

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL
PADA CONDOTEL BOROBUDUR
BLIMBING KOTA MALANG**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

PRIYA SURYA HARIJANTO

NIM. 0910630085- 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL
PADA CONDOTEL BOROBUĐUR
BLIMBING KOTA MALANG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
PRIYA SURYA HARIJANTO
NIM. 0910630085- 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs., Ir. Moch. Dhofir, MT.
NIP. 19600701 199002 1 001

Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL
PADA CONDOTEL BOROBUĐUR
BLIMBING KOTA MALANG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

PRIYA SURYA HARIJANTO

NIM. 0910630085 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 17 Maret 2014

DOSEN PENGUJI

Dr. Ir., Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.
NIP. 19490309 198602 1 001

Ir. Hery Purnomo, MT.
NIP. 19550708 198212 1 001

Ir. Wijono, MT., Ph.D
NIP. 19621111 198903 1 003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal Pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik dan lancar apabila tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung.

Selain itu tak lupa juga disampaikan ucapan terima kasih kepada para pihak yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.

1. Bapak M. Aziz Muslim, ST., M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Mochammad Rif'an ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc. selaku KKDK konsentrasi Teknik Energi Elektrik.
5. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT. Dan Bapak Ir. Soemarwanto, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan dalam penyelesaian penelitian ini.
6. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, MS. yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data.
7. Administrasi Teknik Elektro UB terutama Bapak Heru Dintanufi, SE, Msi, Mbak Heni, Mbak Frida dan mas Junaedi yang telah banyak membantu proses administrasi selama pengerjaan skripsi.
8. Seluruh teman-teman angkatan 2009 yang telah membantu selama proses pengerjaan skripsi.
9. Seluruh keluarga besar asisten dan mas Indra Setyawan S.ST. selaku Laboran Laboratorium Mesin Elektrik Universitas Brawijaya Malang.
10. Seluruh teman-teman Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang menjadi teman diskusi dalam pengerjaan skripsi ini.

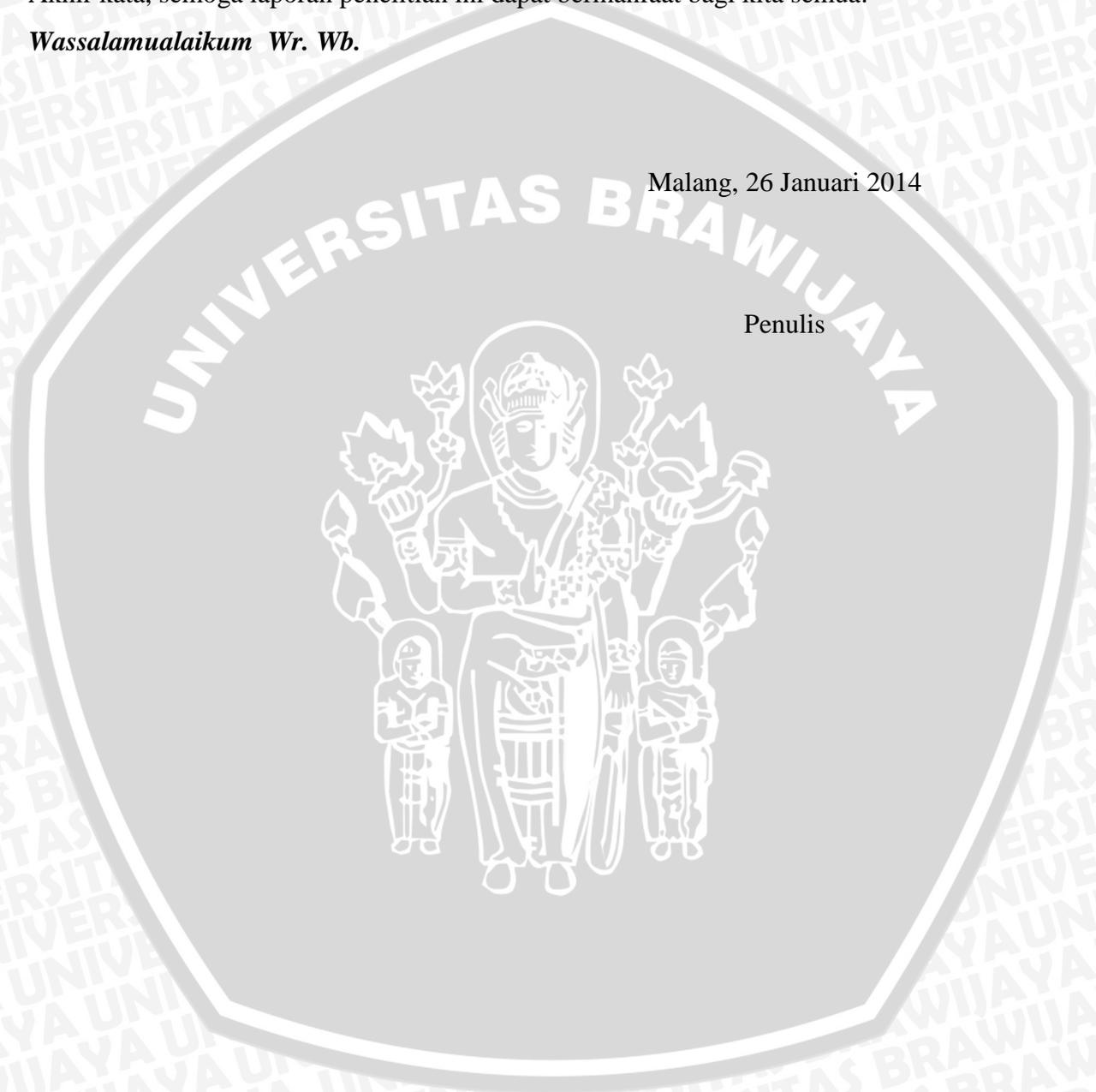
11. Pihak - pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Disadari skripsi ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai skripsi ini diharapkan dan dibutuhkan. Saran dan kritik ditujukan agar skripsi ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Malang, 26 Januari 2014

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Sistematika Pembahasan	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Karakteristik Arus dan Tegangan Surja Petir	4
2.2. Parameter Petir dan Bahaya Petir.....	5
2.2.1 Arus Puncak Impuls Petir (I_M)	5
2.2.2 Kecuraman Arus Petir Maksimum $(di/dt)_{maks}$	7
2.2.3. Muatan Petir (Q)	10
2.2.4. Energi spesifik (W/R)	11
2.3 Mekanisme Masuknya Surja Petir Pada Bangunan	11



2.3.1.	Distribusi Arus Petir.....	12
2.3.2.	Mekanisme Kopling.....	13
2.3.3.	Konduksi Gelombang Surja Petir	15
2.4.	Pembagian Zona Proteksi Petir & Penentuan Kelas Arester	21
2.4.1.	Zona Eksternal	22
2.4.2.	Zona Internal.....	23
2.4.3.	Arester.....	23
2.5.	Bonding Ekipotensial / Peralatan Penyama Tegangan	26
2.5.1.	Bonding Ekipotensial untuk Sistem Tegangan Rendah.....	27
2.5.2.	Bonding Ekipotensial untuk Sistem Teknologi Informasi.....	27
2.5.3.	Kedekatan dan Jarak Aman Instalasi Listrik dengan Bonding Ekipotensial	28
2.6.	Pemilihan Penghantar	30
2.7.	Pengaplikasian Proteksi Petir.....	30
BAB III	32
METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1.	Deskripsi Tempat dan Waktu Penelitian.....	32
3.2.	Studi Literatur	33
3.3.	Pengambilan Data	33
3.4.	Diagram Alir Perancangan.....	34
3.5.	Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal	35
3.5.1.	Identifikasi Fungsi dan Keperluan Proteksi Tiap Ruang	35
3.5.2.	Menghitung Tingkat Tegangan Lebih.....	35
3.5.3.	Analisis Lightning Protection Zone (LPZ)	36
3.5.4.	Analisis Penentuan Kelas Arester dan Penempatan Bonding Ekipotensial	36
3.6.	Penarikan Kesimpulan dan Saran	38
BAB IV	39

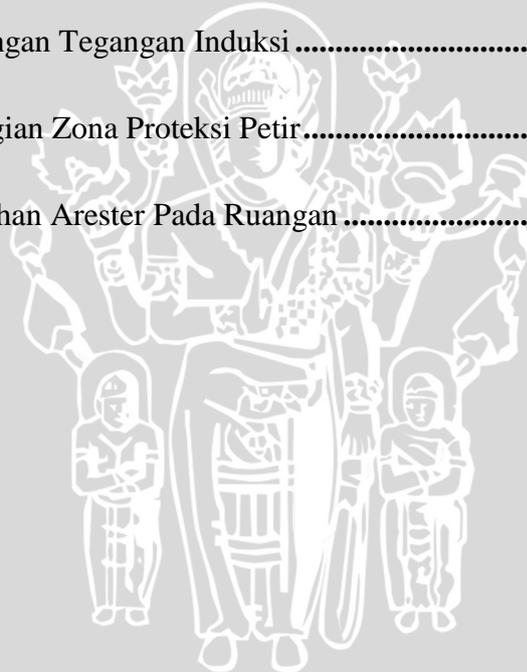
ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Identifikasi Lokasi Pembangunan	39
4.2. Identifikasi Penentuan sifat dan Fungsi Ruangan	39
4.3. Analisis Tingkat Tegangan Lebih	41
4.3.1. Perhitungan dan Analisis Gelombang Tegangan berjalan	42
4.3.2. Perhitungan Kenaikkan Tegangan Pada Titik Pembumian.....	63
4.3.3. Perhitungan Tegangan Induksi Elektromagnetik.....	63
4.4. Analisis Zona Proteksi Petir, Kebutuhan Arester, dan Bonding Ekipotensial....	69
4.4.1. Analisis Zona Proteksi Petir.....	69
4.4.2. Analisis Kebutuhan Arester	70
4.4.3. Analisis Bonding Ekipotensial.....	74
BAB V	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	82



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tingkat Proteksi Petir	5
Tabel 2.2	Tingkat Proteksi dan Arus Petir Subsequent	10
Tabel 2.3	Parameter – Parameter Impedansi Surja Kawat.....	15
Tabel 2.4	Tabel Data Konstruksi Kabel NYY 4 x 1.5 - 400 mm ² 0,6/1 kV	16
Tabel 2.5	Tabel Data Konstruksi Kabel NYM 3 x 1.5 - 35 mm ² 300/500 V	16
Tabel 2.6.	Tingkat Isolasi Dasar (<i>TID</i>) Transformator	17
Tabel 2.7	Impedansi – Impedansi dari Transformator 3 – Fasa, 50 Hz, H.V. atau L.V.,	18
Tabel 2.8	Kategori Ketahanan Surja	26
Tabel 2.9	Kedekatan Instalasi Proteksi Petir, Nilai Koefisien K_1	28
Tabel 2.10	Kedekatan Instalasi Proteksi Petir, Nilai Koefisien k_m	28
Tabel 4.1.	Tabel Penentuan Sifat dan Fungsi Ruangan	41
Tabel 4.2	Tabel Rekapitulasi Daya Beban Penerangan	47
Tabel 4.3	Tabel Rekapitulasi Daya Beban Stop Kontak.....	48
Tabel 4.4	Tabel Rekapitulasi Daya Beban <i>Air Conditiner</i>	49
Tabel 4.5	Tabel Rekapitulasi Daya Beban <i>Exhaust</i> kebakaran	50
Tabel 4.6	Tabel Rekapitulasi Daya Beban Motor Pompa.....	50
Tabel 4.7	Tabel Rekapitulasi Daya Beban Motor Lift.....	51
Tabel 4.8	Tabel Perhitungan Impedansi Surja Sisi MDP Hingga SDP	52
Tabel 4.9	Tabel Perhitungan Impedansi Surja Sisi SDP Hingga SSDP	53

Tabel 4.10	Tabel Penentuan Rating Pengaman (MCB 3P) Pada Panel MDP	54
Tabel 4.11	Tabel Perhitungan MDP	57
Tabel 4.12.	Tabel Hasil Perhitungan SDP Penerangan	58
Tabel 4.13	Tabel Perhitungan SDP Stop Kontak.....	59
Tabel 4.14	Tabel Perhitungan SDP <i>Air Conditioner</i> (AC).....	60
Tabel 4.15	Tabel Hasil Perhitungan SDP Exhaust Kebakaran	61
Tabel 4.16	Tabel Hasil Perhitungan SDP Motor Pompa Air.....	62
Tabel 4.17	Tabel Hasil Perhitungan SDP Motor Lift	62
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan Tegangan Induksi.....	69
Tabel 4.19	Tabel Pembagian Zona Proteksi Petir.....	70
Tabel 4.20	Tabel Kebutuhan Arester Pada Ruangan.....	73



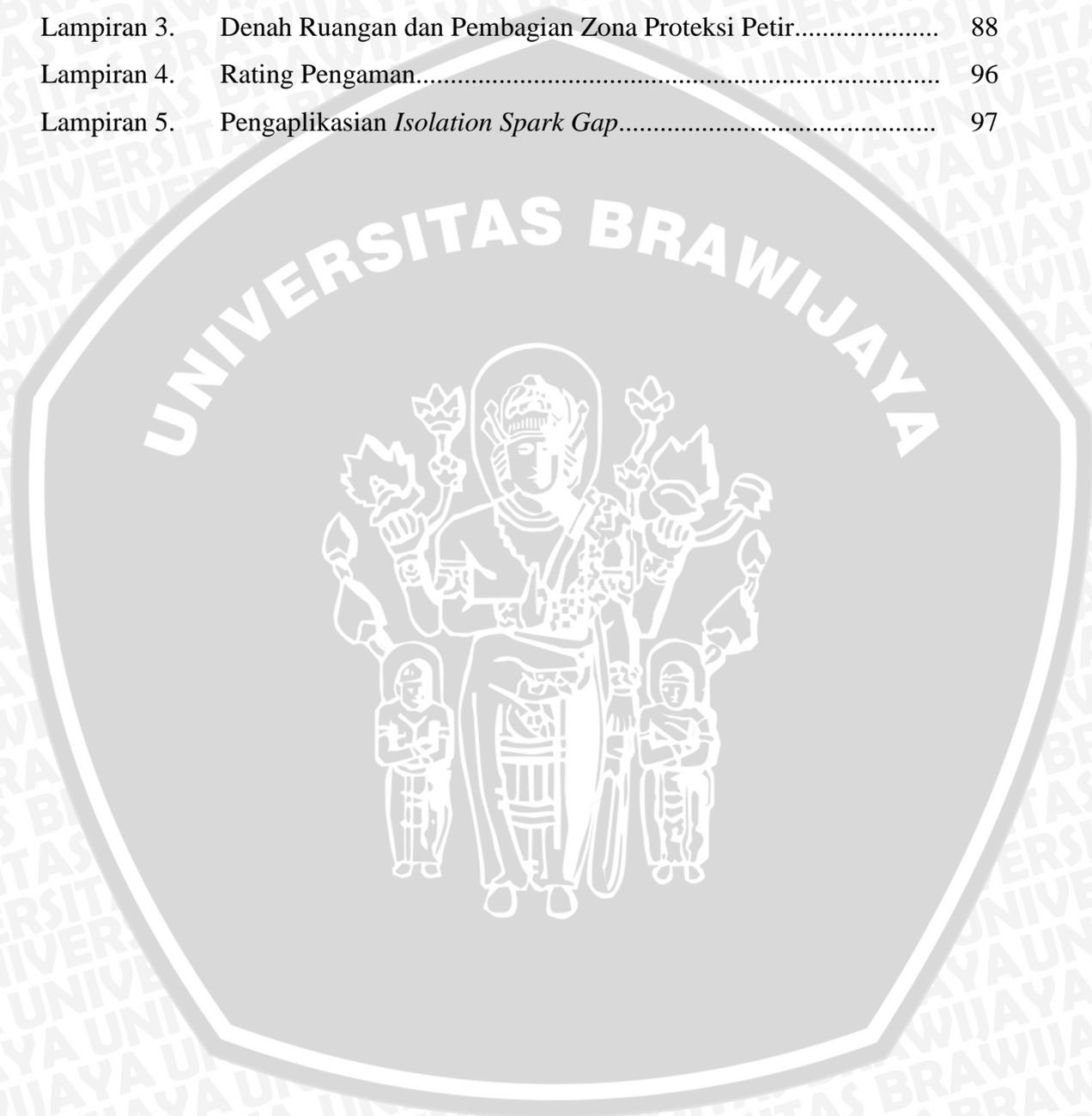
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Spesifikasi Gelombang Impuls Bentuk Eksponensial.....	4
Gambar 2.2	Gambar Gelombang Arus Impuls Petir.....	5
Gambar 2.3	Kenaikkan Potensial Pada Titik Pembumian.....	6
Gambar 2.4	Ilustrasi Terjadinya Tegangan Langkah.....	6
Gambar 2.5	Daerah Induksi Dalam Loop.....	7
Gambar 2.6	Induksi Elektromagnetik Loop 2.....	8
Gambar 2.7	Induksi Elektromagnetik Loop 3.....	8
Gambar 2.8	Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Vertikal	9
Gambar 2.9	Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Horizontal.....	9
Gambar 2.10	Muatan Petir (Q).....	10
Gambar 2.11	Efek Pemanasan dan Elektromagnetis Akibat Impuls Petir.....	11
Gambar 2.12	Distribusi Arus Petir Pada Bangunan.....	12
Gambar 2.13	Ilustrasi Perancangan Sistem Pembumian Gedung.....	12
Gambar 2.14	Kopling Konduktif (<i>Ohmik</i>).....	13
Gambar 2.15	Mekanisme Kopling Induktif antar Kabel dari Saluran Sinyal.....	14
Gambar 2.16	Mekanisme Kopling Induktif Antara Kabel <i>Signal</i> dan Tanah.....	14
Gambar 2.17	Gambar Ilustrasi Pantulan dan Terusan Gelombang Berjalan.....	18
Gambar 2.18	Ilustrasi Pematangan Gelombang Berjalan olah Arester.....	21
Gambar 2.19	Konsep Pembagian Zona Proteksi Petir.....	22

Gambar 2.20	Perbandingan dari Arus Uji untuk Arester.....	24
Gambar 2.21	Koordinasi Arester	25
Gambar 2.22	Bonding Ekipotensial Peralatan	27
Gambar 2.23	Nilai Koefisien Kc Dalam Konfigurasi Satu – Dimensi	29
Gambar 2.24	Nilai Koefisien Kc Dalam Konfigurasi Dua – Dimensi.....	29
Gambar 2.25	Nilai Koefisien Kc Dalam Konfigurasi Tiga – Dimensi.....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan.....	34
Gambar 3.2	Pengkategorian LPZ Pada Lantai 6.....	37
Gambar 4.1	Peta Lokasi Pembangunan Kawasan Pasar Terpadu.....	40
Gambar 4.2	Ilustrasi Terjadinya Konduksi Saat Terjadi Sambaran Tidak Langsung	42
Gambar 4.3	Diagram Satu Garis Kelistrikan Pada Kawasan Pasar Terpadu	55
Gambar 4.4	Konfigurasi Antara <i>Down Conductor</i> dengan Kabel Catu Daya (Loop 1)	66
Gambar 4.5	Konfigurasi Antar Kabel (Loop 2).....	66
Gambar 4.6	Konfigurasi Loop Akibat Kabel Telekomunikasi atau TI (Vertikal).....	67
Gambar 4.7	Konfigurasi Loop Akibat Kabel Telekomunikasi atau TI (Horisontal) ..	68
Gambar 4.8	Perancangan Instalasi Proteksi Petir Internal Pada MDP Gedung Condotel	76
Gambar 4.9	Perancangan Diagram Segaris Proteksi Petir Internal Instalasi Catu Daya Pada Gedung Condotel.....	77
Gambar 4.10	Perancangan Proteksi SDP Telekomunikasi	78
Gambar 4.11	Perancangan Proteksi Anntena Televisi.....	78

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Gambar Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang.....	83
Lampiran 2.	Katalog Kabel.....	84
Lampiran 3.	Denah Ruang dan Pembagian Zona Proteksi Petir.....	88
Lampiran 4.	Rating Pengaman.....	96
Lampiran 5.	Pengaplikasian <i>Isolation Spark Gap</i>	97



RINGKASAN

Priya Surya Harijanto, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Februari 2014, **Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal Pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang**. Dosen Pembimbing : Moch. Dhofir, dan Soemarwanto.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem proteksi petir internal pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang. Sistem proteksi ini berguna untuk melindungi peralatan – peralatan yang ada pada gedung yang masih dalam tahap perencanaan. Pada penelitian ini dilakukan indentifikasi fungsi ruang dan tingkat keperluan proteksi pada tiap ruangan. Analisis tegangan lebih yang terjadi pada sistem proteksi tingkat III dengan arus puncak 100 kA akan dilakukan pada penelitian ini. Dari tingkat tegangan lebih ini akan digunakan sebagai dasar perancangan sistem proteksi petir internal pada gedung. Pada analisis tingkat tegangan lebih didapat, gelombang tegangan berjalan yang masuk pada peralatan didalam gedung memiliki nilai puncak berkisar 0,001 kV hingga 1,176 kV dengan tegangan tertinggi pada sisi MDP motor lift. Kemudian pada titik pembumian akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 100 kV. Tegangan induksi juga terjadi pada loop – loop yang terbentuk antara *down conductor* dengan kabel catu daya sebesar 110 kV/ m² dan 60,89 kV/ m². Sedangkan tegangan induksi yang terjadi akibat adanya pembelokan pada kabel telekomunikasi dan TI sebesar 300 V/m dan 200 V/mm. Pada Gedung Condotel Borobudur pembagian zona proteksi petir terbagi menjadi LPZ 1 dan 2. Berdasarkan analisis tegangan lebih yang dilakukan didapat perancangan sistem proteksi petir internal pada gedung yang tepat adalah dengan memasang arester kelas B dengan tingkat pemotongan 4 kV pada jalur masuk instalasi daya pada zona LPZ 0_B – 1 kemudian pada seluruh sisi MDP dipasang arester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV. dan pada bagian SDP dan instalasi tetap dipasang arester kelas D dengan tingkat pemotongan 1,5 kV hingga 0,8 kV bergantung pada zona LPZ 1 atau 2 yang seluruh bagian peralatan akan dihubungkan pada bonding ekipotensial yang akan dijadikan satu titik pembumian.

