petir berlangsung.

B.2 Proteksi personil dari sengatan listrik

Bahaya sengatan listrik dapat dikurangi secara sangat efektif dengan beberapa sarana sebagai berikut:

- a) Elektroda pondasi tanah dan susunan komponen elektroda lainnya yang sejenis.
- b) Terminasi tanah yang menutupi area yang luas disekeliling struktur.

B.2.1 Elektroda pondasi tanah dan susunan komponen elektroda lainnya yang sejenis. Sarana ini dapat dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

B.2.1.1 Mencegah sengatan listrik akibat tegangan langkah

- a) Pengurangan koefisien kedekatan.
- b) Penambahan jumlah konduktor.
- c) Peningkatan resistivitas lapisan permukaan atau penyisipan lapisan bahan pengisolasi, misalnya aspal.

B.2.1.2 Mencegah sengatan listrik akibat tegangan sentuh

- a) Pengurangan koefisien kedekatan.
- b) Peningkatan resistivitas lapisan permukaan tanah.
- c) Pemasangan isolasi pada konduktor yang terbuka yang dapat menahan tegangan impuls petir sebesar 100 kV. sebagai contoh: anyaman polyethylene dengan tebal minimum 3mm.

B.2.2 Terminasi tanah yang menutupi area yang luas di sekeliling struktur

Sarana ini dapat dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

B.2.2.1 Mencegah sengatan listrik akibat tegangan langkah

- a) Peningkatan nilai perbandingan antara resistivitas lapisan permukaan tanah dengan resistansi impuls tanah dari terminasi tanah,
- b) Peningkatan resistivitas lapisan permukaan tanah,
- c) Pengurangan ukuran jaringan terminasi tanah.

B.2.2.2 Mencegah sengatan listrik akibat tegangan sentuh

- a) Peningkatan resistivitas dari lapisan permukaan tanah,
- b) Peningkatan jumlah konduktor,
- c) Pengurangan ukuran jaringan terminasi tanah.

B.3 Panduan keselamatan selama aktivitas petir berlangsung

Seseorang dapat mengalami luka yang fatal akibat sengatan petir atau terbakar akibat sambaran petir. Berikut ini adalah panduan umum dalam kilang untuk mencegah personil terhadap luka sengatan listrik atau terbakar akibat sambaran petir.

B.3.1 Jangan keluar atau tetap di luar selama ada guruh bila hal tersebut terakhir diperlukan.

B.3.2 Cari tempat berteduh yang dapat melindungi terhadap sambaran petir seperti struktur sebagai berikut:

- a) Rumah tinggal atau bangunan lain yang telah diproteksi terhadap sambaran petir.
- b) Bangunan berangka logam atau bangunan dari logam yang besar seperti penyangga kolom, rak pipa diatas tanah.
- c) Bangunan besar yang belum diproteksi.
- d) Dalam mobil, bis, truk, *forklift* atau kendaraan terbuat dari logam.
- e) Jalan penghubung yang dinaungi oleh bangunan dikanan-kirinya.

B.3.3 Hindari tempat yang hanya sedikit atau tidak diproteksi terhadap sambaran petir sebagai berikut:

- a) Bangunan kecil yang tidak diproteksi.
- b) Tempat berteduh sementara.
- c) Mobil terbuka atau mobil dengan badan tidak terbuat dari logam.
- d) Trailer terbuka atau trailer dengan badan tidak terbuat dari logam.

B.3.4 Hindari lokasi - lokasi yang mengandung bahaya tinggi selama bunyi guruh berlangsung seperti berikut :

- a) Lapangan terbuka.
- b) Tempat parkir.
- c) Dekat pagar kawat, dibawah bentangan kawat-kawat dan jalur rel kereta api.
- d) Dibawah peralatan listrik, telepon, talang air atau benda yang konduktif secara elektris.

B.3.5 Bila tidak memungkinkan untuk mencari tempat yang aman terhadap sambaran petir, sebaiknya dilaksanakan petunjuk-petunjuk sebagai berikut:

- a) Cari area yang cekung, hindari tempat-tempat yang tinggi.
- b) Cari bangunan atau tempat berteduh pada area yang rendah, hindari bangunan yang tidak diproteksi atau tempat berteduh pada area tinggi.

B.3.6 Bila terisolasi pada tempat yang terbuka dan tidak ada harapan untuk mencari tempat lain, dan bila ujung rambut terasa berdiri yang menandakan bahwa petir siap menyambar, tekuk lutut, rapatkan kedua kaki. Jangan membaringkan diri diatas permukaan tanah. jangan letakkan tangan diatas tanah. letakkan tangan pada lutut.