Kata kunci : Proteksi Petir, Tegangan Lebih, LPZ (*Lightning Protection Zone*), Arestes, Bonding Ekipotensial.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki hari guruh (*thunderstromsdays*) rata – rata pertahun 100 – 200 hari dalam satu tahun. Pulau Jawa memiliki hari guruh berkisar 90 – 200 hari pertahun. Kerapatan sambaran petir di Indonesia juga sangat tinggi yaitu $12/\text{km}^2/\text{tahun}$ yang artinya setiap area 1 km^2 di Indonesia dalam satu tahun mendapat sambaran petir sebanyak 12 kali. Hal ini menjadi ancaman bagi bangunan tinggi dan manusia yang ada pada daerah sekitar sambaran petir karena akan menyebabkan kebakaran dan kematian. Sedangkan bagi peralatan listrik dan elektronik di dalam suatu bangunan, sambaran petir akan menyebabkan kerusakan yang fatal. Kerusakan fatal tersebut disebabkan oleh surja arus dan tegangan dari sambaran petir baik sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung.

Gedung Condotel Blimbing Kota Malang memiliki luas wilayah 8.514 m^2 dari total seluruh wilayah Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang sebesar 19.086 m^2 . Ketinggian Gedung Condotel mencapai 55 meter, dengan ketinggian rata – rata tiap lantai 3,5 meter. Dimensi gedung ini yang membuat ancaman terhadap sambaran petir sangat tinggi. Pada gedung harus memiliki sistem proteksi terhadap petir baik eksternal dan internal. Proteksi petir eksternal saja tidak cukup untuk melindungi gedung dari ancaman sambaran petir karena proteksi ini melindungi gedung dari ancaman kerusakan dan kebakaran bangunan. Sedangkan peralatan - peralatan didalam gedung harus dilindungi oleh sistem proteksi internal agar terhindar dari ancaman munculnya medan induksi elektromagnetik pada daerah disekitar sambaran petir.

Untuk mencegah kerusakan pada peralatan listrik maupun elektronik pada Gedung Condotel Blimbing Kota Malang, maka diperlukan perancangan sistem proteksi petir internal pada Gedung Condotel Blimbing Kota Malang. Pada perancangan ini akan dilakukan analisis gelombang tegangan berjalan, analisis kenaikan tegangan pada pembumian, analisis tegangan induksi, analisis zona proteksi petir (LPZ), dan penentuan peralatan proteksi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang akan di bahas pada skripsi ini adalah :

1. Berapa tingkat tegangan lebih pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang
2. Bagaimana pembagian *Lightning Protection Zone* (LPZ) pada ruang – ruang yang ada di dalam Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang
3. Bagaimana Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal pada gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini sesuai dengan tujuan yang diharapkan, maka dalam pembahasannya dalam skripsi ini dibatasi sebagaimana berikut :

1. Pendefinisian tata letak dan fungsi tiap ruangan sesuai dengan gambar perencanaan Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang.
2. Sistem proteksi petir eksternal dianggap memiliki proteksi tingkat III dan tahanan pembumian 1Ω (ohm).
3. Melakukan analisis gelombang berjalan hanya pada analisis gelombang tegangan berjalan.
4. Pembahasan terkait analisis tegangan induksi di dalam loop terkait dengan mekanisme kopling yang meliputi kopling konduktif dan induktif.
5. Pembahasan peralatan proteksi tegangan lebih meliputi arester sebagai pemotong tegangan dan bonding ekipotensial sebagai penyama tegangan.
6. Peralatan yang di proteksi meliputi : instalasi daya, instalasi telekomunikasi, dan instalasi teknologi informasi.
7. Tidak membahas tentang analisis biaya untuk kebutuhan sistem proteksi petir pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

1.4. Tujuan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah merancang sistem proteksi petir internal yang tepat pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

1.5. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

- BAB I** : Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.
- BAB II** : Memuat tinjauan pustaka yang membahas dasar teori sebagai dasar penulis dalam melakukan perancangan sistem proteksi petir internal pada Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang yang meliputi : parameter petir dan bahaya surja petir terhadap peralatan listrik dan elektronik, zona proteksi petir, konduksi surja, mekanisme kopling, koordinasi arester, dan bonding ekipotensial.
- BAB III** : Memuat penjelasan tentang metode yang digunakan dalam perancangan sistem proteksi petir internal, yang terdiri dari studi literatur, pengumpulan data, perhitungan mengenai perancangan sistem proteksi petir internal dan analisis data serta pengambilan kesimpulan.
- BAB IV** : Memuat penjelasan tentang perancangan sistem proteksi petir internal berdasarkan data – data yang diperlukan dan analisis yang digunakan dalam kajian ini.
- BAB V** : Memuat kesimpulan dari perancangan dan saran yang diperoleh dari hasil analisis dari skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Arus dan Tegangan Surja Petir

Petir memiliki bentuk gelombang berupa gelombang impuls. Gelombang impuls merupakan gelombang yang memiliki polaritas dan mempunyai waktu untuk mencapai nilai puncak dengan singkat dan selanjutnya turun perlahan hingga mendekati nilai nol (eksponensial). Secara umum gelombang impuls petir dapat dinyatakan secara matematis dengan dengan Persamaan (2-1) : (Hutaaruk, 1989 : 5)

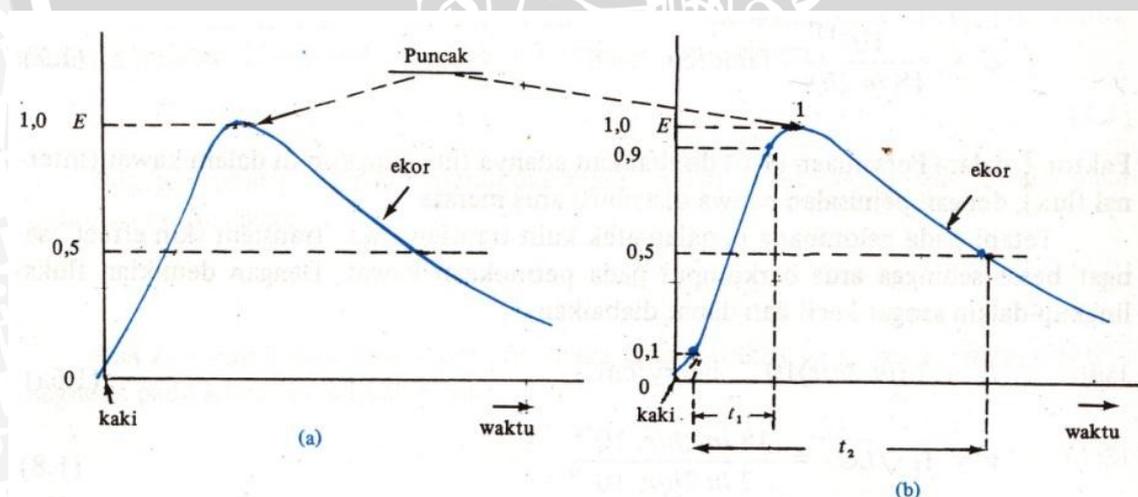
$$u(t) = E(e^{-at} - e^{-bt}) \tag{2-1}$$

dimana : E, a, dan b adalah konstanta.

Sedangkan bentuk gelombang arusnya dinyatakan dalam bentuk seperti persamaan (2-2) berikut : (Hutaaruk, 1989 : 5)

$$i(t) = A_I I_M(e^{-at} - e^{-bt}) \tag{2-2}$$

Gelombang impuls petir memiliki bentuk dan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut : (Hutaaruk, 1989 : 4)



Gambar 2.1. Spesifikasi Gelombang Impuls Bentuk Eksponensial
Sumber : Hutaaruk , 1989 : 4

Spesifikasi dari suatu gelombang berjalan : (Hutaaruk, 1989 : 4)

- a) Puncak (*crest*) gelombang, E (kV), yaitu amplitudo maksimum dari gelombang.



- b) Muka gelombang, t_1 (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai puncak.
Dalam praktik ini diambil dari 10% E sampai 90% E, lihat pada Gambar 2.1 (b).
- c) Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak.
- d) Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif (+) atau negatif (-).

Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai: $E, t_1 \times t_2$

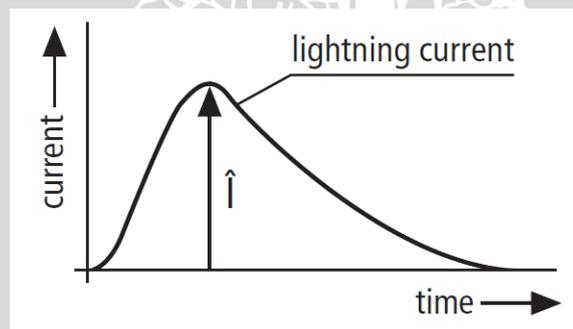
Jadi suatu gelombang berjalan dengan polaritas positif, puncak 1000 kV, waktu muka 3 mikrodetik, dan panjang 21 mikrodetik dinyatakan sebagai : +1000, 3 x 21.

2.2. Parameter Petir dan Bahaya Petir

Aspek desain dari setiap sistem proteksi petir dapat ditentukan oleh masing – masing parameter petir. Setiap parameter dapat digunakan sebagai acuan sejauh mana akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Macam – macam parameter petir meliputi arus puncak impuls petir (I_M), kecuraman arus petir maksimum $(di/dt)_{maks}$, muatan arus petir (Q), dan energi spesifik petir (W/R).

2.2.1 Arus Puncak Impuls Petir (I_M)

Arus puncak impuls petir (I_M) merupakan nilai maksimum atau nilai puncak impuls petir. Arus puncak petir juga dapat menentukan tingkat proteksi dari sebuah sistem proteksi petir suatu bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan Tabel 2.1.



Gambar 2.2 Gambar Gelombang Arus Impuls Petir

Sumber : DEHN, 2007 : 18

Tabel 2.1 Tingkat Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Nilai Puncak (kA)
I	200
II	150
III – IV	100

Sumber : Hasse, 2008: 49

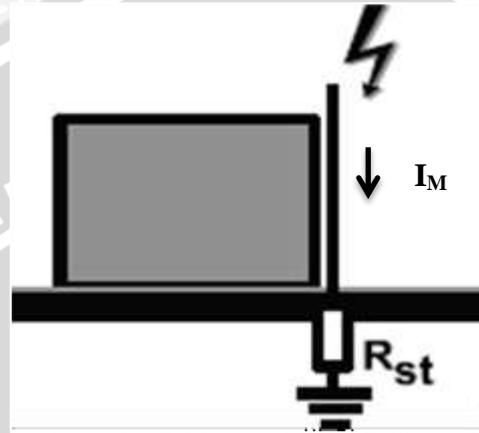
Apabila arus petir dengan puncak sebesar I_M mengalir ke titik pembumian dengan resistansi R_{st} , maka potensial di titik pembumian akan naik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Kenaikkan tegangan tersebut sebesar : (Hasse, 2008:48)

$$U_m = I_m \cdot R_{st} \quad (2-3)$$

Dengan: U_m : Jatuh tegangan pada titik pembumian

I_m : Arus puncak petir

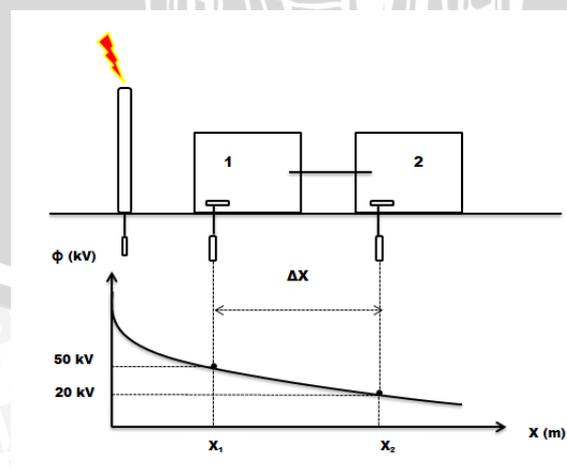
R_{st} : Tahanan pembumian



Gambar 2.3 Kenaikkan Potensial Pada Titik Pembumian

Sumber : Hasse, 2008 :49

Namun, jatuh tegangan pada titik pembumian ini tidak akan berbahaya untuk sistem proteksi jika bonding equipotensial proteksi petir telah diaplikasikan dengan benar. Bila petir menyambar suatu objek bangunan, maka pada daerah disekitar objek tersebut akan mengalami kenaikan tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



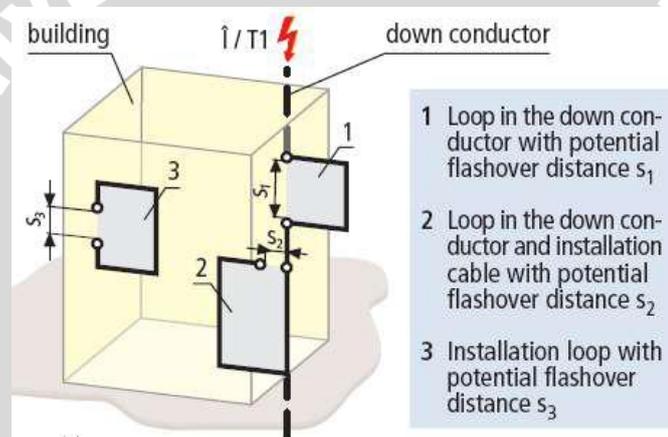
Gambar 2.4. Ilustrasi Terjadinya Tegangan Langkah

Sumber : Hasse, 2008 : 50

Pada seluruh bagian bangunan 1 dan bangunan 2 yang berjarak Δx mengalami kenaikan tegangan yang berbeda yang biasa disebut tegangan langkah, yaitu pada bangunan 1 sebesar 50 kV dan bangunan 2 sebesar 20 kV. Apabila ada penghantar yang terhubung antara bangunan 1 dan bangunan 2 maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus dari gedung 1 menuju gedung 2 yang akan merusak peralatan yang ada pada gedung 2.

2.2.2 Kecuraman Arus Petir Maksimum $(di/dt)_{maks}$

Kecuraman arus petir (di/dt) maksimum menyebabkan timbulnya induksi elektromagnetik pada loop yang terdapat di dalam suatu instalasi atau konstruksi yang tertutup atau yang terletak di dekat konduktor yang dialiri arus petir. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan loop – loop yang terbentuk akibat kabel catu daya dan TI terhadap *down conductor*.



Gambar 2.5 Daerah Induksi Dalam Loop

Sumber : DEHN, 2007: 19

Pada loop 1 adalah loop yang terbentuk antar *down conductor* yang disebabkan karena adanya pembelokan *down conductor* akibat struktur bangunan. Pada loop 2 adalah loop yang timbul akibat adanya kabel catu daya yang terhubung dengan *down conductor*. Sedangkan pada loop 3 adalah loop yang terbentuk antar kabel catu daya yang berada dimanapun yang memiliki jarak tertentu dengan *down conductor*.

Besar tegangan induksi dapat diketahui dengan Persamaan (2-4) : (Hasse, 2008:49)

$$U_m = M \left(\frac{di}{dt} \right)_{maks} \quad (2-4)$$

dengan : U_m : Tegangan induksi pada loop

M : Induktansi yang terhubung dari loop dalam H

di/dt : Kenaikkan rata – rata arus dalam A/s

Nilai M adalah induktansi bersama yang diketahui berdasarkan sebab timbulnya loop.

Apabila yang timbul adalah loop 2 maka M dapat diketahui dengan menggunakan teori

medan elektromagnetik dengan acuan yang terlihat pada Gambar 2.6 yaitu dengan Persamaan (2-5) berikut : (Hayt, 1982 : 308)

$$\mathbf{H} = \frac{i}{2\pi\rho} \hat{\mathbf{a}} \quad (2-5)$$

Besar kerapatan medan magnet pada sebuah kawat dengan jari jari sebesar r adalah:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi\rho} \hat{\mathbf{a}} \quad (2-6)$$

maka besar fluksi yang timbul pada loop tersebut sebesar,

$$\Phi = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \iint \frac{\mu_0 i}{2\pi\rho} d\bar{A} = \iint \frac{\mu_0 i}{2\pi\rho} d\rho dz \quad (2-7)$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \ln \rho \Big|_r^a z \Big|_0^b = \frac{\mu_0 i}{2\pi} b \ln \frac{a}{r} \quad (2-8)$$

Besar tegangan induksi (U) pada loop dapat dihitung dengan Hukum Faraday yaitu,

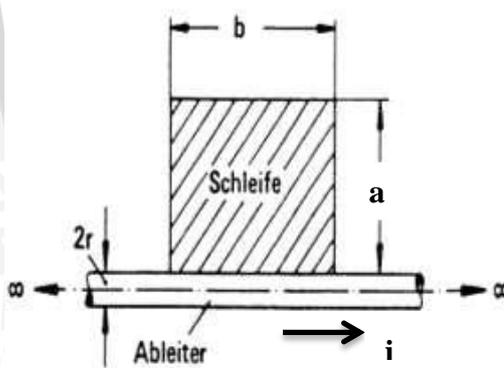
$$U = \frac{d\Phi}{dt} = M \frac{di}{dt} \quad (2-9)$$

dengan memasukkan nilai $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, maka

$$M = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \frac{a}{r} = 0,2 b \ln \frac{a}{r} \mu H \quad (2-10)$$

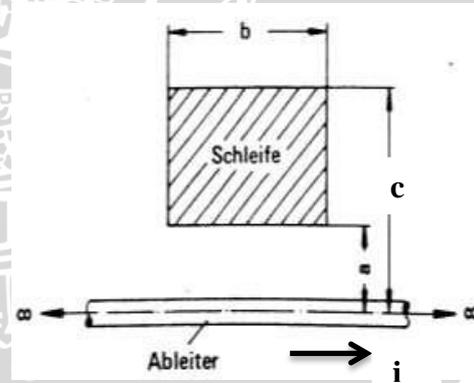
Sedangkan untuk tegangan induksi yang terjadi pada loop 3 seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 dengan penurunan rumus yang sama, nilai M akan didapat sebesar,

$$M = 0,2 b \ln \frac{c}{a} \mu H \quad (2-11)$$



Gambar 2.6 Induksi Elektromagnetik
Loop 2

Sumber : Hasse, 2008 : 51

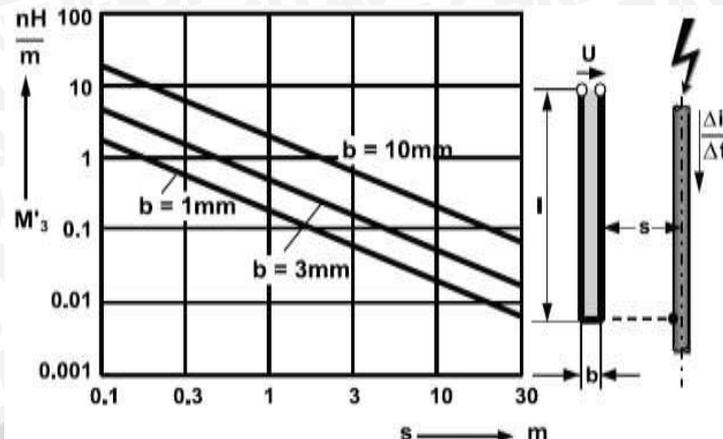


Gambar 2.7 Induksi Elektromagnetik
Loop 3

Sumber : Hasse, 2008 : 52

Loop – loop lain yang timbul akibat kabel telekomunikasi atau teknologi informasi akan membentuk 2 konfigurasi, yaitu vertikal dan horisontal. Untuk konfigurasi yang membentuk vertikal induktansi bersama M dapat diketahui dari grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Apabila panjang kabel (l) dan jarak kabel dengan *down conductor* (s) telah diketahui, maka nilai (M) dapat diketahui dari gambar dan disubstitusikan dalam Persamaan (2–12) untuk mendapatkan besar tegangan induksi yang terjadi pada loop (U) sebagai berikut (Hasse,2008:54),

$$U = M \cdot l \cdot \frac{di}{dt} \quad (2-12)$$

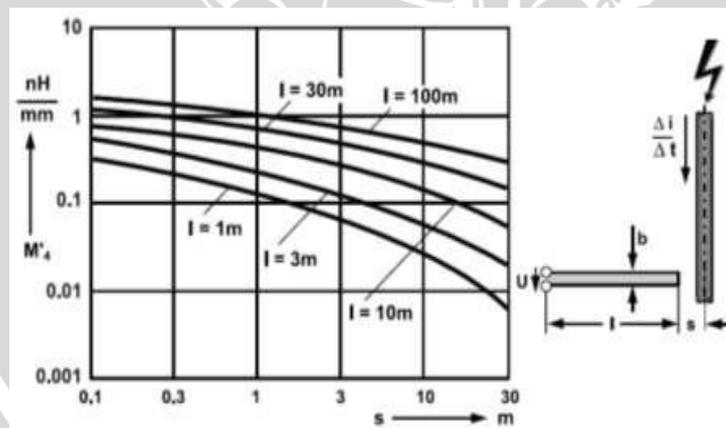


Gambar 2.8 Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Vertikal

Sumber : Hasse, 2008 : 54

Untuk konfigurasi horisontal, apabila panjang kabel (l) dan jarak sela minimum antara *down conductor* dengan kabel jaringan (s) telah diketahui, maka nilai koefisien (M) dapat diketahui dari Gambar 2.9 dan disubstitusikan dalam Persamaan (2-13) untuk mendapatkan besar tegangan induksi yang terjadi pada loop (U) sebagai berikut (Hasee,2008:54),

$$U = M \cdot b \cdot \frac{di}{dt} \quad (2-13)$$



Gambar 2.9 Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Horizontal

Sumber : Hasse, 2008 : 54

Sedangkan untuk mencari nilai (di/dt) maksimum dapat dilihat menggunakan Tabel 2.2. Arus petir terusan akan lebih berpengaruh terhadap timbulnya loop – loop tegangan induksi karena arus petir terusan lebih sering tidak tertangkap oleh proteksi petir eksternal atau sering disebut peristiwa sideflash.(Hasse, 2008 : 49).

Tabel 2.2 Tingkat Proteksi dan Arus Petir Subsequent

Protection level acc. To IEC	Threat Level acc. To VG	First Partial Lightning Impulse Current					Subsequent Lightning Impulse Current				Lightning Long – Duration Current	
		I_M (kA)	T_1 (μ s)	T_2 (μ s)	Q_1 (C)	W/R (MJ/ Ω)	I_M (kA)	T_1 (μ s)	T_2 (μ s)	I/T (kA/ μ s)	Q_1 (C)	T (s)
I	High	200	10	350	100	10	50	0,25	100	200	200	0,5
II		150	10	350	75	5,8	37,5	0,25	100	150	150	0,5
III – IV	Normal	100	10	350	50	2,5	25	0,25	100	100	100	0,5

Sumber : Hasse, 2008 : 46

Keterangan :

I_M : Current Peak Value

T_1 : Front time according to DIN VDE Part 2 1878 – 10

T_2 : Time to half according to IEC 60 – 1

T : Current duration

Q_1 : Impulse charge

Q_2 : Long – duration charge

W/R : Specific energy of current

Karena kecuraman paling tinggi saat (T_1) maka untuk menghitung nilai (di/dt) maksimum dapat diperoleh dengan (Hasse,2008:46),

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{maks} = \frac{I_m}{T_1} \text{ kA}/\mu\text{s} \quad (2-14)$$

Dimana,

$(di/dt)_{maks}$: Kecuraman arus petir maksimum (kA/ μ s)

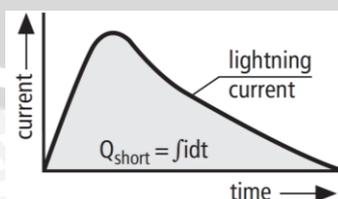
I_M : Arus puncak impuls petir (kA)

T_1 : Waktu muka impuls petir (μ s)

2.2.3. Muatan Petir (Q)

Muatan arus petir (Q) adalah jumlah muatan arus petir yang terbawa dan mengalir pada waktu tertentu atau integral arus petir terhadap waktu. Pada Gambar 2.10 diketahui bahwa muatan (Q) yang mengalir adalah luasan wilayah dibawah kurva. Muatan arus petir ini dapat dinyatakan dalam Persamaan (2-15) berikut (DEHN,2007:20

$$Q = \int_0^t i(t) dt \quad (2-15)$$



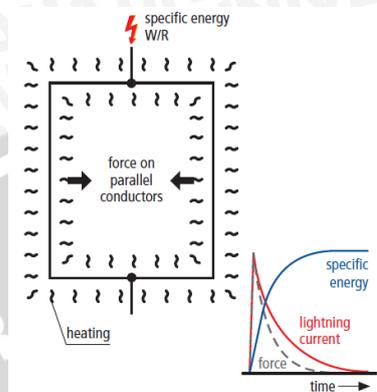
Gambar 2.10 Muatan Petir (Q)

Sumber : DEHN, 2007 : 20

Muatan petir ini yang akan menyebabkan pelelehan ujung *finial* dan logam – logam lainnya.

2.2.4. Energi spesifik (W/R)

Energi spesifik atau sering juga disebut arus kuadrat impuls adalah suatu faktor yang menyebabkan efek pemanasan pada konduktor ketika arus impuls petir mengalirinya.



Gambar 2.11 Efek Pemanasan dan Elektromagnetis Akibat Impuls Petir

Sumber : Dehn, 2007 : 20

Saat itu juga konduktor mengalami efek elektromagnetis sehingga timbul gaya elektromagnetis pada penghantar yang dialiri arus petir. Pada Gambar 2.11 ditunjukkan efek pemanasan dan elektromagnetis pada suatu konduktor. Besar nilai energi spesifik dapat dinyatakan dalam Persamaan (2-16) berikut (DEHN:2007:20) :

$$\frac{W}{R} = \int_0^t (i(t))^2 dt \quad (2-16)$$

Dimana,

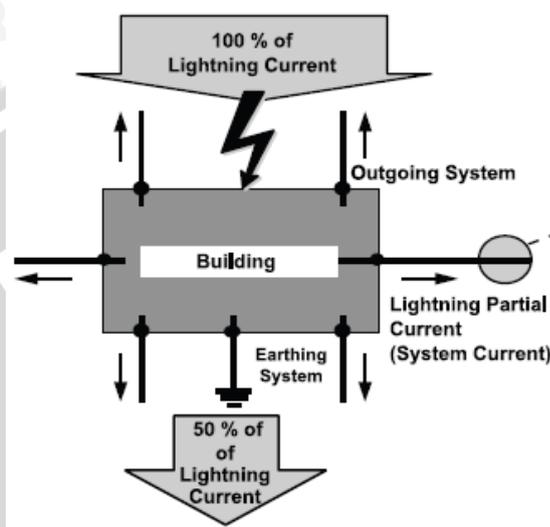
- W/R : Energi spesifik ($A^2 s$)
i (t) : Gelombang arus fungsi waktu (A)
 t : Waktu (μs)

2.3 Mekanisme Masuknya Surja Petir Pada Bangunan

Sambaran petir langsung pada suatu bangunan dapat menyebabkan seluruh bagian bangunan mengalami kenaikan tegangan dan juga pada loop – loop berbahaya pada bangunan akan timbul tegangan induksi. Selain itu, masuknya surja petir pada suatu bangunan juga dapat melalui berbagai mekanisme antara lain mekanisme kopling dan terjadinya konduksi surja petir akibat sambaran pada saluran udara.

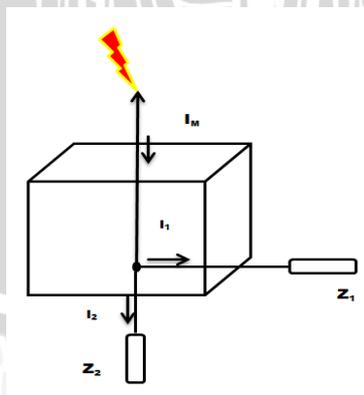
2.3.1. Distribusi Arus Petir

Ketika petir menyambar penangkap petir (*finial*) menurut DIN VDE 1085 part. 103, 50 % arus petir akan disalurkan menuju tanah melalui konduktor penyalur (*down conductor*) dan 50 % arus petir sisanya akan masuk ke dalam peralatan – peralatan yang berada di dalam gedung melalui mekanisme – mekanisme kopling dan konduksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Distribusi Arus Petir Pada Bangunan
Sumber : Hasse, 2008 : 47

Tetapi dengan melakukan perancangan yang baik hal tersebut dapat diminimalisir dengan cara membuat nilai resistansi pembumian sekecil mungkin sehingga sebagian besar arus petir dapat disalurkan ke tanah seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi Perancangan Sistem Pembumian Gedung
Sumber : Hasse, 2008 : 48

Apabila diketahui Z_1 adalah besar impedansi jaringan, dan Z_2 adalah impedansi pentanahan dari suatu sistem pembumian gedung. Ketika petir menyambar gedung

dengan nilai arus puncak sebesar I_M maka besar arus yang dibuang ketanah I_2 adalah sebesar (Hasse,2008:48),

$$I_2 = \frac{Z_1}{Z_1+Z_2} I_M \quad (2-17)$$

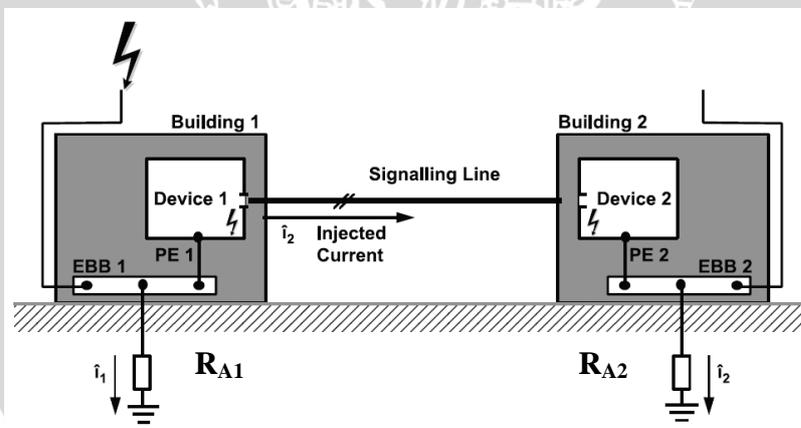
Apabila nilai $Z_1 \gg Z_2$, maka sebagian besar arus petir dapat dibuang ke tanah, dan sebagian kecil masuk ke peralatan listrik. Hal ini dapat mengurangi resiko kerusakan pada peralatan – peralatan di dalam gedung.

2.3.2. Mekanisme Kopling

Petir dalam setiap sambarannya meradiasikan gelombang elektromagnetik disekelilingnya. Gelombang ini mempunyai komponen magnetis dan listrik yang dapat menimbulkan tegangan lebih pada peralatan elektronik melalui 2 cara yaitu :

2.3.2.1. Kopling Konduktif / Ohmik

Kopling konduktif merupakan kopling yang terjadi akibat adanya perbedaan potensial yang cukup besar pada dua gedung dalam orde kV, pada gedung 1 yang memiliki resistansi pembumian sebesar R_{A1} memiliki potensial lebih tinggi dari gedung 2 yang memiliki resistansi pembumian sebesar R_{A2} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



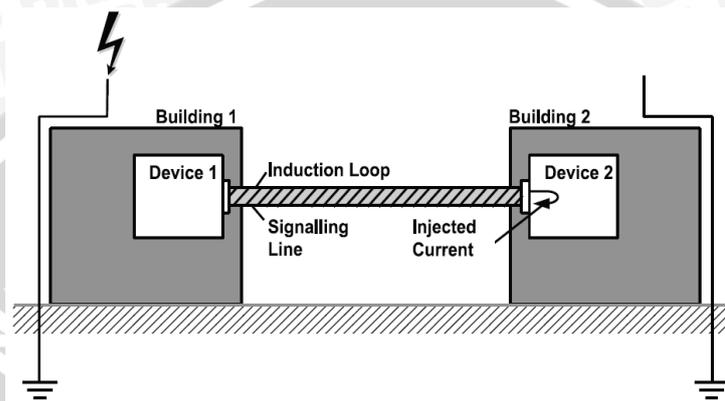
Gambar 2.14 Kopling Konduktif (*Ohmik*)

Sumber : Hasse, 2008 : 58

Perbedaan potensial ini cukup membuat tembus isolasi pada kabel *signal* dengan jarak antara peralatan 1 dan peralatan 2, sehingga kedua peralatan tersebut dapat terkopel secara ohmik dan menyebabkan surja arus mengalir dari PE 1 melalui peralatan 1, melalui kabel *signal* dan masuk pada PE 2 pada peralatan 2 kemudian R_{A2} . Besar dari surja arus (nilai puncak) tergantung dari nilai resistansi pembumian R_{A1} dan R_{A2} .

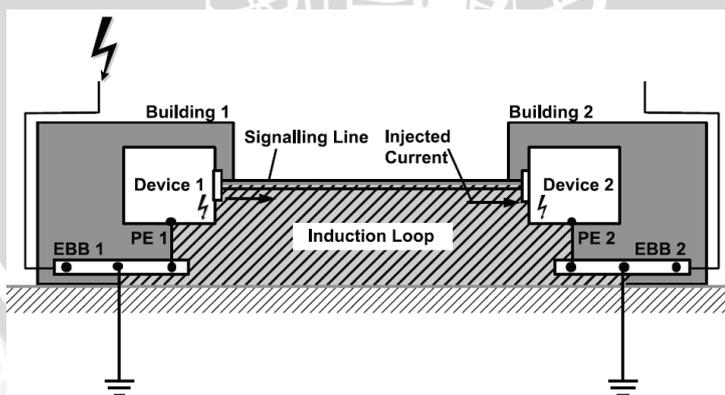
2.3.2.2. Kopling Induktif

Tegangan induksi dapat terjadi pada loop – loop karena medan magnetik yang terjadi akibat sambaran petir pada penghantar. Pada Gambar 2.15 ditunjukkan bahwa dua saluran *signal* membentuk sebuah loop induksi. Tegangan transversal dalam orde kV akan diinduksikan dalam loop ini jika pada gedung 1 terkena sambaran petir. Tegangan induksi ini menjadikan kenaikan arus kopling hingga beberapa kA. Tegangan dan arus ini akan merusak komponen pada input dan output peralatan.



Gambar 2.15 Mekanisme Kopling Induktif antar Kabel dari Saluran Sinyal
Sumber : Hasse, 2008 : 59

Pada Gambar 2.16 ditunjukkan kemungkinan lain dari kopling induktif. Loop induksi terbentuk antara saluran *signal* dengan tanah. Jika pada gedung 1 tersambar petir kenaikan tegangan berorde kV akan terinduksi pada loop ini. Pada saat itu akan membuat tembus isolasi pada peralatan 1 dan peralatan 2 sehingga mengalir arus kopling beberapa kA.



Gambar 2.16 Mekanisme Kopling Induktif Antara Kabel *Signal* dan Tanah
Sumber : Hasse, 2008 : 58

2.3.3. Konduksi Gelombang Surja Petir

Surja adalah suatu energi yang merambat pada sebuah media. Dari segi energi, dapat dikatakan bahwa surja pada kawat disebabkan oleh penyuntikan energi secara tiba – tiba pada kawat energi pada kasus ini adalah saluran udara yang tersambar petir. Energi ini terdiri dari arus dan tegangan yang merambat pada saluran. Kecepatan merambat gelombang berjalan ini bergantung pada konstanta – konstanta saluran. Pada saluran udara kecepatan merambatnya sekitar 300 meter per mikrodetik. Sedangkan pada kabel tanah kira – kira 150 meter per mikrodetik. (Hutauruk, 1989 : 2)

2.3.3.1. Media Perambatan Surja Petir

Sambaran petir pada saluran distribusi dapat menimbulkan tegangan lebih pada sistem dan gelombang surja yang merambat menuju trafo distribusi dan kemudian masuk ke bangunan atau gedung lalu menuju panel – panel kelistrikan pada gedung dan menyebabkan kerusakan peralatan pada bangunan. Gelombang surja ini akan membahayakan isolasi pada sistem yang dilewatinya. Gelombang ini merupakan gejala transient yang merupakan fungsi waktu dengan selang waktu yang pendek. Persamaan dan besar gelombang berjalan dapat ditentukan dengan cara mencari nilai impedansi surja dari jaringan.

Impedansi surja dari saluran udara distribusi tegangan menengah 20 kV dapat diketahui melalui Persamaan (2-18) berikut : (Hutahuruk, 1989 : 4)

$$Z = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad (2 - 18)$$

dengan h : Ketinggian kawat dari tanah (m)

r : Jari – jari konduktor (m)

Data ketinggian kawat dari atas tanah dan jari – jari konduktor dapat diketahui dari parameter impedansi surja kawat seperti surja kawat seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Parameter – Parameter Impedansi Surja Kawat

Data Kawat	Tegangan yang Digunakan			
	20 kV	66 kV	150 kV	500 kV
Luas Penampang Konduktor (A)	95 mm ²	240 mm ²	305 mm ²	374 mm ²
Jari – jari Konduktor (r)	5,5 mm	8,74 mm	9,89 mm	10,9 mm
Ketinggian Kawat di Atas Tanah (h)	8,5 m	19 m	30 m	70 m

Sumber : Harjanto, hal : 4

Sedangkan untuk kabel (Hutauruk, 1989 : 4) :

$$z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{R}{r} \quad (2 - 19)$$

Untuk konduktor padat dengan jari – jari r dan isolasi pembungkus berjari – jari R serta permitivitas ϵ . Kabel – kabel yang tersedia, umumnya nilai $\epsilon = 2,5 - 4$. Data tentang jenis kabel beserta ukuran konduktor dan isolasi yang ada di pasaran ditunjukkan pada Tabel 2.4. dan 2.5 ,sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel Data Konstruksi Kabel NYY 4 x 1.5 - 400 mm² 0,6/1 kV

Nom. Cross Section Area	Overall Diameter	Cable Weight
	approx.	approx.
mm ²	mm	kg/km
1,5	13,8	259
2,5	15,0	324
4	17,3	453
6	18,7	563
10	21,5	794
16	23,5	1083
25	27,5	1558
35	30,0	2018
50	35,5	2466
70	39,0	3334
95	44,5	4491
120	48,5	5504
150	54,5	6787
185	59,0	8392
240	66,0	10818
300	72,5	13326
400	82,5	16969

Sumber : PT KMI Wire and Cable Tbk.

Tabel 2.5 Tabel Data Konstruksi Kabel NYM 3 x 1.5 - 35 mm² 300/500 V

Nom. Cross Section Area	Overall Diameter	Cable Weight
	approx.	approx.
mm ²	mm	kg/km
1.5	10.0	136
2.5	11.0	186
4	12.0	246
6	13.5	335
10	17.0	527
16	20.5	816
25	24.5	1229
35	27.5	1601

Sumber : PT KMI Wire and Cable Tbk

Pada penentuan isolasi transformator distribusi didasarkan atas tingkat isolasi dasar (TID). Tingkat isolasi dasar didefinisikan sebagai nilai patokan yang dinyatakan dalam tegangan puncak impuls suatu gelombang dasar, yaitu menurut IEC adalah $1,2 \times 50 \mu s$. Untuk menentukan TID dari transformator, terlebih dahulu ditentukan tegangan tertinggi (U_{maks}) pada peralatan yang nilainya 110 % dari tegangan sistem (U_{nom}) peralatan yang digunakan. (Hutauruk, 1989 : 104)

$$U_{maks} = U_{nominal} \times 1,1 \quad (2 - 20)$$

Kemudian dalam penentuan isolasi transformator, dipakai isolasi yang dikurang (*reduced insulation*), yaitu tingkat isolasi yang lebih rendah dari yang telah ditetapkan. Pada Tabel 2.6 ditunjukkan pada kolom 2 merupakan tingkat isolasi penuh (100%) biasanya digunakan pada peralatan atau sistem yang tidak diketanahkan atau terisolasi.

Tabel 2.6. Tingkat Isolasi Dasar (*TID*) Transformator

Tegangan tertinggi peralatan (rms) (kV)	100 % TID (kV)	80 % TID (kV)
1,2	30	24
8,7	75	60
12	95	76
23	150	125
34,5	200	160
49	250	200
66	350	280
92	450	360
115	550	440
138	650	520
161	750	600
180	825	660
196	900	720
230	1050	840
260	1175	940
287	1300	1040
345	1550	1240

Sumber : Arismunandar, 2001 : 104

Sedangkan pada kolom 3 karena sistem atau peralatannya diketanahkan sehingga cukup memakai arester 80 %, maka tentu saja dapat dipakai TID 80 %. Pengurangan isolasi ini penting sekali artinya terutama untuk mendukung aspek ekonomis. (Arismunandar, 2001 : 104)

Impedansi surja internal dari belitan transformator bukan merupakan nilai tunggal yang konstan, namun sebaliknya belitan memiliki batas jangkauan dari impedansi surja. Batasan tersebut dapat diketahui dari Tabel 2.4. ditunjukkan beberapa trafo yang dengan kapasitas yang berbeda – beda beserta rating tegangan pada sisi primer trafo.

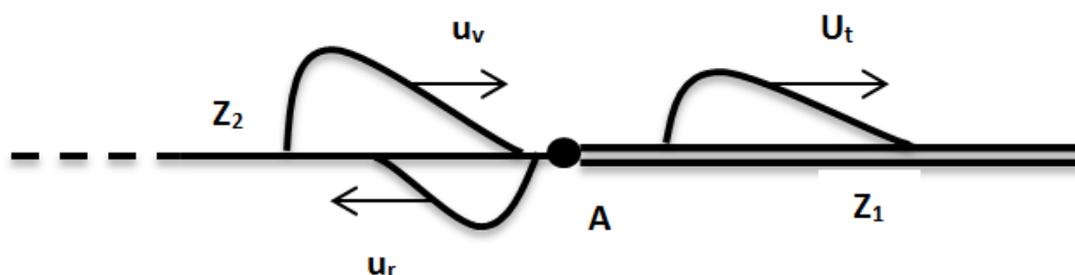
Tabel 2.7 Impedansi – Impedansi dari Transformator 3 – Fasa, 50 Hz, H.V. atau L.V.,
Hubungan Delta atau Bintang.

Transformator kVA	Persentasi Impedansi		
	11 kV	33 kV	66 kV
100	4.75	5.0	5.5
250	4.75	5.0	5.5
500	4.75	5.0	6.0
1000	4.75	5.0	6.0
1500	5.5	6.0	7.0
2000	6.0	6.0	7.0
3000	6.0	7.0	7.5
5000	6.0	7.0	7.5
7500	7.0	8.0	8.5
10000	-	9.0	9.0
20000	-	10.0	10.0
30000	-	10.0	10.0

Sumber : Stigant, 1997 : 539

2.3.3.2. Pantulan dan Terusan Gelombang Berjalan

Bila gelombang berjalan menemui titik peralihan, atau adanya perubahan impedansi maka, maka sebagian gelombang akan dipantulkan dan akan diteruskan ke bagian lain dari titik tersebut. Gelombang yang datang dinamakan *incident wave* (u_v), gelombang yang dipantulkan dinamakan *reflected wave* (u_r), dan gelombang terusan dinamakan *transmitted wave* (u_t) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Gambar Ilustrasi Pantulan dan Terusan Gelombang Berjalan

Sumber : Hutaaruk, 1989 : 26

Persimpangan tegangan dan arus terjadi pada titik A dimana terdapat perbedaan impedansi (Z_1) pada sisi kiri dan impedansi (Z_2) pada sisi kanan. Pada titik persimpangan A akan berlaku persamaan tegangan (Hutaaruk, 1989: 27),

$$u_v + u_r = u_t \quad (2-20)$$

Dan untuk arus (Hutauruk, 1989: 27),

$$i_v + i_r = i_t \quad (2-21)$$

Dimana (Hutauruk, 1989: 27),

$$u_t = Z_2 i_t \quad (2-22)$$

gelombang arus datang dinyatakan sebagai (Hutauruk, 1989: 27),

$$i_v = u_v / Z_1 \quad (2-23)$$

gelombang arus pantulan dinyatakan sebagai (Hutauruk, 1989: 27),

$$i_r = u_r / Z_1 \quad (2-24)$$

subtitusikan persamaan (2-23) dan (2-24) dalam persamaan (2-20) dan (2-21) maka didapatkan gelombang tegangan pantulan (Hutauruk, 1989: 28),

$$u_r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} u_v \quad (2-25)$$

koefisien pantulan untuk tegangan adalah (Hutauruk, 1989: 28),

$$\Gamma_{tegangan} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (2-26)$$

Sedangkan gelombang tegangan terusnya didapatkan dengan substitusi persamaan (2-25) ke (2-20) didapatkan sebesar (Hutauruk, 1989: 28),

$$u_t = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} u_v \quad (2-27)$$

Untuk gelombang arus pantulan sebesar (Hutauruk, 1989: 28),

$$i_r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} i_v \quad (2-28)$$

koefisien pantulan untuk arus adalah (Hutauruk, 1989: 28),

$$\Gamma_{arus} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2-29)$$

sedangkan gelombang arus yang diteruskan dapat diperoleh dengan mensubtitusikan persamaan (2-28) ke (2-21) didapatkan sebesar (Hutauruk, 1989: 28),

$$i_r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} i_v \quad (2-30)$$

sedangkan koefisien terusan untuk tegangan ditinjau dari jumlah saluran cabang adalah (Hutauruk, 1989: 29),

$$T = \frac{2}{n} \quad (2-31)$$

jika gelombang datang dari satu cabang sampai di titik percabangan, gelombang akan diteruskan ke $n - 1$ cabang lain, dengan total impedansi ekivalennya sebesar,

$$Z_2 \text{ (ekivalen)} = \frac{Z_2}{(n-1)} \quad (2-32)$$

didapatkan besar gelombang yang diteruskan sebesar (Hutauruk, 1989: 29),

$$u_t = T \cdot u_v \quad (2-33)$$

maka sambungan dengan banyak cabang merupakan cara yang baik mengurangi kerusakan karena surja.