Lampiran C

Struktur beton bertulang

C.1 Penguatan baja pada struktur beton bertulang yang dapat digunakan sebagai komponen natural SPP adalah harus dapat tersambung kontinyu secara listrik yang memenuhi kondisi sebagai berikut :

- a) Kira-kira 50% interkoneksi dari batang vertikal dan horisontal dilas atau terikat secara terjamin baik.
- b) Batang vertikal dilas atau saling tumpang tindih minimum 20 kali diameternya dan terikat secara terjamin baik.
- c) Kontinuitas secara kelistrikan dari baja penulangan tetap terbentuk antara unit beton precast individual dan unit beton precast yang berdekatan yang lain.

C.2 Jika penguatan dari beton dan beberapa konstruksi struktur baja lain yang digunakan sebagai komponent natural SPP, penguatan harus tetap menghasilkan kekuatan mekanik beton yang diinginkan, mampu tetap dapat menahan kekuatan yang ada dan kekuatan mekanik eksternal lain yang mungkin yang sesuai dengan kode & standar konstruksi struktur.

C.3 Sambungan dari rangkaian eksternal atau konduktor pengikatan ke penulangan terinterkoneksi sebaiknya dengan sarana klem atau pengelasan.

Pengelasan dari batang baja penguatan secara umum tidak diijinkan karena dapat memberikan konsekwensi pelemahan dari kekuatan mekanik struktur.

Agar tercapai persyaratan diatas, antara penguatan dalam struktur beton dan konduktor pengikatan atau rangkaian eksternal harus dipasang konektor pengikatan sebagai perantara (lihat Gambar 66).

Sambungan antara konduktor pengikatan atau rangkaian eksternal dan konektor pengikatan harus dengan sarana klem atau pengelesan.

Sambungan antara konektor pengikatan dan penguatan dari beton bertulang harus dengan ikatan lilitan kawat baja lunak.

Konduktor pengikatan sebaiknya diperlengkapi, agar sambungan listrik dapat andal ke konektor pengikatan baja yang terikat lilit ke batang penguatan dari struktur.

C.4 Ketika konduktor pengikatan ke penguatan digunakan ke beton, perhatian khusus sebaiknya dicurahkan untuk proteksi terhadap korosi.

Tindakan proteksi yang paling sederhana adalah memberi karet silikon atau lapisan akhir bitumen disekitar titik keluar dari beton contoh 50 mm atau lebih dalam beton & 50 mm atau lebih diluar beton.

Penggunaan batang baja galvanis dalam beton tidak diperbolehkan, bagaimanapun resiko korosi adalah rendah. Rekomendasi bahwa konduktor pengikatan proyeksi dari dinding adalah baja stain less anti karat.

Ketika pembalutan jenis baut atau pada potongan baja lunak digunakan, maka harus diproteksi terhadap korosi pada luar dinding. Ring kunci harus digunakan untuk membuat kontak listrik suatu proteksi akhir dari baut.

C.5 Konektor pengikatan baja sebaiknya terdiri dari batangan baja bulat atau pita baja yang terhubung ke batang penguatan. Ini dapat salah satu batang lurus atau konektor cincin pengikatan atau boleh yang lain yang dihubungkan ke jaringan mesh.

Sambungan dengan sarana klem ke batang penguatan bulat yang diperluas dari beton belum menjadi praktek umum didalam perancangan SPP yang menggunakan beton bertulang sebagai komponen natural (lihat gambar 68).

Pada sambungan antara batang penguat dalam beton dan konduktor pengikatan yang dibuat dengan sarana klem, dua konduktor pengikatan atau satu konduktor pengikatan dengan dua klem ke bar penguat yang berbeda sebaiknya selalu digunakan untuk alasan keselamatan, karena sambungan tidak dapat diinspeksi setelah beton tercetak utuh. Jika konduktor pengikatan ke batang penguatan adalah sambungan logam yang tidak sejenis, maka daerah sambungan sebaiknya disil lengkap dengan kompon pencegah uap air.

Sambungan dengan ikatan lilitan harus dikencangkan dengan gaya yang sama seperti ikatan lilitan batang penguat dalam beton bertulang.

Penyambungan dua batang penguatan baja dengan ikatan lilitan dengan kawat baja lunak harus mempunyai paling sedikit tiga ikatan lilitan kawat berpasangan. Paling sedikit setiap ikatan-lilitan-kawat ketiga membentuk sambungan konduktif secara listrik, sehingga secara praktis semua batang penguatan terinterkoneksi secara listrik.

Sambungan dua batang penguat yang paralel dan dua batang paralel dengan belitan kawat baja lunak pada konstruksi ikatan lilitan dapat dilihat pada gambar 65.