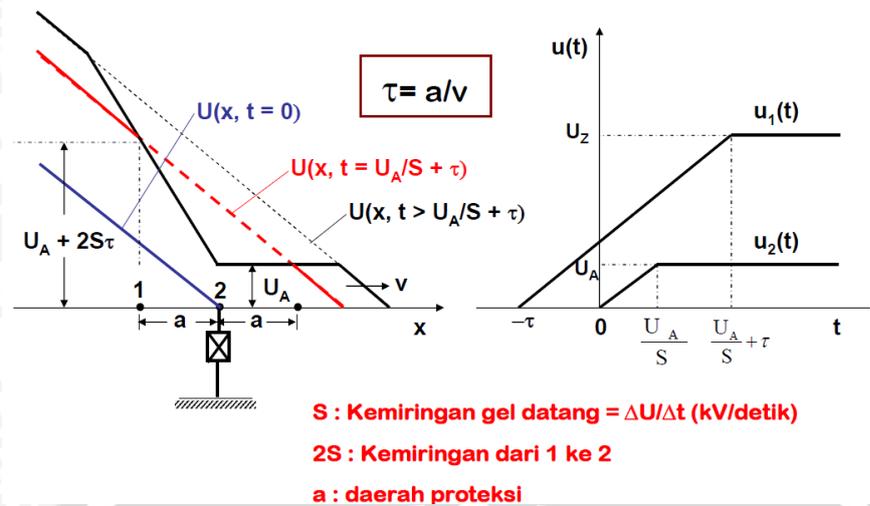
Apabila surja yang masuk pada peralatan masih dianggap cukup berbahaya bagi peralatan terutama peralatan – peralatan yang sensitif dari surja. Maka untuk peralatan yang sensitif dipasang peralatan proteksi surja yang berfungsi untuk memotong surja yang akan masuk pada peralatan.

2.3.3.3. Pemotongan Gelombang Berjalan

Pemotongan gelombang berjalan dilakukan oleh sebuah peralatan proteksi yang dinamakan *Arester*. *Arester* ini hanya akan menjamin keandalan dalam membatasi tegangan sebesar U_A pada sisi terminal arester. Pada jarak tertentu dari arester dapat terjadi tegangan yang lebih tinggi. Pada Gambar 2.18 ditunjukkan proses pemotongan gelombang berjalan oleh arester. Panjang saluran di depan atau dibelakang arester surja yang masih terlindungi disebut daerah proteksi (a).

Pada saat $t = 0$, gelombang tiba pada arester. Waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak a adalah (Kind, 1993:214),

$$t = \tau = \frac{a}{v} \quad (2-34)$$



Gambar 2.18 Ilustrasi Pemotongan Gelombang Berjalan oleh Arestor
 Sumber : Kind, 1993 : 213

dan pada saat $t = U_A / S$, arester mulai merasakan tegangan U_A dan tegangan pada titik 1 mencapai U_1 dan pada titik dua gelombang mengalami pemantulan dengan kemiringan $(-S)$. Pembatasan tegangan pada titik 1 baru berlangsung setelah selang waktu (t) berikutnya, yakni pada saat $t = (U_A / S) + \tau$. Pada saat ini nilai tegangan U_1 adalah sebesar (Kind,1993:214),

$$U_1 = U_A + 2S\tau \quad (2-35)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2-34) kedalam (2-35) maka daerah proteksi dapat diketahui sebesar (Kind,1993;214),

$$a = \frac{U_1 - U_A}{2S} v \quad (2-36)$$

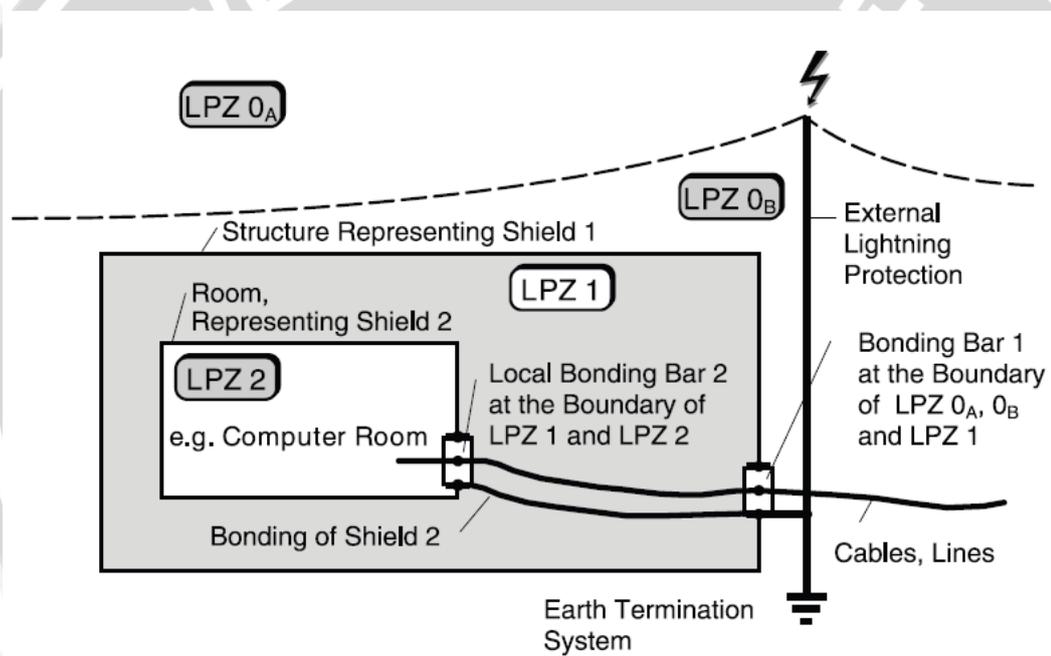
dimana nilai U_1 merupakan besar tegangan yang diizinkan masuk kedalam peralatan, sehingga nilai U_1 adalah nilai yang mengacu pada *BIL* peralatan listrik yang akan diamankan.

2.4. Pembagian Zona Proteksi Petir & Penentuan Kelas Arestor

Sesuai dengan IEC 62305 – 3 disebutkan bahwa sebuah sistem proteksi petir melindungi manusia dan material berharga pada gedung – gedung, tetapi tidak melindungi sistem kelistrikan dan elektronik di dalam bangunan yang sensitif terhadap lonjakan energi tinggi transien yang dihasilkan oleh sambaran petir dan operasi pensaklaran. Proteksi peralatan listrik dan elektronik dalam bangunan dan struktur terhadap gelombang yang dihasilkan dari pulsa elektromagnetik petir didasarkan pada prinsip zona proteksi petir (LPZ). Menurut prinsip ini, bangunan atau struktur yang

harus dilindungi dibagi menjadi zona proteksi petir internal menurut tingkat ancaman yang ditimbulkan oleh pulsa elektromagnetik petir seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.19. Hal ini memungkinkan area dengan tingkat risiko pulsa elektromagnetik petir yang berbeda sesuai dengan tingkat ketahanan sistem elektronik.

Dengan konsep yang fleksibel ini, LPZ yang sesuai dapat ditentukan berdasarkan pada nomor, tipe dan sensitivitas dari peralatan elektronik/sistem, yang diklasifikasikan mulai dari zona lokal yang kecil hingga zona tambahan yang luas yang dapat meliputi seluruh bangunan. Berdasarkan tipe dari bentuk ancaman akibat petir, maka penentuan zona proteksi petir yang sesuai adalah sebagai berikut : (Hasse, 2008 : 81)



Gambar 2.19 Konsep Pembagian Zona Proteksi Petir
Sumber : Hasse, 2008 : 81

2.4.1. Zona Eksternal

Zona proteksi petir eksternal adalah zona proteksi yang berfungsi untuk menentukan kebutuhan perlindungan pada bagian luar gedung yang sangat rentan terhadap sambaran petir langsung.

1. LPZ 0_A : Zona dimana terjadi sambaran petir langsung dan oleh karena itu seluruh arus petir harus dapat teralirkan seluruhnya. Disini terjadi medan elektromagnetik yang paling tinggi dan tanpa ada redaman.

2. LPZ 0_B : Zona dimana benda atau peralatan tidak menjadi sasaran sambaran petir langsung tetapi pada zona ini masih terjadi medan elektromagnetik yang tinggi dan tanpa redaman.

2.4.2. Zona Internal

Zona proteksi internal adalah zona proteksi yang berfungsi untuk menentukan kebutuhan peralatan perlindungan surja petir pada bagian dalam gedung yang berisi peralatan listrik dan elektronik yang sangat rentan terhadap sambaran petir tidak langsung. Pembagian zona proteksi petir internal didefinisikan sebagai berikut :

1. LPZ 1 : Zona tempat benda atau peralatan tidak menjadi sasaran sambaran petir langsung dan arus pada semua tempat pada bagian konduktif di dalam zona ini lebih rendah atau berkurang jika dibanding zona 0_A dan 0_B. Didalam zona ini medan elektromagnetik dapat diredam tergantung pada tindakan pemerisaian.
2. LPZ 2 : Zona dimana arus impuls lebih lanjut dibatasi oleh pemisahan arus oleh arester batas – batas zona juga medan elektromagnetik dari sambaran petir biasanya diredam oleh perisai (shielding) spasial.

Persyaratan pada zona internal harus ditentukan sesuai dengan ketahanan dari sistem listrik dan sistem elektronik yang harus dilindungi. Pada batas dari masing – masing zona internal, pemasangan bonding ekipotensial harus dilakukan pada semua komponen logam dan jalur utilitas yang memasuki bangunan atau struktur. Hal ini dapat dilakukan secara langsung atau dengan arester yang sesuai.

2.4.3. Arestor

Arestor atau biasa juga disebut *Lighting Arestor* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap gangguan surja ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang akan datang dan mengalirkannya ke tanah. Dipasang pada atau dekat peralatan yang dihubungkan dari fasa konduktor ke tanah. Peralatan proteksi untuk catu daya dan sistem teknologi informasi ini diklasifikasikan menjadi : (Hasse, 2008:115)

1. Arestor arus petir yang berfungsi memotong energi petir pertama/ membuang energi petir terbesar ke tanah / pemotong arus petir paling

besar/ pemotong arus petir mayor. Arester ini termasuk ke dalam arester kelas B.

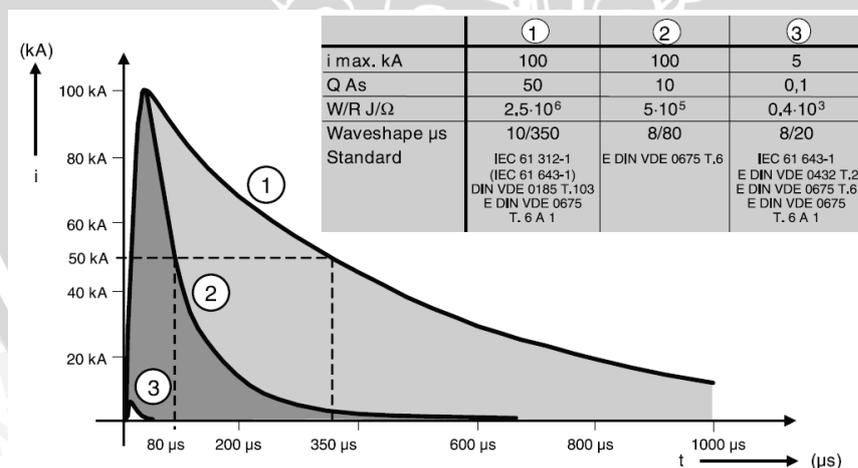
2. Arestor tegangan lebih yang berfungsi lebih untuk membatasi tegangan hingga ke tingkat yang sesuai. Arestor ini termasuk ke dalam arester kelas C dan D.

Prinsip kerja kedua arester adalah sama, yaitu berdasarkan tegangan, bila tegangan kerja dicapai, maka arester akan menghubungkan singkat sesaat saluran ke bonding ekipotensial/sistem pembumian.

2.4.3.1. Kelas Arestor

Berdasarkan IEC 61643-I/E DIN VDE 0675 arester dibagi menjadi 4 kelas sebagai berikut :

1. Kelas A : Arestor yang dipasang pada saluran udara tegangan rendah dan di tempat dimana arester tidak dapat disentuh. Pengujian dilakukan dengan bentuk gelombang arus surja tipe 8/20 μs seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.
2. Kelas B : Arestor yang dipasang untuk tujuan proteksi internal petir yaitu bonding ekipotensial dan pengendali sambaran petir langsung. Arestor ini diuji dengan simulasi petir tes arus I_{imp} dengan tipe gelombang 10/350 μs yang juga dapat dilihat dari Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Perbandingan dari Arus Uji untuk Arestor

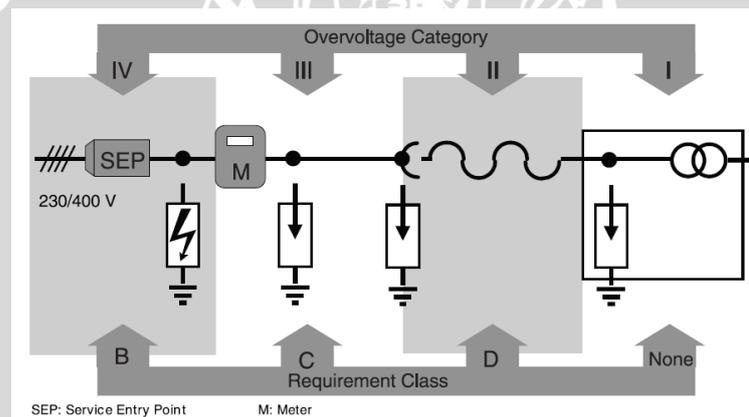
Sumber : Hasse, 2008 :116

3. Kelas C : Arestor yang dipasang untuk tujuan perlindungan surja pada instalasi yang tetap. Arestor ini diuji dengan debit arus surja nominal dari bentuk gelombang 8/20 μs .

4. Kelas D : Arester yang dipasang untuk tujuan perlindungan surja baik pada instalasi bergerak maupun tetap, terutama di daerah stop kontak atau sebelum terminal.

2.4.3.2. Koordinasi Arester

Konsep LPZ akan digunakan dalam penentuan kelas arester. Hal ini bertujuan agar koordinasi arester memiliki kehandalan dan menjamin bahwa tidak ada arester yang akan terbebani lebih ketika terjadi pelepasan arus petir pada arester arus petir kelas B pada LPZ 0_A hingga 1. Setelah itu pengurangan energi sisa akan dilakukan oleh arester tegangan lebih kelas C pada LPZ 1 hingga 2 dan pada waktu yang sama juga berfungsi sebagai proteksi tegangan lebih karena induksi dari operasi pensaklaran dan sambaran tidak langsung. Arester kelas D akan mengurangi nilai tegangan lebih residu / sisa sehingga nilainya aman bagi peralatan. Pada Gambar 2.21 ditunjukkan koordinasi arester berdasarkan zona proteksi, kelas arester, serta pemilihan tingkat pemotongan arester berdasarkan kategori ketahanan surjanya ditunjukkan pada Tabel 2.8.



Gambar 2.21 Koordinasi Arester
Sumber : Hasse, 2008 : 120

Berikut penjelasan tentang pemilihan kelas arester :

- Arester kelas B (arester arus) : Lokasi dari arester arus adalah area dari sumber dimana arus petir yang tinggi dapat timbul.
- Arester kelas C : Tipe lokasi dari arester ini adalah pada daerah sub distribusi. Tempat dimana tegangan residu dari arester arus petir dan arus surja ($8/20\mu\text{s}$) pada batas kA harus terkontrol dengan aman.
- Arester kelas D : Arester ini ditempatkan diantara distribusi dan terminal atau socket stop kontak.

Berikut adalah kategori ketahanan surja oleh yang mana merupakan dasar pemilihan kapasitas arester yang akan digunakan pada setiap kategori koordinasi.

Tabel 2.8 Kategori Ketahanan Surja

Voltages Conductor – Earth in V Derived from rated Mains Voltage Up To U_{eff} and U	Dimensioning Surge Voltage in V for Over Voltage Category			
	I	II	III	IV
100	330	500	800	1500
150	500	800	1500	2500
300	800	1500	2500	4000
600	2500	4000	6000	8000
1000	4000	6000	8000	12000

Sumber : Hasse, 2008 : 73

2.4.3.3. Karakteristik Arester Ideal

Sebuah arester memiliki 4 karakter yang menjadi indikasi bahwa arester dapat bekerja secara sempurna yaitu :

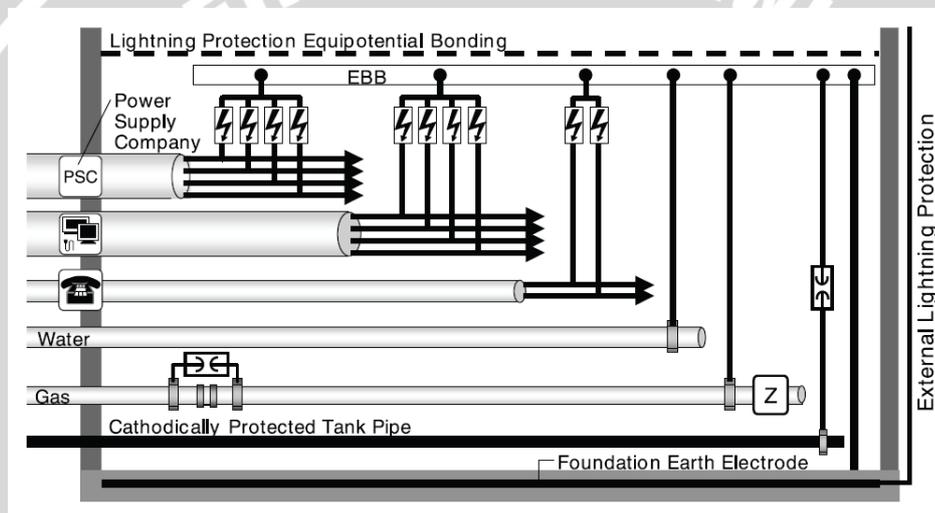
1. Pada tegangan sistem yang normal arester tak boleh bekerja. Tegangan tembus arester pada frekuensi jala – jala harus lebih tinggi dari tegangan lebih sempurna yang mungkin terjadi pada sistem.
2. Setiap gelombang transien dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan tembus arester (U_A) arester harus mampu bekerja untuk mengalirkan arus ke tanah.
3. Arester harus mampu melewati arus terpa ke tanah tanpa merusak arester itu sendiri dan tanpa menyebabkan tegangan pada terminal arester lebih tinggi dari tegangan sumbernya sendiri.
4. Arus dari sistem normal tidak boleh mengalir ke tanah setelah gangguan diatasi (*follow current*). Arus ikutan harus dipotong begitu gangguan telah lalu dan tegangan kembali normal.

2.5. Bonding Ekipotensial / Peralatan Penyama Tegangan

Peralatan penyama tegangan / bonding ekipotensial berfungsi untuk mengurangi dan menghilangkan beda tegangan pada peralatan yang terjadi akibat adanya arus petir. Pada saat petir menyambar penangkap petir, arus petir mengalir pada konduktor penyalur dan pembumian dan akan menimbulkan beda tegangan yang besar antara bagian ini dengan bagian dengan pembumian yang lain, logam dan peralatan yang ada sehingga dapat menimbulkan lompatan muatan atau lompatan bunga api. Peralatan penyama tegangan sangat penting peranannya dalam mengurangi dan meniadakan beda

tegangan tersebut. Seluruh bagian peralatan metal dan instalasi yang dapat menghantarkan arus listrik harus dihubungkan ke peralatan pembumian melalui jarak terpendek.

Bonding ekipotensial dihubungkan ke seluruh sistem pembumian dari pipa air, pipa pembuangan, pipa pemanas, sistem listrik, pagar besi dan lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22. Instalasi tertentu seperti pipa gas, tangki minyak, dan instalasi dengan pembumian terpisah dihubungkan pada bonding ekipotensial dengan sela percik (*spark gap*). Seluruh kabel – kabel informasi telekomunikasi dan TI, data, dan kontrol juga dihubungkan dengan bonding ekipotensial dengan menggunakan peralatan proteksi yang sesuai.



Gambar 2.22 Bonding Ekipotensial Peralatan
Sumber : Hasee, 2008 : 80

2.5.1. Bonding Ekipotensial untuk Sistem Tegangan Rendah

Bonding ekipotensial untuk instalasi listrik tegangan rendah sebagai bagian dari proteksi petir internal sesuai dengan IEC 62305 – 3 merupakan perpanjangan dari bar bonding ekipotensial utama sesuai dengan IEC 60364 – 4 – 41. Semua bagian konduktif luar juga diintegrasikan pada instalasi listrik tegangan rendah ke dalam bonding ekipotensial. Bonding ekipotensial untuk instalasi jaringan catu daya dan teknologi informasi memasuki struktur bangunan.

2.5.2. Bonding Ekipotensial untuk Sistem Teknologi Informasi

Proteksi petir internal atau bonding ekipotensial petir mensyaratkan bahwa semua komponen logam konduktif seperti jalur kabel dan shielding di pintu masuk ke

gedung harus dimasukkan ke dalam bonding ekipotensial sehingga menyebabkan impedansi sesedikit mungkin. Dalam rangka meminimalkan loop induksi dalam bangunan, langkah – langkah tambahan berikut ini yang direkomendasikan :

- a. Kabel dan pipa logam harus masuk ke gedung di lokasi yang sama.
- b. Jalur daya (catu daya) dan jaringan teknologi informasi harus diletakkan dalam jarak yang dekat tetapi terlindungi.
- c. Kabel panjang yang tidak dibutuhkan harus dihindari dengan meletakkan langsung pada jalur.

2.5.3. Kedekatan dan Jarak Aman Instalasi Listrik dengan Bonding Ekipotensial

Bonding ekipotensial untuk instalasi listrik, telekomunikasi dan instrumentasi harus dibuat sedekat mungkin dengan titik masuk ke dalam bangunan gedung. Bila kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi maka harus terdapat jarak pemisah s antara instalasi logam juga antara bagian konduktif eksternal yang dapat dihitung dengan Persamaan sebagai berikut : (SNI – 03 – 7015, 2004 : 35)

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot L(m) \quad (2 - 37)$$

dengan,

k_i : Konstanta tergantung pada tingkat proteksi yang dipilih (Tabel 2.9)

k_c : Konstanta tergantung pada konfigurasi dimensi (Gambar 2.23 , 2.24, 2.25)

k_m : Konstanta tergantung pada bahan pemisah (Tabel 2.10)

L (m): Jarak sepanjang konduktor penyalur dari titik terdekatnya yang dipertimbangkan ke titik bonding ekipotensial terdekat.

Persamaan diatas berlaku jika konduktor penyalur mempunyai kelipatan 20 m.

Tabel 2.9 Kedekatan Instalasi Proteksi Petir, Nilai Koefisien K_i

Tingkat Proteksi	k_i
I	0,1
II	0,075
III dan IV	0,05

Sumber : SNI – 03 – 7015, 2004 : 36

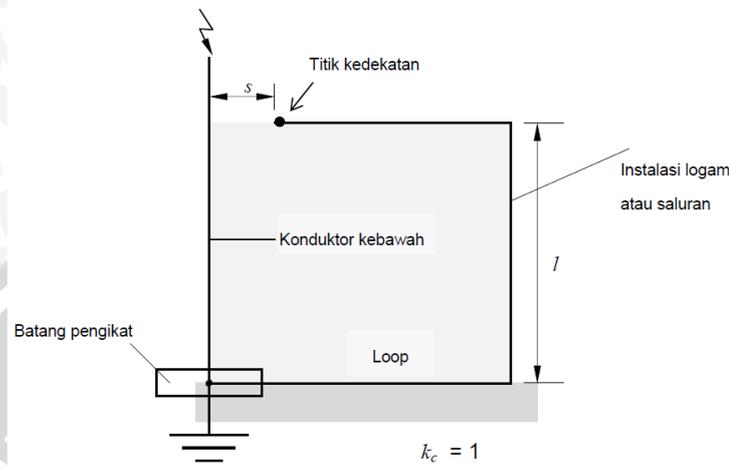
Tabel 2.10 Kedekatan Instalasi Proteksi Petir, Nilai Koefisien k_m

Bahan	k_m
Udara	1
Padat	0,5

Sumber : SNI – 03 – 7015, 2004 : 36

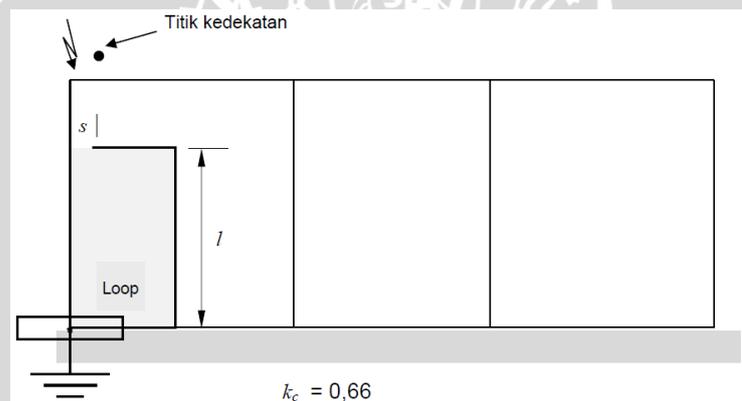
Pemisahan jarak yang cukup melebihi jarak umum perlu dijaga antara sistem proteksi petir eksternal dengan semua bahan konduktif yang terhubung pada bonding ekipotensial pada bangunan gedung. Jarak aman dapat dievaluasi dengan Persamaan (2

– 37) untuk nilai k_c yang sudah dihitung untuk konduktor penyalur berjarak 20 m (tingkat proteksi III). Untuk jarak konduktor yang tidak sama dari 20 m dan untuk pemasangan simetris, evaluasi k_c seharusnya merupakan jarak antara titik sambungan bonding ekipotensial dan titik kedekatannya.



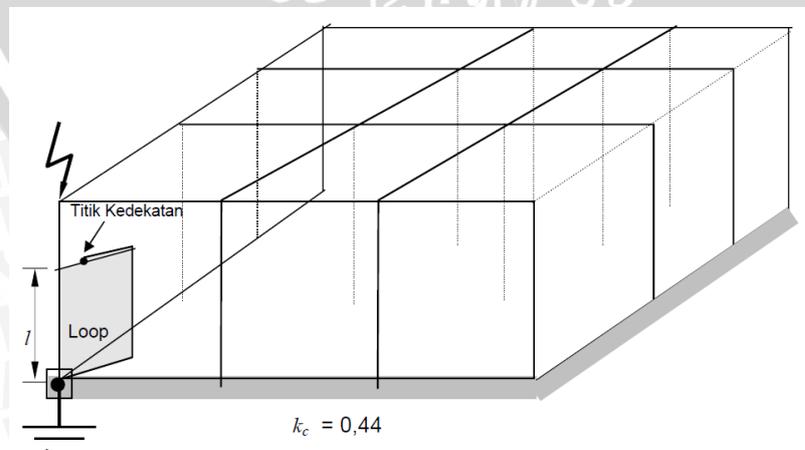
Gambar 2.23 Nilai Koefisien K_c Dalam Konfigurasi Satu – Dimensi

Sumber: SNI – 03 – 7015, 2004 : 36



Gambar 2.24 Nilai Koefisien K_c Dalam Konfigurasi Dua – Dimensi

Sumber: SNI – 03 – 7015, 2004 : 37



Gambar 2.25 Nilai Koefisien K_c Dalam Konfigurasi Tiga – Dimensi

Sumber: SNI – 03 – 7015, 2004 : 37

2.6. Pemilihan Penghantar

Ukuran kabel yang tidak memadai merupakan salah satu faktor yang terjadi kerusakan pada sistem instalasi listrik. Ukuran kabel atau penghantar dipilih sesuai dengan besar arus nominal yang akan mengalir melalui kabel / penghantar tersebut sesuai dengan lingkungan pemasangannya. Dasar pertimbangannya adalah adanya efek pemanasan yang akan dialami oleh penghantar apabila arus yang mengalir melampaui batas. Bila melampaui batas akan menimbulkan efek panas yang berkepanjangan yang akhirnya bisa merusak isolasi atau membakar benda – benda disekitarnya. Agar terhindar dari peristiwa kapasitas lebih semacam ini maka ukuran kabel harus disesuaikan dengan standart PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik).

Penghantar memiliki dua jenis yaitu : (Sumardjati, 2008 : 49)

1. Kawat, merupakan penghantar tanpa isolasi (telanjang) yaitu dibuat dari C_u (Tembaga), AL (Aluminium).
2. Kabel, merupakan penghantar yang terbungkus isolasi, ada yang berinti tunggal atau banyak, ada yang kaku atau berserabut, ada yang dipasang di udara atau di dalam tanah, dan masing – masing digunakan sesuai dengan kondisi pemasangannya.

Untuk menentukan jenis penghantar beserta ukuran penghantar yang akan digunakan maka perlu dihitung terlebih dahulu daya nominal dari beban. Setelah itu arus nominal dapat hitung dengan persamaan (2-38) berikut, untuk sistem 3 fasa maka (Sumardjati, 2008 : 49) :

$$I_n = \frac{S (VA)}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (2-38)$$

Setelah itu KHA (kuat hantar arus) pada kabelnya terlebih dahulu dihitung dengan cara (Sumardjati, 2008 : 49) ,

$$KHA = 1,25 \times I_n \quad (2-39)$$

Faktor keamanan sebesar 1,25 digunakan dalam penentuan ukuran penghantar kabel. Setelah itu dapat ditentukan ukuran kabel yang sesuai dengan melihat pada bagian lampiran.

2.7. Pengaplikasian Proteksi Petir

Surja petir dapat menimbulkan permasalahan pada sistem dan peralatan – peralatan baik pada industri, perkantoran, dan rumah tangga. Peralatan kontrol pada industri sangat peka terhadap lonjakan tegangan dan arus (surja) yang berasal dari

gangguan internal maupun eksternal. Untuk mengamankan peralatan – peralatan tersebut digunakan konsep perlindungan petir mulai dari zoning, sistem proteksi petir, dan bonding ekipotensial.

Pengaplikasian sistem proteksi petir perlu diterapkan pada sistem - sistem berikut: *frequency converter*, penerangan jalan umum (PJU), *biogas plants*, *power plants*, pengolahan limbah, jaringan listrik, jaringan teknologi informasi, antena TV, sinyal suara, *modern agriculture*, *video surveillance* (CCTV), *public address*, alarm kebakaran, jaringan komputer, akses telekomunikasi, dan sistem penggerak (motor listrik) (DEHN,2007: 227).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan metode penelitian yang akan dilakukan pada proses perancangan sistem proteksi petir internal di Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang. Metode penelitian yang digunakan dalam pengerjaan skripsi ini meliputi :

1. Deskripsi Tempat dan Waktu Penelitian
2. Studi Literatur
3. Pengambilan Data
4. Diagram Alir Perancangan
5. Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal
6. Penarikan kesimpulan dan Saran

3.1. Deskripsi Tempat dan Waktu Penelitian

Penyusunan skripsi ini dilakukan bertujuan untuk melakukan perancangan sistem proteksi petir internal di Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang pada bulan September hingga Desember 2013. Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang masih dalam tahap perencanaan pembangunan. Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang akan dibangun berada dalam satu kawasan dengan Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang. Sarana lain di sekitar Condotel Borobudur adalah adanya Pasar Tradisional Blimbing, Komplek Pertokoan, Malang Trade Center, dan Kawasan Apartemen Borobudur.

Perkiraan kondisi kelistrikan yang akan diterapkan pada gedung adalah sebagai berikut : Suplai listrik utama untuk Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang berasal dari PLN dan di suplai dari transformator distribusi 1.5 MVA 20kV/380V, 50 Hz, 3 fasa yang akan terbagi pada 5 blok kawasan. Sedangkan kondisi kelistrikan pada Gedung Condotel Borobudur memiliki rating tegangan 220/380 V , 50 Hz, 3 fasa. Gedung Condotel Borobudur ini memiliki 15 lantai dan masing – masing lantai memiliki 5 – 35 ruangan didalamnya dengan fungsi yang berbeda – beda. Ruang panel utama sebagai ruang kontrol kelistrikan utama terletak pada lantai 1. Tetapi pada tiap lantai juga memiliki ruang panel yang berfungsi sebagai ruang kontrol kelistrikan pada tiap lantai tersebut. Pada tiap ruangan juga memiliki stop kontak dan socket untuk keperluan teknologi informasi yang tergantung dari fungsi ruangan itu sendiri.

3.2. Studi Literatur

Studi literatur yang akan dilakukan adalah mempelajari dan memahami tentang parameter petir, distribusi arus petir, mekanisme masuknya surja pada bangunan, zona proteksi petir, mekanisme kopling, arester, dan bonding ekipotensial.

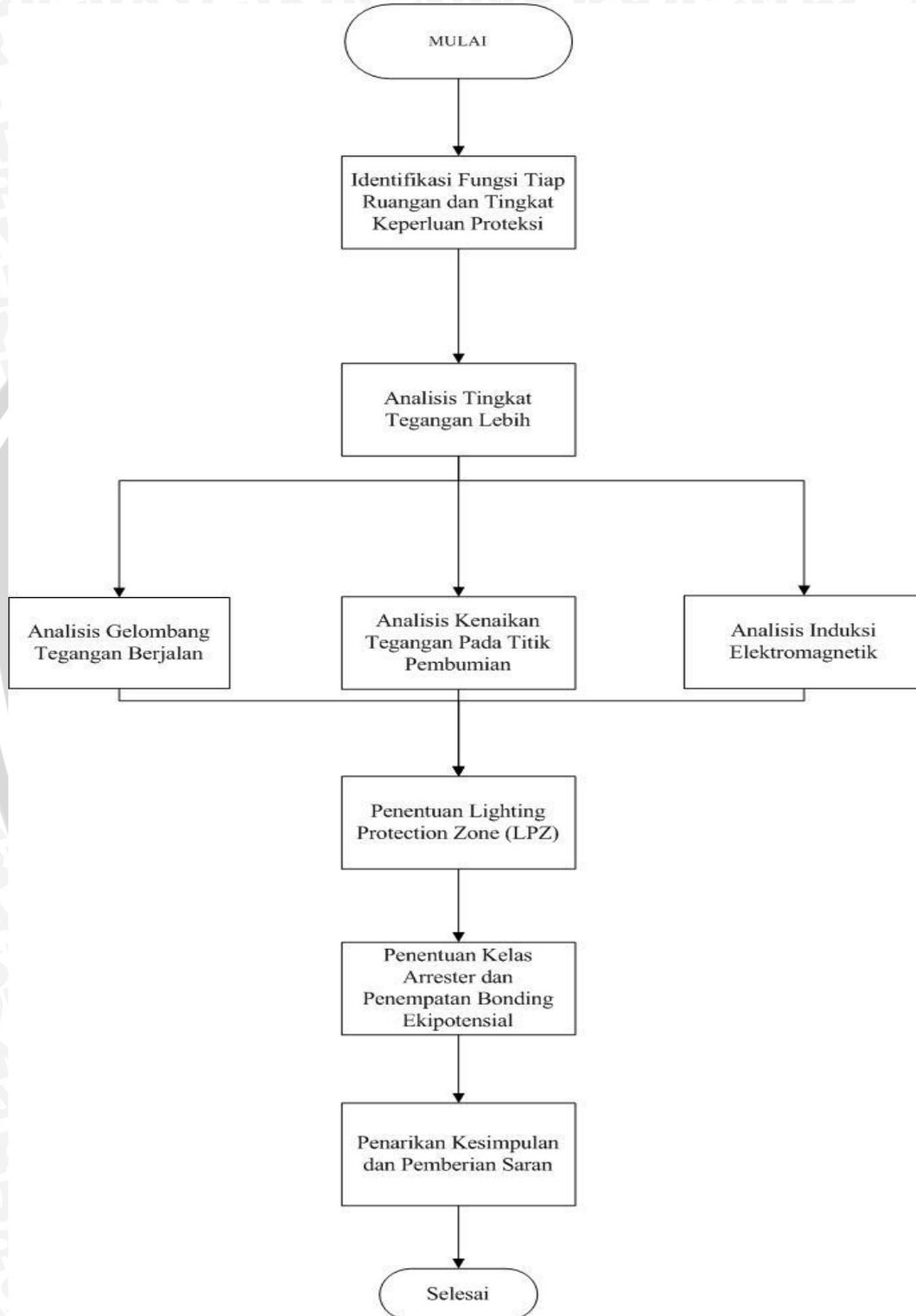
3.3. Pengambilan Data

Data – data yang diperlukan dalam proses pengerjaan skripsi ini hanya menggunakan data sekunder. Data – data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, dan data perencanaan Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Prinsip penentuan tingkat tegangan lebih yang pertama adalah perhitungan gelombang tegangan berjalan. Perhitungan gelombang tegangan berjalan dapat dilakukan dengan acuan data impedansi kabel dan impedansi beban pada jaringan catu daya dan jaringan teknologi informasi. Karena kondisi gedung yang masih dalam tahap perencanaan maka tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran secara langsung, oleh karena itu untuk menentukan impedansi kabel dan beban digunakan standar yang umum digunakan.
- b. Prinsip penentuan tingkat tegangan lebih yang kedua adalah analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian. Analisis ini akan membutuhkan data parameter arus petir baik arus petir pertama maupun terusan (*subsequent*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2
- c. Prinsip penentuan tingkat tegangan lebih yang ketiga adalah perhitungan tegangan induksi. Data yang dibutuhkan adalah data parameter arus petir baik arus petir pertama maupun terusan (*subsequent*), spesifikasi konduktor penyalur arus petir, dan konfigurasi.
- d. Prinsip penentuan kelas arester berdasarkan sistem tegangan yang digunakan dan besarnya tingkat tegangan lebih pada tiap LPZ. Penentuan ini memerlukan data BIL standar dari peralatan listrik dan elektronik yang digunakan.
- e. Data perencanaan Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang meliputi denah lokasi pembangunan, gambar arsitek denah tiap bangunan beserta ukuran.

3.4. Diagram Alir Perancangan

Secara garis besar perancangan sistem proteksi petir internal di Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang dapat digambarkan pada diagram alir pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1. Diagram Alir Perancangan

3.5. Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal

3.5.1. Identifikasi Fungsi dan Keperluan Proteksi Tiap Ruang

Menentukan fungsi dan keperluan proteksi tiap ruangan pada Condotel Borobudur didapat dari denah perencanaan Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang. Setelah didapatkan maka data tuliskan dalam bentuk tabel.

3.5.2. Menghitung Tingkat Tegangan Lebih

Untuk menghitung tingkat tegangan lebih yang masuk pada gedung akan dilakukan dengan tiga metode analisis yaitu, analisis gelombang tegangan berjalan, analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian, dan analisis tegangan induksi.

3.5.2.1. Analisis Gelombang Tegangan Berjalan

Untuk menghitung tegangan lebih yang akan masuk pada tiap ruangan pada gedung terlebih dahulu menghitung impedansi surja pada kawat saluran udara 20 kV dan trafo distribusi yang mensuplai gedung. Untuk mendapatkan data tersebut maka mengacu pada Tabel 2.3 serta Persamaan (2-18). Kemudian akan dilakukan perhitungan koefisien pantulan menggunakan Persamaan (2-26), dan koefisien terusan menggunakan Persamaan (2-27). Selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat ketahanan impuls petir terhadap tingkat isolasi dasar (*TID*) transformator dengan Persamaan (2-20) dan Tabel 2.6 yang dilanjutkan perhitungan gelombang berjalan yang masuk pada Panel Utama Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang menggunakan Persamaan (2-31) hingga (2-33).

Perkiraan kondisi kelistrikan pada Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang diperlukan untuk dapat memperkirakan banyaknya percabangan dari sisi *Main Distribution Panel* (MDP) hingga sisi *Sub Distribution Panel* (SDP). Kemudian juga mencari impedansi surja tiap kabel yang terhubung dari sisi MDP hingga SDP menggunakan Persamaan (2-19) dan Tabel 2.4 dan 2.5. Selanjutnya akan didapatkan berapa besar koefisien terusan tiap percabangan menggunakan Persamaan (2-31). Perhitungan akan dilakukan dari sisi MDP hingga SDP pada setiap layanan kelistrikan.

3.5.2.2. Analisis Kenaikkan Tegangan Pada Titik Pembumian

Perhitungan kenaikan tegangan pada titik pembumian dihitung menggunakan Persamaan (2-3). Data yang diperlukan adalah data tingkat proteksi petir yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

3.5.2.3. Analisis Induksi Elektromagnetik

Perhitungan tegangan induksi diawali dengan mencari jarak minimal antara *Down Conductor* (dc) dengan gedung menggunakan Persamaan (2-37). Besar kenaikan arus rata – rata akan dapat diketahui menggunakan Persamaan (2-14) dan data pada Tabel 2.2. Kemudian langkah selanjutnya adalah mencari besar koefisien pada tiap loop yang terbentuk. Ada 3 model loop yang terbentuk antara lain adalah loop yang terbentuk antara konduktor dari instalasi listrik dengan *down conductor* dari sistem proteksi pada bar bonding ekipotensial dihitung dengan Persamaan (2-10). Selanjutnya adalah loop yang terbentuk antara dua kabel jaringan instalasi yang berada di dalam gedung yang terlindungi dari sambaran secara langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-11). Sedangkan pada loop yang timbul akibat kabel telekomunikasi dan teknologi informasi dibedakan menjadi bagian vertikal dan horizontal, untuk mengetahui koefisien loopnya dapat mengacu pada Gambar 2.8 dan 2.9. Kemudian tegangan induksi dihitung dengan Persamaan (2-12) dan (2-13). Setelah seluruh tegangan induksi yang terjadi pada seluruh loop dihitung, kemudian hasil perhitungannya dituliskan dalam bentuk tabel.