C.6 Pada saat pengelasan ke batang penguatan tidak diijinkan, tambahan konektor pengikat baja sebaiknya dipasang yang diikat lilit ke batang penguat baja dalam beton. Konduktor pengikat sebaiknya dilas ke konektor pengikat baja yang sebaiknya bukan digunakan untuk maksud kekuatan mekanik. Batang baja duktil yang mudah dibengkok dan dilas dapat lebih baik untuk konektor pengikat baja.

C.7 Ketika batang terlas harus terbalut beton. Ia tidak cukup mengelas pada titik pelintasan dengan panjang sim las hanya beberapa milimeter.

C.8 Agar supaya tidak bingung antara jenis batang baja yang berbeda pada beton, direkomendasikan bahwa batang baja bulat diameter kira-kira 10 mm dengan permukaan halus sebaiknya digunakan secara menyolok terhadap permukaan kasar dari batang penguat.

C.9 Lasan dalam beton sebaiknya paling sedikit 50 mm panjangnya.. Batang melintang sebaiknya terbengkok lari untuk jarak paling sedikit 50 mm prioritas untuk pengelasan (lihat gambar 67).

C.10 Saat konduktor pengikatan individual diperlukan untuk dihubungkan ke batang penguat dari dinding beton bertulang, konektor pengikatan baja dengan panjang paling sedikit 2 mm sebaiknya dipasang dengan sejumlah sambungan ikatan lilit ke batang penguatan melintang serta titik sambungan antara konduktor pengikat dan konektor pengikatan baja sebaiknya dilas dan konduktor pengikat sebaiknya dijamin kokoh ke pelindung dinding.

Sambungan ke konektor pengikatan baja individual sesuai hanya untuk arus kecil seperti untuk konektor gawai ke pengikatan ekipotensial.

C.11 Pada saat sejumlah besar konduktor pengikatan digunakan pada tingkat lantai tertentu, batang pengikat baja yang terdiri dari beberapa batang baja lunak terlas bersama sama sebaiknya diikat lilit ke batang penguat dari beton bertulang membentuk konduktor cincin yang tercor dalam beton sekeliling struktur atau bagian struktur pada tingkat lantai ini. Semua konduktor harus terinterkoneksi dan terikat menjadi satu dengan konduktor kebawah, kolom baja, kolom beton bertulang, sambungan dalam beberapa batang bar penyama potensial, terminasi udara dari system terminasi bumi eksternal.

Batang bar ekipotensial terinterkoneksi sebaiknya dilengkapi pada setiap lantai dan SPP internal dan eksternal yang cocok harus dipasang. Masing-masing batang ekipotensial sebaiknya dihubungkan ke bagian konduktif pada dinding sebelah luar dan dalam lantai.

C.12 Saat sejumlah besar koneksi pengikat baja ke penguatan dipakai pada lantai berbeda dan bobot khusus ditentukan untuk mencapai lintasan arus induksi rendah, untuk

pemanfaatan batang penguat dinding beton untuk penyamaan potensial dan untuk perisai ruang dalam struktur, konduktor cincin pengikat sebaiknya dipasang pada lantai terpisah dan diinterkonksi dengan sarana batang baja lunak vertikal pada interval tidak lebih dari 10 m. Konstruksi konduktor pengikatan pengikatan dan konektor pengikatan baja pada tingkat yang berbeda dari struktur beton bertulang baja dapat dilihat pada Gambar 59.

C.13 Batang penguatan dinding atau kolom beton dan bingkai struktur baja dapat digunakan sebagai konduktor kebawah natural. Sambungan terminasi sebaiknya dilengkapi pada atap fasilitas sambungan sistem terminasi udara, jika tidak pondasi beton bertulang digunakan sebagai terminasi bumi, sambungan terminasi dilengkapi fasilitas sambungan sistem terminasi bumi.

C.14 Jika memungkinkan, titik sambungan ke penguatan baja pada lantai atau pada dinding sebaiknya dilengkapi. Sambungan sebaiknya dibuat paling sedikit tiga batang penguatan.

C.15 Untuk struktur yang besar, batang ekipotensial bertindak sebagai konduktor cincin. Titik sambungan ke batang penguat baja sebaiknya dibuat, contohnya setiap 10 m.

C.16 Celah antara bagian struktur konduktif pada bumi pondasi untuk pondasi beton bertulang sebaiknya dijabatani dengan konduktor pengikat, serta batang penguat dari kolom beton, pilar, kolom dinding pada pondasi sebaiknya dihubungkan ke batang penguat pondasi dan ke bagian konduktif atap.

C.17 Ketika pengelasan untuk penguatan tidak diperbolehkan, batang tambahan dari baja lunak sebaiknya dipasang pada pilar atau sambungan sebaiknya digunakan dengan sarana sambungan uji.

C.18 Titik ikatan sebaiknya ditempatkan, sehingga batang penguatan secara kontinu bersambung dari satu sambungan ikatan ke sambungan ikatan berikut.