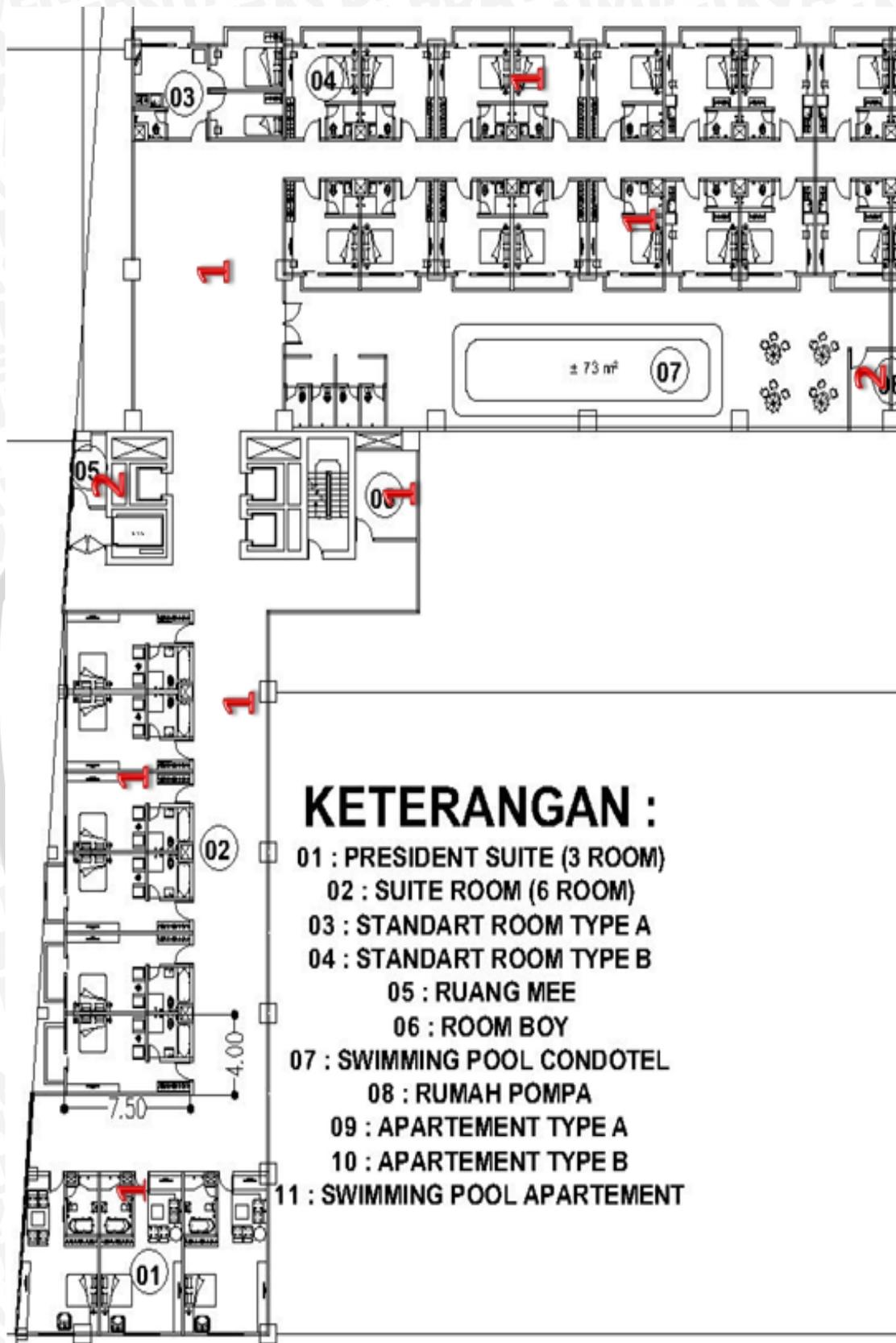
3.5.3. Analisis Lightning Protection Zone (LPZ)

Analisis zona proteksi petir dilakukan dengan cara mengkategorikan dan membagi tiap ruang pada tiap lantai pada gedung terhadap tingkat LPZ nya. Dasar dari pembagian ini berdasarkan pada Gambar 2.19 dan konsep pembagian LPZ. setelah itu data yang telah didapat dituliskan dalam bentuk tabel. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan salah satu contoh pembagian zona proteksi petir (LPZ) pada lantai 6 Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

3.5.4. Analisis Penentuan Kelas Arestor dan Penempatan Bonding Ekipotensial

Analisis penentuan kelas arester mengacu pada Tabel 2.8 yang disesuaikan dengan tingkat LPZ pada tiap layanan kelistrikan pada setiap lantai dan tingkat keperluan proteksi pada tiap ruangnya yang didapatkan dari data primer. Setelah diketahui kebutuhan kelas aresternya pada tiap layanan kelistrikan dan tiap ruangan maka hasilnya dituliskan dalam bentuk tabel.

Analisis penempatan bonding ekipotensial mengacu pada penempatan arester karena arester akan terhubung ke bonding ekipotensial pada satu titik. Tidak hanya arester jaringan pipa gas dan pelat logam yang memicu adanya bahaya juga harus



Gambar 3.2 Pengkategorian LPZ Pada Lantai 6
 Sumber : UUK – FTUB : 2013

dihubungkan dengan bonding ekipotensial yang berfungsi untuk menyamakan tegangan pada seluruh bagian ketika terjadi lonjakan tegangan secara singkat. Keseluruhan dari hasil perancangan sistem akan digambarkan dalam bentuk skema proteksi petir internal pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

3.6. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan perhitungan dan analisis sistem proteksi petir internal pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang maka tahap selanjutnya adalah memberikan kesimpulan dari keseluruhan hasil analisis. Karena pengerjaan skripsi ini hanya untuk pengerjaan perencanaan jangka pendek maka perlu adanya penyempurnaan pada skripsi ini dengan adanya pemberian saran. Saran yang diberikan akan berguna untuk pengaplikasian sistem proteksi petir ini dalam masa mendatang.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dibahas tentang analisis perencanaan sistem proteksi petir internal pada Gedung Condotel Borobudur. Pembahasan meliputi identifikasi penentuan sifat dan fungsi ruangan, perhitungan tingkat tegangan lebih, analisis zona proteksi petir, penentuan kelas arester serta penempatan bonding ekipotensial yang diperlukan dalam perencanaan gedung Condotel Borobudur.

4.1. Identifikasi Lokasi Pembangunan

Gedung Condotel Borobudur akan dibangun berada satu kawasan dengan Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang. Terletak di Kecamatan Blimbing Kota Malang Jawa Timur. Pada Gambar 4.1 diperlihatkan denah lokasi pembangunan dari Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang.

4.2. Identifikasi Penentuan sifat dan Fungsi Ruang

Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keperluan proteksi pada tiap – tiap ruangan dalam Gedung Condotel Borobudur. Pada gedung ini memiliki ruangan yang banyak dan tiap ruangan memiliki fungsi yang berbeda. Sehingga dengan mengidentifikasi tingkat keperluan proteksinya akan didapatkan ruangan – ruangan yang memerlukan proteksi atau tidak yang akan di tunjukkan pada Tabel 4.1. Ruang – ruang yang dikategorikan perlu diproteksi mengacu pada Sub-bab 2.7.

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 ada beberapa ruangan yang memerlukan proteksi lebih dibandingkan dengan ruangan yang lain seperti ruang MEE, ruang penyimpanan gas, ruang motor pompa, ruang motor lift, ruang accounting, ruang resepsionist hotel, dan ruang keamanan. Pada ruang – ruang tersebut terdapat peralatan listrik dan elektronik yang menunjang kegiatan operasional dari Condotel Borobudur sehingga diharuskan memiliki tingkat proteksi yang lebih dari ruangan yang lain.

brosur ini merupakan alat bantu pemasaran,
bukan bagian dari kontrak jual beli.
semua ilustrasi untuk memperjelas
penyampaian informasi
dan desain dapat berubah sewaktu-waktu
sesuai dengan kondisi lapangan

Peta Lokasi


**Bandara
Abd.Saleh**

Dari Kota Surabaya

JL. L.A. Sucipto

JL. A. Yani

JL. Borobudur

JL. SoekarnoHatta

Dari Kota Malang

STIE Malangkucecwara

WIDYA GAMA

STIMIK ASIA

UNIBRAW

MIC MALANG TRADE CENTER



Lokasi

MARKETING OFFICE
JL. Borobudur

Gambar 4.1. Peta Lokasi Pembangunan Kawasan Pasar Terpadu
Sumber : www.karyaindahsukses.com

Tabel 4.1. Tabel Penentuan Sifat dan Fungsi Ruang

No	Lantai	Ruangan	Fungsi	Keperluan Proteksi
1	Outdoor	Parkiran Eksekutif	Parkir Mobil	Tidak Perlu
2	1	Valet		Tidak Perlu
3	1	Minishop	Toko	Tidak Perlu
4	1	Ruang Accounting	Kantor	Perlu
5	1	Resepsionist Hotel	Pelayanan	Perlu
6	1	Lobby Hotel	Ruang Tunggu	Tidak Perlu
7	1	Coffe Shop	Tempat istirahat	Tidak Perlu
8	Seluruh Lantai	Toilet	Kamar kecil	Tidak Perlu
9	1,3	Food Storage	Dapur	Tidak Perlu
10	1,5	Ruang Keamanan	Ruang Security	Perlu
11	1	Ruang Penyimpanan Barang	Gudang Barang	Tidak Perlu
12	Seluruh Lantai	Ruang MEE	Panel Kelistrikan	Perlu
13	2	Meeting Room	Ruang Pertemuan	Tidak Perlu
14	2	Training Room	Ruang Pelatihan	Tidak Perlu
15	2	Rental Office	Kantor	Tidak Perlu
16	2,4,5	Mushola	Tempat Sholat	Tidak Perlu
17	2,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	Room Boy	Tempat Pegawai Kebersihan	Tidak Perlu
18	2,4,5	Pantry	Dapur Kering	Tidak Perlu
19	2	Ruang Laundry	Tempat Cuci Pakaian	Tidak Perlu
20	3	Restaurant	Tempat Makan	Tidak Perlu
21	3,5	Gas Storage	Penyimpanan Gas	Perlu
22	3	Public Area	Istrirahat	Tidak Perlu
23	4,5	Convention Hall	Ruang Pertemuan	Tidak Perlu
24	5	Tandon Air Transfer	Penyimpanan Air	Tidak Perlu
25	5,6	Ruang Pompa	Tempat Motor Pompa	Perlu
26	6	President Suite Room	Kamar Hotel	Tidak Perlu
27	6	Suite Room	Kamar Hotel	Tidak Perlu
28	6,7,8,9,10,11,12,13,14	Standart Room Type - A	Kamar Hotel	Tidak Perlu
29	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15	Standart Room Type - B	Kamar Hotel	Tidak Perlu
30	6	Swimming Pool	Kolam Renang	Tidak Perlu
31	15	Ruang Spa	Fasilitas Hotel	Tidak Perlu
32	15	Ruang Relaksasi	Fasilitas Hotel	Tidak Perlu
33	Atap	Ruang Motor Lift	Ruang Motor Lift	Perlu

4.3. Analisis Tingkat Tegangan Lebih

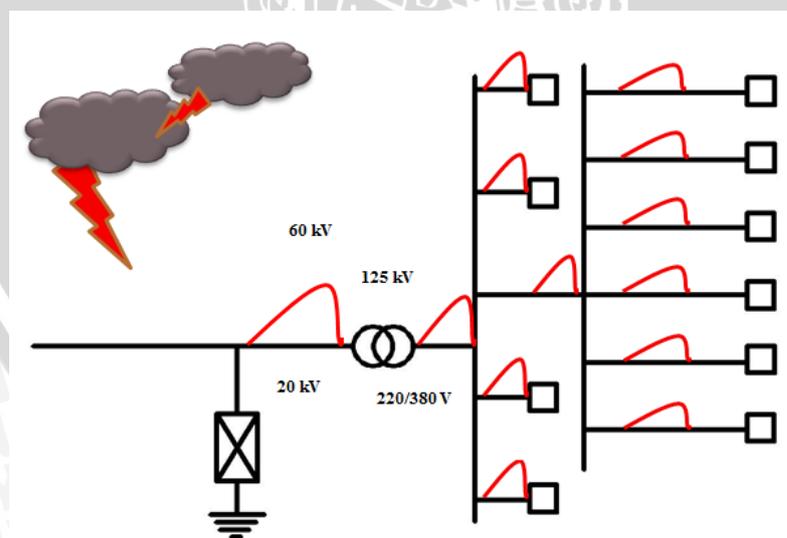
Penentuan tingkat tegangan lebih pada perancangan sistem proteksi petir internal Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang terdapat tiga metode analisis yaitu, analisis

gelombang tegangan berjalan, analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian, dan analisis tegangan induksi elektromagnetik.

4.3.1. Perhitungan dan Analisis Gelombang Tegangan berjalan

Penentuan gelombang tegangan berjalan bertujuan untuk mengetahui gelombang berjalan yang akan masuk pada peralatan listrik dan elektronik bila terjadi sambaran petir tidak langsung. Hasil dari perhitungan gelombang tegangan berjalan yang di dapat akan digunakan untuk penentuan peralatan pemotong gelombang. Pada Gambar 4.2 akan ditunjukkan simulasi saat terjadi konduksi sambaran tidak langsung pada gedung yang mengakibatkan timbulnya gelombang tegangan berjalan.

Saat terjadi sambaran pada saluran udara 20 kV, kawat saluran udara 20 kV akan dirambati oleh gelombang surja (tegangan dan arus). Gelombang surja untuk keperluan analisis gelombang berjalan telah distandarisasi, yaitu memiliki kecuraman muka $1,2 \mu\text{s}$ dan waktu punggung gelombang sebesar $50 \mu\text{s}$ atau disebut sebagai gelombang impuls tipe $1,2/50 \mu\text{s}$. Besar dari gelombang tegangan berjalan tergantung dari arus puncak petir dan kedekatan saluran terhadap titik sambaran petir. Gelombang tegangan tersebut akan terpotong oleh arester jika telah mencapai atau melampaui dari tegangan kerja arester yang terpasang pada saluran. Kemudian sisa tegangan yang telah terpotong akan masuk ke dalam gardu tegangan tinggi.



Gambar 4.2 Ilustrasi Terjadinya Konduksi Saat Terjadi Sambaran Tidak Langsung

Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang mendapatkan suplai listrik dari PLN melalui trafo distribusi 20 kV. Kemudian suplai listrik akan terbagi kepada lima kawasan yaitu Kawasan Condotel Borobudur, Kawasan Apartemen Borobudur, Kawasan Malang Trade Center, Kawasan Pasar Tradisional Utara, dan Kawasan Pasar Tradisional Selatan. Dengan demikian gelombang surja akan merambat melalui kawat saluran udara 20 kV kemudian menuju trafo distribusi sebelum masuk ke panel distribusi tegangan rendah yang membagi lima kawasan yang terletak pada ruang genset pada lantai dasar. Gelombang surja yang merambat dari kawat saluran udara 20 kV memiliki impedansi surja yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-18). Pada saluran kawat udara ini memiliki nilai $h = 8,5$ m dan $r = 5,5$ mm. Sehingga akan didapatkan nilai impedansi surja sebagai berikut :

$$Z = 60 \ln \frac{2h}{r} \Omega$$

$$Z = 60 \ln \frac{2 \times 8,5}{5,5 \times 10^{-3}} \Omega$$

$$Z = 482,2 \Omega$$

Sehingga impedansi surja kawat saluran udara 20 kV yang digunakan dalam analisis ini adalah sebesar 500Ω . Kemudian gelombang surja akan merambat menuju trafo distribusi tegangan menengah berdaya 1500 kVA yang memiliki impedansi tinggi berdasarkan Tabel 2.4 sebesar 6000Ω . Sebelum gelombang sampai pada trafo, gelombang akan dipotong oleh peralatan pemotong tegangan (arester) dengan tegangan kerja sebesar 60 kV. Gelombang surja ketika sampai pada trafo akan mengalami pemantulan dan terusan tegangan yang diakibatkan karena adanya peralihan nilai impedansi antara kawat saluran udara dengan impedansi trafo dengan koefisien pantulan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-26) dengan nilai Z_1 adalah nilai impedansi surja dari kawat saluran udara dan Z_2 adalah impedansi trafo. Maka koefisien pantulan akan hitung sebagai berikut:

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\Gamma = \frac{6000 - 500}{6000 + 500} = 0,846$$

Dan dengan menggunakan Persamaan (2-27) maka akan didapatkan koefisien terusan sebesar,

$$T = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$T = \frac{2 \times 6000}{6500} = \frac{12000}{6500} = 1,846$$

Sedangkan untuk tingkat tegangan ketahanan impuls petir terhadap TID transformator 20 kV ditentukan dengan Persamaan (2-20) sebagai berikut:

$$U_{max} = U_{nominal} \times 1,1$$

$$U_{max} = 20 \times 1,1 = 22 \text{ kV}$$

Dengan menggunakan Tabel 2.6 akan didapati bahwa apabila nilai $U_{max} = 22 \text{ kV}$ maka tegangan impuls petir sebesar 125 kV. Dengan demikian nilai puncak gelombang yang diteruskan melalui belitan trafo pada sisi tegangan tinggi dengan nilai impuls petir sebesar 125 kV sesuai dengan Persamaan (2-33) sebesar,

$$u_{pt}(t) = T \times u_i(t)$$

$$u_{pt}(t) = 1,846 \times 125 \text{ kV}$$

$$u_{pt}(t) = 230,75 \text{ kV}$$

Dengan menggunakan transformasi belitan, maka tegangan surja yang akan merambat pada belitan sisi tegangan rendah memiliki nilai puncak gelombang sebesar,

$$u_{st}(t) = \frac{380 \text{ V}}{20000 \text{ V}} \times u_{pt}(t)$$

$$u_{st}(t) = \frac{380 \text{ V}}{20000 \text{ V}} \times 230,75 \text{ kV}$$

$$u_{st}(t) = 4,4 \text{ kV}$$

Tegangan surja $u_{st}(t)$ akan merambat masuk menuju panel listrik yang membagi suplai kelistrikan pada ke lima kawasan yang ada pada Kawasan Pasar Terpadu. Saat gelombang $u_{st}(t)$ terbagi menjadi lima maka nilai puncak gelombang tegangan akan mengecil dan landai karena mengalami perubahan impedansi sebesar (z'_2),

$$Z'_2 = \frac{Z_2}{\sum cabang}$$

$$Z'_2 = \frac{500}{5} = 100 \Omega$$

Sehingga koefisien pantulan sebesar,

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\Gamma = \frac{100 - 500}{100 + 500} = -0,667$$

dan koefisien terusan sebesar ,

$$T = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$T = \frac{2 \times 100}{100 + 500} = \frac{200}{600} = 0,333$$

Dengan demikian nilai puncak gelombang yang diteruskan adalah sebesar,

$$u_t(t) = T \cdot u_{st}(\text{kV})$$

$$u_t(t) = 0,33 \times 4,4 \text{ kV} = 1,47 \text{ kV}$$

Gelombang yang diteruskan tersebut selanjutnya akan masuk ke dalam 5 panel MDP tiap kawasan karena masing – masing kawasan memiliki panel MDP sendiri. Karena dalam skripsi ini yang dibahas hanya perancangan sistem proteksi petir internal pada Condotel Borobudur, maka perhitungan tegangan lebih yang akan dilakukan hanya gelombang yang masuk pada Condotel Borobudur. Setelah didapatkan gelombang tegangan yang masuk pada Condotel Borobudur maka selanjutnya dilakukan perhitungan pada SDP – SDP di masing – masing MDP.

Sebelum melanjutkan perhitungan gelombang tegangan berjalan perlu diketahui kondisi kelistrikan dari Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Gedung Condotel Borobudur memiliki MDP utama yang terletak pada ruang MEE lantai 1 yang melayani kelistrikan untuk 15 lantai. Pada MDP

ini bertugas melayani kelistrikan seperti penerangan, stop kontak, *Air Conditioner* (AC), exhaust kebakaran, motor lift, dan motor pompa.

Kemudian dari sub MDP penerangan, stop kontak, *Air Conditioner* (AC), exhaust kebakaran, motor lift, dan motor pompa masing – masing akan dibagi kedalam sebuah SDP yang akan terhubung dengan beban. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gelombang tegangan berjalan muncul pertama kali saat terjadi sambaran tidak langsung dari kawat saluran udara 20 kV menuju ke trafo distribusi tegangan rendah kemudian masuk kedalam panel MDP Kawasan Pasar Terpadu (e_1) kemudian terbagi dan masuk ke dalam MDP utama Condotel Borobudur (e_2). Selanjutnya gelombang akan terbagi kedalam 6 pelayanan besar yang masing – masing akan terbagi kembali menjadi beberapa pelayanan listrik yang berbeda – beda. Gelombang surja (arus dan tegangan) yang berjalan akan ikut terbagi dan masuk ke masing – masing sub MDP (e_3). Hal yang sama juga akan terjadi saat sub MDP terbagi dan masuk ke dalam SDP (e_4).

Perlu juga diketahui nilai impedansi surja pada tiap kabel yang menghubungkan antara sisi MDP sampai menuju beban. Untuk mendapatkan data jenis kabel beserta ukuran yang digunakan terlebih dahulu mencari besarnya nilai KHA nya. Untuk mendapatkan nilai KHA maka perlu diketahui terlebih dahulu besar arus nominal yang akan mengalir pada penghantar tersebut menggunakan persamaan (2-38). Pada Gedung Condotel terdapat 6 grup pelayanan beban diantaranya adalah penerangan, stop kontak, AC, *exhaust* kebakaran, motor pompa air, dan motor lift. Untuk dapat menghitung arus nominal yang mengalir pada tiap penghantar maka terlebih dahulu menghitung perkiraan besarnya daya yang akan digunakan pada tiap pelayanan beban tersebut.

Daya nominal pada beban penerangan dapat dihitung menggunakan perhitungan secara asumsi kebutuhan daya penerangan per satuan meter persegi (watt/m^2) dikalikan dengan luas wilayah gedung pada tiap lantai, sehingga akan di dapat kebutuhan daya nominal khusus untuk penerangan pada tiap lantai. Perhitungan dimulai dari mencari luasan gedung pada tiap lantai. Pada Gedung Condotel lantai 1 – 5 memiliki luas area yang sama yaitu sebesar $229,62 \text{ m}^2$, sedangkan pada lantai 6 – 15 memiliki luas area 432 m^2 . Besar kebutuhan daya penerangan per satuan meter persegi (watt/m^2) digunakan $15 \text{ watt}/\text{m}^2$. Maka besar daya penerangan yang dibutuhkan pada lantai 1 sebesar ,

$$P = \text{Luas (m}^2\text{)} \times 15 \text{ watt}/\text{m}^2$$

$$P = 229,62 \text{ m}^2 \times 15 \text{ watt/m}^2$$

$$P = 3444,3 \text{ watt}$$

diasumsikan nilai pf sebesar 0,9 maka,

$$S \text{ (VA)} = \frac{3444,3}{0,9} = 3827 \text{ VA}$$

untuk daya nominal penerangan pada seluruh lantai dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut,

Tabel 4.2 Tabel Rekapitulasi Daya Beban Penerangan

Lantai	Luas (m ²)	IKE (Watt/m ²)	P (watt)	pf	S (VA)
1	229,62	15	3444,3	0,9	3827
2	229,62	15	3444,3	0,9	3827
3	229,62	15	3444,3	0,9	3827
4	229,62	15	3444,3	0,9	3827
5	229,62	15	3444,3	0,9	3827
6	432	15	6480	0,9	7200
7	432	15	6480	0,9	7200
8	432	15	6480	0,9	7200
9	432	15	6480	0,9	7200
10	432	15	6480	0,9	7200
11	432	15	6480	0,9	7200
12	432	15	6480	0,9	7200
13	432	15	6480	0,9	7200
14	432	15	6480	0,9	7200
15	432	15	6480	0,9	7200

Pada Tabel 4.2 diatas diketahui bahwa pada beban penerangan lantai 6 – 15 membutuhkan daya yang lebih besar dari lantai 1 – 5 itu disebabkan karena luas wilayah pada lantai 6 – 15 lebih besar. Sehingga untuk penentuan ukuran penghantar dipilih kebutuhan daya yang paling besar sehingga didapat arus nominal yang akan mengalir pada penghantar adalah sebesar,

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{7200}{\sqrt{3} \times 380} = 10,939 \text{ A}$$

sehingga diketahui arus maksimum dari SDP penerangan tiap lantai menuju panel MCB penerangan pada tiap ruang sebesar 10,939 A. Dari arus nominal, mengacu pada persamaan (2-39) akan diperoleh KHA sebesar $KHA = 1,25 \times 10,939 \text{ A} = 13,67 \text{ A}$. Menurut lampiran 4 maka digunakan kabel jenis NYY 4x2,5 mm². Tetapi untuk mengantisipasi adanya penambahan beban di masa mendatang dan mengurangi adanya jatuh tegangan maka dipilih konduktor yang memiliki ukuran lebih besar yaitu NYY 4x4 mm². Sedangkan arus nominal yang melewati konduktor dari panel utama Condotel

menuju MDP penerangan dapat dihitung seperti cara diatas sehingga didapatkan konduktor yang dipilih adalah NYY 4x50 mm².

Daya pada beban stop kontak dapat dihitung dengan cara menghitung jumlah titik stop kontak yang ada kemudian dikalikan dengan besarnya kapasitas daya pada stop kontak. Stop kontak yang digunakan memiliki daya hantar maksimum sebesar 250 VA. Untuk menentukan jumlah titik stop kontak tiap lantai dapat mengacu pada diagram satu garis sistem kelistrikan pada Gedung Condotel yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Sebagai contoh untuk menghitung besarnya arus nominal yang akan mengalir dari SDP stop kontak pada lantai 7 menuju panel MCB stop kontak tiap ruangannya maka perlu diketahui jumlah daya nominal penggunaan beban stop kontak pada lantai 7 yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 yaitu sebesar,

$$S_{lantai\ 7}(VA) = \text{Jumlah titik} \times \text{Daya Stop Kontak (VA)}$$

$$S_{lantai\ 7}(VA) = 35 \times 250\ VA = 8750\ VA$$

sehingga arus nominal yang mengalir adalah sebesar,

$$I_n = \frac{S_{lantai\ 7}(VA)}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{8750\ VA}{\sqrt{3} \times 380\ V} = 13,3\ A$$

Tabel 4.3 Tabel Rekapitulasi Daya Beban Stop Kontak

Lantai	Titik	Daya Stop Kontak (VA)	S (VA)
1	11	250	2750
2	13	250	3250
3	6	250	1500
4	6	250	1500
5	8	250	2000
6	28	250	7000
7	35	250	8750
8	35	250	8750
9	35	250	8750
10	35	250	8750
11	35	250	8750
12	35	250	8750
13	35	250	8750
14	35	250	8750
15	22	250	5500

dari arus nominal daya stop kontak pada lantai 7 maka dapat dicari besar KHA = 1,25 x 13,3 A = 16,25 A, dilihat pada lampiran maka digunakan kabel berinti 2,5 mm². Namun lebih baik dipilih kabel NYY 4x4 mm² karena mengantisipasi adanya

penambahan beban dimasa mendatang dan untuk mengurangi adanya jatuh tegangan. Sedangkan besar arus nominal yang mengalir pada panel utama Condotel hingga MDP Stop kontak dapat dihitung dengan cara yang sama sehingga dipilih kabel NYY 4x70 mm².

Selanjutnya adalah daya nominal tiap lantai pada beban *Air Conditioner* besarnya ditunjukkan pada Tabel 4. 4 berikut,

Tabel 4.4 Tabel Rekapitulasi Daya Beban *Air Conditiner*

Lantai	Jumlah	Daya (1 pK)	Daya Total (watt)	pf	Stotal (VA)
1	3	736	2208	0,9	2453,3333
2	7	736	5152	0,9	5724,4444
3	3	736	2208	0,9	2453,3333
4	3	736	2208	0,9	2453,3333
5	24	736	17664	0,9	19626,667
6	33	736	24288	0,9	26986,667
7	33	736	24288	0,9	26986,667
8	33	736	24288	0,9	26986,667
9	33	736	24288	0,9	26986,667
10	33	736	24288	0,9	26986,667
11	33	736	24288	0,9	26986,667
12	33	736	24288	0,9	26986,667
13	33	736	24288	0,9	26986,667
14	33	736	24288	0,9	26986,667
15	25	736	18400	0,9	20444,444

Dari Tabel 4.4 ditunjukkan bahwa lantai 6 memiliki daya paling besar disebabkan memiliki jumlah ruang yang paling banyak. Untuk menghitung besar arus nominal yang melalui SDP *Air Conditioning* lantai 6 menuju panel MCB menggunakan Persamaan (2-38) dan didapat pada tiap ruang sebesar,

$$I_n = \frac{S_{lantai\ 6}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{26986,667\ (VA)}{\sqrt{3} \times 380\ V} = 41\ A$$

dari arus nominalnya maka dapat dihitung KHA = 1,25 x 41 = 51,25 A, maka sesuai dengan lampiran 4 digunakan kabel berinti 6 mm², tetapi dipilih kabel NYY 4x10 mm² untuk mengantisipasi adanya penambahan beban dan mengurangi jatuh tegangan. Sedangkan arus nominal yang melewati MDP *Air Conditioner* dapat dihitung dengan cara yang sama dan dipilih kabel NYY 4x400 mm².

Pada beban *Exhaust* kebakaran daya nominal tiap lantai ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut,

Tabel 4.5 Tabel Rekapitulasi Daya Beban *Exhaust* kebakaran

Lantai	Jumlah	Daya (watt)	<i>pf</i>	S total (VA)
1	9	37	0,9	370
2	12	37	0,9	493,33333
3	8	37	0,9	328,88889
4	6	37	0,9	246,66667
5	6	37	0,9	246,66667
6	26	37	0,9	1068,8889
7	35	37	0,9	1438,8889
8	35	37	0,9	1438,8889
9	35	37	0,9	1438,8889
10	35	37	0,9	1438,8889
11	35	37	0,9	1438,8889
12	35	37	0,9	1438,8889
13	35	37	0,9	1438,8889
14	35	37	0,9	1438,8889
15	22	37	0,9	904,44444

Dari Tabel 4.5 ditunjukkan bahwa lantai 7 memiliki daya paling besar disebabkan memiliki jumlah ruang yang paling banyak, maka besar arus nominal yang melalui SDP *Exhaust* Kebakaran lantai 7 menuju panel MCB tiap ruang sebesar,

$$I_n = \frac{S_{lantai\ 7}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{1438,89\ (VA)}{\sqrt{3} \times 380\ V} = 2,2\ A$$

dari arus nominalnya maka dapat dihitung $KHA = 1,25 \times 2,2 = 2,75\ A$, maka sesuai dengan lampiran 4 digunakan kabel berinti $2,5\ mm^2$, tetapi dipilih kabel NYY $4 \times 4\ mm^2$ untuk mengantisipasi adanya penambahan beban dimasa mendatang dan mengurangi jatuh tegangan. Sedangkan arus nominal yang melewati MDP *Exhaust* Kebakaran dapat dihitung dengan cara yang sama dan dipilih kabel NYY $4 \times 10\ mm^2$.

Pada beban motor pompa daya nominal tiap grup ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut,

Tabel 4.6 Tabel Rekapitulasi Daya Beban Motor Pompa

Grup	Jumlah	Daya (Watt)	<i>pf</i>	S total
1	6	746	0,9	4973,3333
2	6	746	0,9	4973,3333
3	6	746	0,9	4973,3333
4	2	746	0,9	1657,7778

Dari Tabel 4.6 ditunjukkan bahwa grup 1, 2, dan 3 memiliki daya paling besar disebabkan memiliki jumlah pompa yang paling banyak, maka untuk menghitung besar

arus nominal yang melalui SDP Motor Pompa grup 1 menuju panel MCB tiap pompa sebesar,

$$I_n = \frac{S_{grup 1}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{4973,33 (VA)}{\sqrt{3} \times 380 V} = 7,6 A$$

dari arus nominalnya maka dapat dihitung KHA = 1,25 x 7,6 = 9,5 A, maka sesuai dengan lampiran 4 digunakan kabel berinti 2,5 mm², tetapi dipilih kabel NYY 4x4 mm² untuk mengantisipasi adanya penambahan beban dimasa mendatang dan mengurangi jatuh tegangan. Sedangkan arus nominal yang melewati MDP Motor Pompa dapat dihitung dengan cara yang sama dan dipilih kabel NYY 4x10 mm².

Pada beban motor lift daya nominal tiap lift ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut,

Tabel 4.7 Tabel Rekapitulasi Daya Beban Motor Lift

Grup	Jumlah	Daya	pf	efisiensi	S total (VA)
1	1	13000	0,9	0,9	16049,38
2	1	13000	0,9	0,9	16049,38
3	1	13000	0,9	0,9	16049,38
4	1	13000	0,9	0,9	16049,38

Dari tabel 4.7 ditunjukkan bahwa seluruh motor lift memiliki daya yang sama yaitu 13 kW, serta cos phi dan efisiensi motor lift berturut turut sebesar 0,9 dan 0,9. Besar arus nominal yang melalui SDP Motor Lift grup 1 menuju panel MCB tiap Lift dapat dihitung menggunakan persamaan (2-38) sebesar,

$$I_n = \frac{S_{grup 1}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{16049,38 (VA)}{\sqrt{3} \times 380 V} = 25 A$$

dari arus nominalnya maka dapat dihitung KHA = 1,25 x 25 = 31,25 A, maka sesuai dengan lampiran 4 digunakan kabel berinti 6 mm², tetapi dipilih kabel NYY 4x10 mm² untuk mengantisipasi adanya penambahan beban dimasa mendatang dan mengurangi jatuh tegangan. Sedangkan arus nominal yang melewati MDP Motor Pompa dapat dihitung dengan cara yang sama dan dipilih kabel NYY 4x35 mm².

Sedangkan pada instalasi jaringan listrik pada tiap ruangan untuk seluruh ruang cukup digunakan kabel NYM 3 x 2,5 mm² karena pada tiap ruang instalasi daya listrik yang digunakan hanya satu fasa dan arus nominalnya tidak terlalu besar sehingga cukup menggunakan kabel berinti 2,5 mm².

Setelah mendapatkan seluruh data jenis kabel pada sistem kelistrikan Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang maka dapat digambarkan hasilnya pada Gambar 4.3. Jenis – jenis kabel beserta ukurannya ini yang akan digunakan dalam

penentuan besar impedansi surja tiap kabel. Jenis – jenis kabel yang menghubungkan antara MDP Panel Utama dengan MDP tiap pelayanan beban seluruhnya menggunakan kabel jenis NYY karena memang cocok untuk instalasi tenaga listrik dan kabel daya, berinti 4 karena memang pada jaringan ini masih termasuk jaringan tiga fasa. Karena tiap pelayanan beban arus nominalnya berbeda – beda maka tiap pelayanan beban penghantarnya berbeda – beda pula seperti yang telah di hitung pada perhitungan diatas. Maka untuk mendapatkan besar impedansi surja tiap kabel dapat dihitung dengan persamaan (2-19) dan melihat Tabel 2.4 dan 2.5.

Pada perhitungan impedansi surja sisi MDP penerangan hingga SDP penerangan yang menggunakan kabel NYY 4 x 50 mm², dengan melihat Tabel 2.4 didapatkan nilai $R = 35,5 \text{ mm}$ sedangkan nilai $r = \sqrt{\frac{\text{luas penampang konduktor}}{\pi}} = 4 \text{ mm}$, karena konduktor berbentuk lingkaran. Nilai impedansi surja pada konduktor ini mengacu pada Persamaan (2-19) adalah sebesar,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \times \ln \frac{R}{r} \Omega$$

Diasumsikan nilai $\epsilon = 4$, maka akan didapatkan,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{4}} \times \ln \frac{35,5}{4}$$

$$Z = 66 \Omega$$

Sehingga didapatkan nilai impedansi surja kabel yang terhubung dari MPD penerangan hingga SDP penerangan adalah sebesar 66 Ω .

Tabel 4.8 Tabel Perhitungan Impedansi Surja Sisi MDP Hingga SDP

Pelayanan	Jenis Kabel	A (mm ²)	r (mm)	R (mm)	Z (Ω)
Penerangan	NYY 4x50 mm ²	50	3,99	35,5	66
Stop Kontak	NYY 4x70 mm ²	70	4,72	39	63
Air Conditioner	NYY 4x400mm ²	400	11,29	82,5	60
Exhaust Kebakaran	NYY 4x10mm ²	10	1,78	21,5	75
Motor Pompa	NYY 4x10mm ²	10	1,78	21,5	75
Motor Lift	NYY 4x35mm ²	35	3,34	30	66

Sedangkan untuk kabel – kabel yang menghubungkan MDP seluruh pelayanan dan SDP seluruh pelayanan nilai impedansinya dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dengan nilai $\epsilon = 4$ diasumsikan sama untuk seluruh jenis kabel. Setelah itu hasil dari

perhitungan dimasukkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 diatas.

Sedangkan kabel yang menghubungkan antara SDP penerangan pada tiap lantai dengan pembatas arus (MCB) penerangan tiap ruang (SSDP). Besar nilai impedansi surjanya dapat dihitung dengan cara yang sama seperti di perhitungan sebelumnya sehingga didapat nilai impedansi surja sebesar,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} x \ln \frac{R}{r} \Omega$$

Diasumsikan nilai $\epsilon = 4$, maka akan didapatkan,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{4}} x \ln \frac{17,3}{1,13}$$

$$Z = 82 \Omega$$

Sedangkan untuk kabel – kabel yang menghubungkan SDP seluruh pelayanan tiap lantai dan SSDP seluruh pelayanan tiap ruangan nilai impedansinya dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dengan nilai $\epsilon = 4$ diasumsikan sama untuk seluruh jenis kabel. Setelah itu hasil dari perhitungan dimasukkan dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Tabel Perhitungan Impedansi Surja Sisi SDP Hingga SSDP

Pelayanan	Jenis Kabel	A (mm ²)	r (mm)	R(mm)	Z (Ω)
Penerangan	NY Y 4x4 mm ²	4	1,13	17,3	82
Stop Kontak	NY Y 4x4 mm ²	4	1,13	17,3	82
<i>Air Conditioner</i>	NY Y 4x10mm ²	10	1,78	21,5	75
<i>Exhaust Kebakaran</i>	NY Y 4x4mm ²	4	1,13	17,3	82
Motor Pompa	NY Y 4x4mm ²	4	1,13	17,3	82
Motor Lift	NY Y 4x10mm ²	10	1,78	21,5	75

Selanjutnya perlu diketahui rating arus pengaman, untuk mencarinya terlebih dahulu menghitung arus nominal yang mengalir pada rangkaian. Rating arus pengaman, besarnya adalah lebih besar atau sama dengan arus nominal. Pemasangan pengaman syarat – syarat seperti berikut :

1. Tidak ada elemen pengaman yang memutuskan hubungan selama rangkaian dalam keadaan normal.

2. Jika terjadi gangguan pengaman yang harus bekerja adalah pengaman yang terdekat dengan titik gangguan, sedangkan rangkaian yang tidak mendapat gangguan harus tetap dalam keadaan normal.
3. Apabila pengaman terdekat dari titik gangguan tidak dapat bekerja, maka pengaman pelindung harus bekerja.

Untuk mencari setting pengaman, terlebih dahulu menentukan arus nominal yang mengalir pada beban. Perhitungan dibawah ini adalah contoh untuk perhitungan penentuan rating pengaman pada bagian MDP penerangan menggunakan Persamaan (2-38).

$$I_n = \frac{S_{penerangan(total)}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{91135}{\sqrt{3} \times 380} = 138,5 \text{ A}$$

dari hasil perhitungan arus nominal diatas, maka pada bagian MDP penerangan akan dipasang pasang rating pengaman (MCB 3 P) sebesar 160 A. Pada Tabel 4.10 ditunjukkan penentuan rating pengaman (MCB 3 P) pada seluruh MDP pelayanan beban.

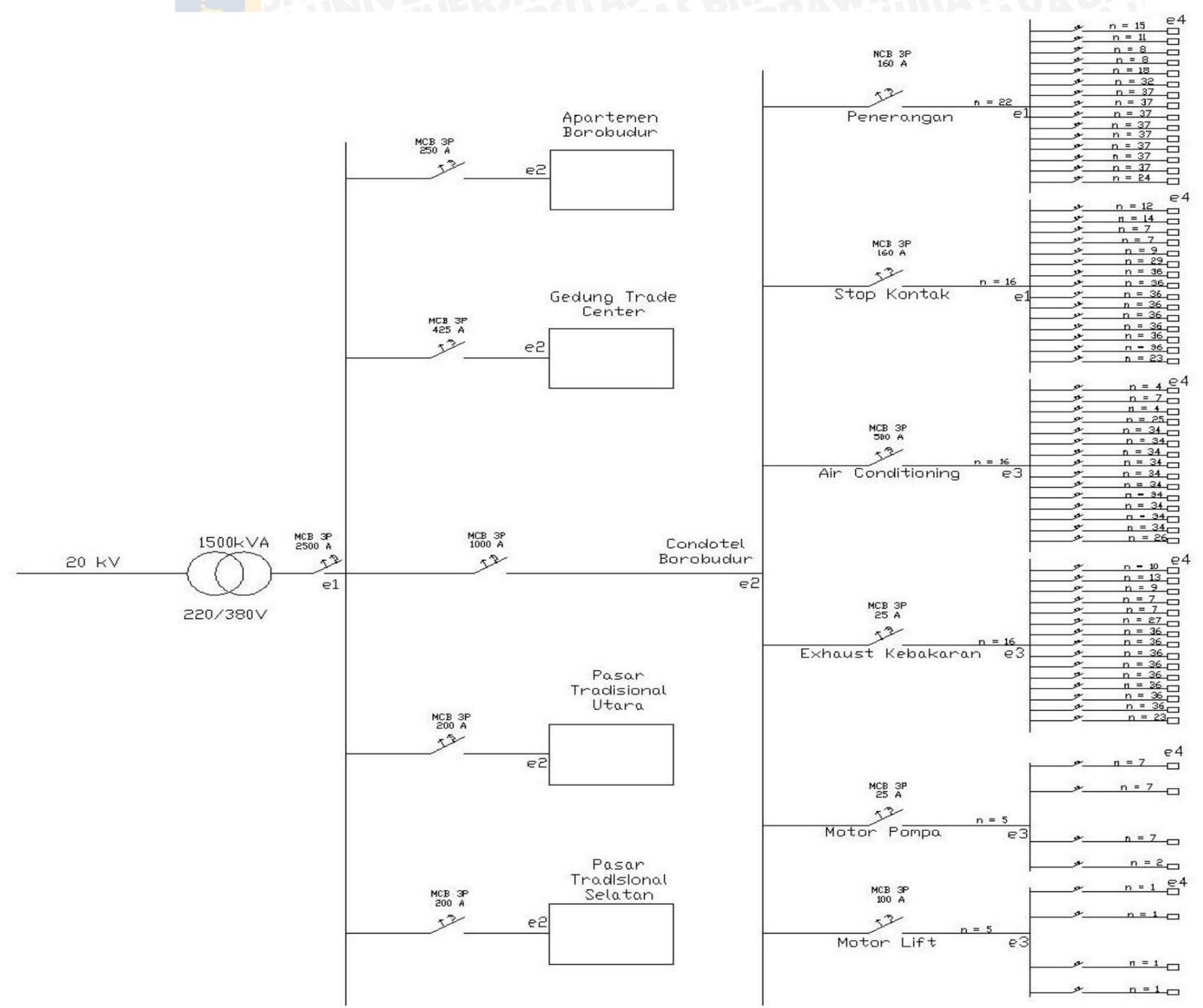
Tabel 4.10 Tabel Penentuan Rating Pengaman (MCB 3P) Pada Panel MDP

No	Panel	Daya (VA)	In (A)	Rating MCB (A)
1	Penerangan	91135	138.465	160
2	Stop Kontak	93500	142.059	160
3	<i>Air Conditioning</i>	296036	449.779	500
4	<i>Exhaust Kebakaran</i>	15170	23.0484	25
5	Motor Pompa	16577.8	25.1873	25
6	Motor Lift	64197.5	97.5381	100

Sedangkan untuk menentukan rating pengaman pada panel utama Gedung Condotel diketahui dengan cara menghitung daya terpasang pada gedung kemudian dapat dicari arus nominalnya sebesar,

$$I_n = \frac{S_{(total)}}{\sqrt{3} \times V_L} = \frac{576616}{\sqrt{3} \times 380} = 876 \text{ A}$$

Maka dari perhitungan diatas didapat besar rating pengaman (MCB 3P) yang dipakai adalah 1000 A. Penentuan besar rating pengaman berdasarkan ketentuan standart PLN yang dicantumkan pada lembar lampiran 5.