C.19 Ketika susunan batang penguat dalam bagian beton bertulang prefabrikasi tidak memungkinkan kontinu dengan suatu batang penguat yang standar, konektor ikatan baja lunak sebaiknya dipasang dan diikat ke penguatan yang ada.

C.20 Ketika struktur yang terdiri dari banyak bagian dengan sambungan ekspansi termal, dengan toleransi untuk tetap diam dari bagian struktur, dan perlengkapan elektronik yang diperluas dipasang dalam bangunan, konduktor ikatan sebaiknya dipasang diantara penguatan dari bermacam-macam bagian struktur yang melintang terhadap sambungan ekspansi termal pada interval tidak lebih dari satu setengah jarak antara konduktor kebawah. Agar supaya terjamin penyamaan potensial dengan impedansi rendah dan perisai dari struktur dalam ruang efektif, sambungan ekspansi termal antara bagian struktur sebaiknya dijabatani dengan interval yang pendek antara 1 m dan satu setengah dari jarak antara konduktor kebawah dengan konduktor pengikat fleksibel atau geser tergantung pada faktor perisai yang diinginkan (lihat gambar 64)

Konstruksi rinci dari komponen natural SPP untuk struktur beton bertulang dapat dilihat pada gambar 58,59,60,61,62,63.

Lampiran D

Ringkasan/rangkuman spesifikasi dan tindakan persetujuan

Daftar ini merangkum paragraph yang ditandai dengan tanda bintang (*) didepan nomor butir bila spesifikasi lebih lanjut atau persetujuan PEMILIK BANGUNAN atau kontraktor diperlukan.

Butir	Paragraph
2.2	Penggunaan syarat-syarat dan tanggung jawab pihak yang dimaksud.
5.2.4	Klasifikasi struktur
6.2	Nilai kerapatan kilat petir ke tanah.
7	Pemilihan tingkat proteksi SPP
7.2.1.	Nilai N_c
8.1.1.1	Ketentuan & kualifikasi dari perancang & instalatur.
8.1.2.1	Pihak yang terlibat & tanggung jawab.
8.1.1.1	Hasil konsultasi.
8.4.2.3	Penggunaan struktur dan pengikat SPP & Methode pencegahan bila diperlukan.
8.4.2.5	Pihak yang terlibat & tanggung jawab
8.8	Perhitungan rancangan dan spesifikasi
8.1.1.1	Pemilihan material
10	Hasil instalasi dan pengujian
10.2.5.3	Persyaratan, Perancangan, Konstruksi SPP.
12	Hasil instalasi dan pengujian
12.1.1	Ketentuan spesialis proteksi petir atau inspector yang berwenang.
12.4.3	Pemeriksaan visual
12.4.4	Pengujian

Lampiran E
Tabel - manajemen proteksi petir

URAIAN		YA	TIDAK
1.	Konsep SPP		
1.1.	Tugas dan tujuan:		
	- konsep menyeluruh		
	- tingkat proteksi		
	- zona proteksi		
	- ketentuan batasan kerja		
	- pemerisaian		
1.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- perancang SPP		
	- pelaku		
	- arsitek		
	- pembangun bangunan gedung/bangunan		
	- kontraktor pelayanan bangunan gedung		
	- enjinir konsultan		
2.	Perancangan pendahuluan		
2.1.	Tugas dan tujuan:		
	- gambar		
	- deskripsi		
	- skedul		
2.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- perancang SPP		
	- enjinir konsultan lain		
3.	Perancangan akhir		
3.1.	Tugas dan tujuan:		
	- gambar konstruksi		
	- gambar detail		
3.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- pemasok SPP		
	- enjinir konsultan		
	- perancang SPP		
4.	konstruksi bangunan gedung, pengawasan lapangan dan jaminan mutu		
4.1.	Tugas dan tujuan:		
	- dokumentasi		
	- modifikasi konstruksi dan gambar detail		
4.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- pemasok SPP		
	- perancang SPP dan pemasang SPP		
	- enjinir penguji SPP yang berwenang		
5	Penerimaan		
5.1.	Tugas dan tujuan:		
	- penetapan kondisi aktual dan kesesuaian dengan aturan dan peraturan		
5.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- inspector bangunan gedung yang netral		
	- perancang SPP dan pemasang SPP		
	- enjinir penguji SPP yang berwenang		
6	Pemeliharaan		
6.1.	Tugas dan tujuan:		
	- penetapan kesesuaian dengan peraturan		
	- penetapan modifikasi bangunan gedung dan tindakan proteksi yang diperlukan		
	- perancangan baru, jika diperlukan		
6.2.	Keterlibatan dan tanggung jawab:		
	- enjinir konsultan		
	- pemasok SPP		
	- enjinir penguji SPP yang berwenang		
	- perancang SPP dan pemasang SPP		