Gambar 4.3 Diagram Satu Garis Kelistrikan Pada Kawasan Pasar Terpadu

Sedangkan kabel yang menghubungkan antara sisi panel tiap pelayanan beban pada tiap ruang (SSDP) menuju beban menggunakan kabel NYM 3 x 2,5 mm², kecuali pada pelayanan beban AC menggunakan NYM 3 x 4 mm². Menggunakan Tabel 2.5 untuk kabel NYM 3 x 2,5 mm² didapatkan nilai R = 11 mm dan r = 0,9 mm, maka sama seperti perhitungan sebelumnya akan didapatkan nilai impedansi sebesar,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{4}} \times \ln \frac{11}{0,9}$$

$$Z = 75 \Omega$$

sedangkan untuk kabel NYM 3 x 4 mm² memiliki nilai R = 12 mm dan r = 1,13 mm, maka didapat nilai impedansi sebesar,

$$Z = \frac{60}{\sqrt{4}} \times \ln \frac{12}{1,13}$$

$$Z = 70 \Omega$$

Perhitungan besar gelombang tegangan berjalan yang akan masuk ke masing – masing beban dimulai dari sisi sumber jala – jala 220/380 volt hingga sisi SDP dari lantai 1 hingga 15. Perhitungan mula – mula melakukan Z ekivalen dari cabang salah satu MDP dan gelombang tegangan berjalan yang masuk ke SDP. Perhitungan dimulai dari sisi MDP setelah itu sisi SDP pada tiap pelayanan dari lantai 1 hingga 15. Berikut ini ditunjukkan salah satu proses perhitungan gelombang tegangan berjalan yang masuk pada MDP bagian pelayanan penerangan dan juga SDP pelayanan penerangan pada lantai 1:

- ✓ Perhitungan sisi MDP penerangan

$$\text{cabang} = 21$$

$$n = \text{cabang} + 1 = 21 + 1 = 22$$

$$Z_1 = 66 \Omega, Z_2 = 82 \Omega \text{ maka } Z_{2(ek)} = \frac{82}{21} = 3,9 \Omega$$

$$\Gamma = \frac{Z_{2(ek)} - Z_1}{Z_{2(ek)} + Z_1} = \frac{3,9 - 66}{3,9 + 66} = -0,88$$

$$T = \frac{2}{n} = \frac{2}{22} = 0,09$$

Sehingga sesuai dengan Persamaan (2-33) maka besar puncak gelombang tegangan yang keluar dari sisi MDP penerangan adalah sebesar,

$$e_t(t) = T \times u_i(t)$$

Dimana dari perhitungan sebelumnya didapatkan nilai $u_i(t)$ sebesar 1,47 kV
maka,

$$u_t(t) = 0,09 \times 1,47 \text{ kV} = 0,134 \text{ kV}$$

- ✓ Perhitungan sisi SDP penerangan lantai 1

$$\text{Cabang} = 14$$

$$n = \text{cabang} + 1 = 14 + 1 = 15$$

$$Z_1 = Z_{2(\text{ek})} = 3,9 \Omega ; Z_2 = 75 \Omega$$

$$Z_{2(\text{ek})} = \frac{75}{14} = 5,4 \Omega$$

$$\Gamma = \frac{Z_{2(\text{ek})} - Z_1}{Z_{2(\text{ek})} + Z_1} = \frac{5,4 - 3,9}{5,4 + 3,9} = 0,16$$

$$T = \frac{2}{n} = \frac{2}{15} = 0,13$$

$$u_t(t) = T \times u_i(t)$$

$$u_t(t) = 0,13 \times 0,134 \text{ kV} = 0,018 \text{ kV}$$

Sehingga menurut hasil perhitungan gelombang tegangan berjalan yang dimungkinkan masuk ke beban penerangan pada lantai 1 memiliki nilai puncak sebesar 0,018 kV. Untuk selanjutnya seluruh hasil perhitungan pada sisi MDP pada seluruh pelayanan kelistrikan ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan MDP

Pelayanan	Cabang	n	Z1(Ω)	Z2(Ω)	Z2(ek)(Ω)	Γ	T	ui(kV)
Penerangan	21	22	66	82	3,90	-0,89	0,09	0,134
Stop Kontak	15	16	63	82	5,47	-0,84	0,13	0,184
AC	15	16	60	75	5,00	-0,85	0,13	0,184
Exhaust Kebakaran	15	16	75	82	5,47	-0,86	0,13	0,184
Motor Pompa	4	5	75	82	20,50	-0,57	0,40	0,588
Motor Lift	4	5	66	75	18,75	-0,56	0,40	0,588

Pada Tabel 4.11 diatas dapat diketahui perhitungan gelombang tegangan berjalan pada seluruh layanan kelistrikan pada gedung Condotel Borobudur yang terdiri dari layanan penerangan, stop kontak, AC, exhaust kebakaran, motor pompa, dan motor

lift. Variabel cabang menunjukkan jumlah cabang yang keluar dari tiap MDP yang akan terbagi ke 15 lantai. Namun karena tidak semua MDP terbagi secara merata ke setiap lantai menyebabkan nilai koefisien pantul menjadi bervariasi. Hal ini juga akan menyebabkan besar gelombang yang diteruskan (u_t) bervariasi pula. Variabel n adalah jumlah dari cabang yang keluar dari tiap MDP ditambah cabang yang masuk pada MDP. Nilai impedansi kabel telah dihitung pada bagian atas diketahui bahwa kabel yang masuk pada sisi MDP (Z_1) dan kabel yang keluar dari MDP memiliki nilai impedansi (Z_2) sedangkan $Z_{2(ek)}$ adalah nilai impedansi ekuivalen dari kabel yang keluar dari MDP menuju SDP.

Saat kabel keluar dari MDP akan terbagi ke beberapa lantai maka besar impedansinya juga akan semakin mengecil, hal ini menyebabkan koefisien pantul (Γ) yang didapat bernilai negatif. Nilai negatif menandakan bahwa gelombang berjalan akan dipantulkan namun bersifat mengurangi gelombang yang datang. Besar koefisien pantul pada beban penerangan, stop kontak, AC, dan exhaust kebakaran tidak mengalami perbedaan yang cukup signifikan karena jumlah cabang hampir sama. Tetapi untuk beban motor pompa dan motor lift terjadi perbedaan yang cukup signifikan akibat jumlah cabang dari motor pompa dan lift hanya sedikit dibanding beban lainnya. Karena pada MDP motor lift dan motor pompa besar gelombang tegangan berjalan dirasa cukup berbahaya maka pada bagian ini perlu diberikan arester untuk memotong gelombang pada daerah ini.

Tabel 4.12. Tabel Hasil Perhitungan SDP Penerangan

Lantai	Cabang	n	$Z_1(\Omega)$	$Z_2(\Omega)$	$Z_{2(ek)}(\Omega)$	Γ	T	$u_t(kV)$
1	14	15	4,29	90	6,43	0,20	0,13	0,018
2	10	11	4,29	90	9,00	0,35	0,18	0,024
3	7	8	4,29	90	12,86	0,50	0,25	0,034
4	7	8	4,29	90	12,86	0,50	0,25	0,034
5	17	18	4,29	90	5,29	0,10	0,11	0,015
6	31	32	4,29	90	2,90	-0,19	0,06	0,008
7	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
8	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
9	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
10	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
11	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
12	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
13	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
14	36	37	4,29	90	2,50	-0,26	0,05	0,007
15	23	24	4,29	90	3,91	-0,05	0,08	0,011

Selanjutnya perhitungan dilanjutkan pada bagian SDP pelayanan beban penerangan, SDP ini terbagi untuk 15 lantai. Definisi variabel pada SDP penerangan sama dengan definisi variabel pada MDP. Hasil perhitungan SDP penerangan ditunjukkan pada Tabel 4.12. Pada Tabel 4.12 variabel (Z_1) didapat dari perhitungan sebelumnya impedansi pada beban pelayanan penerangan pada sisi MDP ($Z_{2(ek)}$). Jumlah cabang pada tiap lantai bervariasi kecuali pada lantai 7 hingga 14 memiliki cabang yang sama. Pada lantai 1 sampai 5 koefisien pantul bernilai positif disebabkan memiliki cabang yang lebih sedikit dibanding 10 lantai lainnya sehingga gelombang yang diteruskan pada lantai tersebut lebih besar daripada lantai 6 hingga lantai 15. Tetapi besar gelombang tegangan berjalan pada sisi SDP penerangan dirasa masih cukup aman dan tidak berbahaya karena hanya berkisar antara 0,007 kV hingga 0,034 kV, maka pada bagian ini tidak memerlukan proteksi.

SDP stop kontak hampir sama dengan SDP penerangan. Bagian ini juga terbagi untuk 15 lantai yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 dengan jumlah cabang paling banyak terdapat pada lantai 7 hingga 14 yaitu sebanyak 35 cabang.

Tabel 4.13 Tabel Perhitungan SDP Stop Kontak

Lantai	Cabang	N	$Z_1(\Omega)$	$Z_2(\Omega)$	$Z_{2(ek)}(\Omega)$	Γ	T	$u_i(\text{kV})$
1	11	12	5,47	75	6,82	0,11	0,17	0,03
2	13	14	5,47	75	5,77	0,03	0,14	0,03
3	6	7	5,47	75	12,50	0,39	0,29	0,05
4	6	7	5,47	75	12,50	0,39	0,29	0,05
5	8	9	5,47	75	9,38	0,26	0,22	0,04
6	28	29	5,47	75	2,68	-0,34	0,07	0,01
7	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
8	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
9	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
10	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
11	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
12	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
13	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
14	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,01
15	22	23	5,47	75	3,41	-0,23	0,09	0,02

Sama halnya dengan SDP penerangan, pada SDP stop kontak lantai 1 sampai 5 koefisien pantul bernilai positif disebabkan memiliki cabang yang lebih sedikit dibanding 10 lantai lainnya sehingga gelombang yang diteruskan pada lantai tersebut lebih besar daripada lantai 6 hingga lantai 15. Besar gelombang tegangan berjalan juga kecil yang nilai puncaknya berkisar antara 0,01 kV hingga 0,05 kV. Gelombang

tegangan itu masih terbilang aman untuk peralatan listrik dan elektronik yang akan dihubungkan pada stop kontak, maka pada bagian ini tidak diperlukan proteksi.

Pada SDP *Air Conditioner* (AC) hasil perhitungan yang didapat juga tidak jauh berbeda dengan kedua perhitungan sebelumnya. Karena jumlah cabang pada lantai 7 hingga 14 adalah jumlah cabang paling banyak yaitu mencapai 33 cabang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14. Cabang paling sedikit terdapat pada lantai 1, 3, 4, dan 5 yaitu hanya 3 cabang sehingga koefisien pantulnya cukup besar. Besar nilai impedansi surja kabel yang keluar SDP dan masuk menuju SSDP beban *Air Conditioner* (Z_2) bernilai 70Ω karena menggunakan kabel yang berinti lebih besar dari beban lainnya.

Tabel 4.14 Tabel Perhitungan SDP *Air Conditioner* (AC)

Lantai	Cabang	N	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2(ek)} (Ω)	Γ	T	u _t (kV)
1	3	4	5	70	23,33	0,65	0,50	0,092
2	7	8	5	70	10,00	0,33	0,25	0,046
3	3	4	5	70	23,33	0,65	0,50	0,092
4	3	4	5	70	23,33	0,65	0,50	0,092
5	3	4	5	70	23,33	0,65	0,50	0,092
6	24	25	5	70	2,92	-0,26	0,08	0,015
7	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
8	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
9	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
10	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
11	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
12	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
13	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
14	33	34	5	70	2,12	-0,40	0,06	0,011
15	25	26	5	70	2,80	-0,28	0,08	0,014

Cabang paling sedikit terdapat pada lantai 1, 3, 4, dan 5 yaitu hanya 3 cabang sehingga koefisien pantulnya cukup besar. Tetapi besar gelombang tegangan yang diteruskan dirasa masih cukup aman yaitu sebesar 0,011 kV sampai 0,092 kV. Sehingga pada bagian ini tidak memerlukan proteksi.

SDP exhaust kebakaran terbagi kedalam 15 lantai. memiliki cabang terbanyak pada lantai 7 – 14 yaitu 35 cabang. Sedangkan, pada lantai 4 dan 5 memiliki cabang yang paling sedikit daripada lantai lainnya yaitu hanya 6 cabang. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.15 berikut :

Tabel 4.15. Tabel Hasil Perhitungan SDP Exhaust Kebakaran

Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2(ek)} (Ω)	Γ	T	u _t (kV)
1	9	10	5,47	75	8,33	0,21	0,20	0,037
2	12	13	5,47	75	6,25	0,07	0,15	0,028
3	8	9	5,47	75	9,38	0,26	0,22	0,041
4	6	7	5,47	75	12,50	0,39	0,29	0,053
5	6	7	5,47	75	12,50	0,39	0,29	0,053
6	26	27	5,47	75	2,88	-0,31	0,07	0,014
7	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
8	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
9	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
10	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
11	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
12	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
13	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
14	35	36	5,47	75	2,14	-0,44	0,06	0,010
15	22	23	5,47	75	3,41	-0,23	0,09	0,016

Variabel Z_1 pada Tabel 4.15 diatas didapat dari $Z_{2(ek)}$ perhitungan MDP exhaust kebakaran pada Tabel 4.11. Sama halnya dengan SDP penerangan, stop kontak, dan AC pada perhitungan sebelumnya koefisien pantul yang terjadi pada lantai 6 hingga 15 memiliki nilai negatif yang artinya gelombang pantul akan bersifat mengurangi gelombang datang. Pada SDP exhaust kebakaran gelombang tegangan yang diteruskan masuk ke peralatan masih cukup aman yaitu sekitar 0,01 kV sampai 0,053 kV sehingga pada bagian ini tidak memerlukan proteksi.

Berikutnya adalah SDP motor pompa air. Air yang memadai merupakan fasilitas dari condotel yang tidak boleh terhambat karena akan mengurangi kepuasan pengunjung dalam menikmati fasilitas hotel yang ada. Sumber air dari hotel diambil dari sungai bawah tanah kemudian air akan disedot oleh pompa air tanah ke permukaan tanah untuk ditampung di kolam penampung air yang letaknya di luar bangunan. Setelah itu air akan di transfer menuju tandon air transfer di lantai 5. Selain itu hotel juga memiliki fasilitas kolam renang untuk pengunjung yang berada di lantai 6. Untuk mengisi dan menguras kolam juga membutuhkan pompa air dalam melakukannya. Dalam keadaan darurat hotel juga memiliki pompa air kebakaran yang bertugas memadamkan api ketika terjadi kebakaran.

Pompa air tanah, air kebakaran, dan air transfer memiliki 6 cabang sedangkan untuk pompa air kolam renang hanya memiliki 1 cabang saja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.16 berikut:

Tabel 4.16 Tabel Hasil Perhitungan SDP Motor Pompa Air

Jenis Pompa	Lantai	Cabang	n	$Z_1(\Omega)$	$Z_1(\Omega)$	$Z_{2(ek)}(\Omega)$	Γ	T	ut(kV)
Pompa Air Tanah	1	6	7	20,5	75	12,5	-0,24	0,29	0,168
Pompa Air Kebakaran	1	6	7	20,5	75	12,5	-0,24	0,29	0,168
Pompa Air Transfer	5	6	7	20,5	75	12,5	-0,24	0,29	0,168
Pompa Air Kolam Renang	6	1	2	20,5	75	75	0,57	1	0,588

Variabel Z_1 pada SDP motor pompa air diambil dari nilai $Z_{2(ek)}$ MDP motor pompa air. Karena pompa air tanah, air kebakaran, dan air transfer memiliki cabang yang sama maka koefisien gelombang pantul yang terjadi juga sama, tetapi pada pompa air kolam renang memiliki cabang hanya 1 maka gelombang tegangan yang diteruskan besarnya sama dengan yang keluar dari sisi MDP motor pompa yaitu sebesar 0,588 kV karena tidak terjadi pembagian gelombang berjalan karena tidak adanya percabangan. Maka dari itu pada SDP pompa air kolam renang dibutuhkan proteksi karena gelombang tegangan yang diteruskan berbahaya bagi peralatan listrik. Sedangkan untuk pompa air yang lain tidak perlu karena masih aman.

Pada Condotel Borobudur memiliki 4 buah lift yang beroperasi setiap hari selama 24 jam. Terdapat 3 lift penumpang dan 1 lift barang yang seluruhnya digerakkan oleh motor listrik yang ditempatkan pada atap gedung Condotel Borobudur. Karena masing – masing lift hanya digerakkan oleh 1 unit motor listrik maka cabang dari tiap SDP juga masing – masing hanya 1 cabang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17 Tabel Hasil Perhitungan SDP Motor Lift

Jenis Lift	Lantai	Cabang	n	$Z_1(\Omega)$	$Z_2(\Omega)$	$Z_{2(ek)}(\Omega)$	Γ	T	ut(kV)
Lift 1	Atap	0	1	18,75	-	-	-	2	1,176
Lift 2	Atap	0	1	18,75	-	-	-	2	1,176
Lift 3	Atap	0	1	18,75	-	-	-	2	1,176
Lift Barang	Atap	0	1	18,75	-	-	-	2	1,176

Karena tiap SDP lift tidak memiliki cabang maka tidak dapat menghitung impedansi ekuivalen ($Z_{2(ek)}$), koefisien pantulnya, dan gelombang yang memantul, gelombang yang diteruskan menjadi naik dua kali lipat akibat tidak adanya percabangan dengan koefisien terusan 2, yang artinya gelombang yang diteruskan sama dengan dua kali gelombang datang yang puncaknya menjadi bernilai 1,176 kV. Karena dianggap

cukup berbahaya bagi motor penggerak lift dan lift merupakan fasilitas yang cukup vital maka diperlukan adanya proteksi pada seluruh SDP motor lift.

Dari perhitungan menggunakan analisis gelombang tegangan berjalan dapat diketahui pada MDP pompa air dan motor lift, SDP pompa air kolam renang, SDP motor lift 1, SDP lift 2, SDP motor lift 3, dan SDP motor lift barang memerlukan proteksi. Hal ini disebabkan karena gelombang tegangan berjalan yang diteruskan dapat merusak peralatan listrik dan elektronik, sedangkan pada bagian yang lain tidak memerlukan karena dirasa masih cukup aman.

4.3.2. Perhitungan Kenaikkan Tegangan Pada Titik Pembumian

Kenaikkan tegangan pada titik pembumian juga akan menimbulkan resiko yang berbahaya pada peralatan listrik dan elektronik. Dampak dan resiko yang ditimbulkan oleh kenaikan tegangan di titik pembumian ini justru akan lebih berbahaya dari gelombang berjalan yang ditimbulkan akibat sambaran tidak langsung. Besar kenaikan tegangan pada titik pembumian dapat dihitung dengan Persamaan (2-3) yaitu,

$$U_M = I_M \cdot R_{ST}$$

Karena gedung dianggap memiliki proteksi eksternal dengan efisiensi sebesar 90 % yang artinya memiliki sistem proteksi tingkat III dan tahanan pembumian kurang dari 1 Ω . Maka dengan mengacu Tabel 2.1 diasumsikan arus puncak petir (I_M) sebesar 100 kA dan nilai tahanan pembumian (R_{ST}) sebesar 1 Ω akan didapatkan besar kenaikan tegangan pada titik pembumian yaitu sebesar,

$$U_M = 100 \text{ kA} \times 1 \Omega = 100 \text{ kV}$$

Dengan kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV ini dirasa akan sangat berbahaya bagi jaringan listrik dan teknologi informasi pada gedung karena kenaikan tegangan ini akan membuat seluruh jaringan merasakan kenaikan tegangan sehingga terjadi lonjakan tegangan yang besar yang akan melebihi dari kapasitas tegangan dari peralatan listrik dan teknologi informasi di dalam gedung.

4.3.3. Perhitungan Tegangan Induksi Elektromagnetik

Perhitungan tegangan induksi elektromagnetik dimulai dengan mencari jarak minimal antara *Down Conductor* (dc) dengan gedung menggunakan Persamaan (2-37),

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot I(m)$$

proteksi yang digunakan pada gedung dianggap menggunakan proteksi tingkat III sehingga menurut Tabel 2.9 nilai k_i sebesar 0,05. Sedangkan untuk nilai k_c tergantung dari konfigurasi dari *down conductor* yang digunakan yaitu konfigurasi 1 dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.18 memiliki nilai k_c sebesar 1. Karena antar konduktor dipisahkan oleh udara maka menurut Tabel 2.10 nilai koefisien k_m sebesar 1. Jarak sepanjang konduktor penyalur dari titik terdekatnya diasumsikan 1 meter sehingga didapat jarak (s) sebesar,

$$s = 0.05 \cdot \frac{1}{1} \cdot 1 \text{ m}$$

$$s = 0.05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

Maka dari perhitungan di atas didapat jarak minimal antara *down conductor* dengan gedung sebesar 50 mm.

Pada level proteksi tingkat III menurut Tabel 2.2 memiliki arus puncak (I_M) sebesar 100 kA pada sambaran pertama dengan jenis gelombang 10/350 μ s. Sedangkan arus petir terusan sebesar 25 kA. Arus petir terusan ini yang akan lebih berpengaruh terhadap timbulnya loop – loop tegangan induksi karena arus petir terusan lebih sering tidak tertangkap oleh proteksi petir eksternal atau sering disebut peristiwa sideflash.(Hasse, 2008 : 49). Kemudian arus petir terusan tersebut akan masuk kedalam jaringan catu daya dan teknologi informasi. Bentuk gelombang arus petir pertama tinggi tetapi landai yang menyebabkan di/dt yang muncul saat sambaran pertama tidak tinggi. Namun, gelombang arus petir terusan yang tidak terlalu tinggi memiliki kecuraman arus atau di/dt yang tinggi yang dapat mencapai sepuluh kali lipat di/dt arus petir pertama (dapat dilihat pada Tabel 2.2).

Pada Persamaan (2-4) digunakan untuk menghitung besar tegangan induksi yang terjadi pada tiap loop. Tetapi sebelumnya dibutuhkan besar nilai induktansi bersama M yang dibentuk pada masing – masing loop yang berada dekat dengan *down conductor*. Sedangkan luas penampang kabel *down conductor* yang digunakan dalam analisis ini

adalah sebesar 50 mm^2 , sehingga besar jari – jari (r) dari *down conductor* adalah sebesar,

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{50}{3,14}} = 3,99 \text{ mm}$$

jadi didapat jari – jari dari *down conductor* yang telah didapatkan dari hasil perhitungan di atas akan digunakan untuk menghitung besar induktansi bersama M pada loop. Kenaikan rata – rata arus petir (di/dt) dapat dihitung dengan perbandingan antara arus puncak petir terusan dengan waktu muka (T_1). Dapat dilihat pada Tabel 2.2 maka nilai puncak arus petir subsequent (I_M) pada level proteksi III adalah sebesar 25 kA dan mempunyai waktu muka (T_1) sebesar $0,25 \mu\text{s}$. Maka akan didapat dihitung menggunakan persamaan (2-14) dan didapat nilai (di/dt) sebesar,

$$\frac{di}{dt} = \frac{I_m}{T_1} = \frac{25 \text{ kA}}{0,25 \mu\text{s}} = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Maka kenaikan rata – rata arus petir sebesar $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ ini yang akan berpengaruh pada besar tegangan induksi yang terjadi pada loop yang akan dihitung dalam satuan per m^2 loop yang terbentuk.

Untuk loop yang terbentuk dari *down conductor* dengan kabel catu daya peralatan di dalam gedung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 diketahui panjang (b) dan lebar (a) pada loop yang terbentuk sama dengan 1 m, dan jari – jari (r) dari *down conductor* yang telah didapat pada perhitungan diatas sebesar $3,99 \text{ mm} = 3,99 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ maka dengan menggunakan Persamaan (2-10) akan didapatkan induktansi bersama M sebesar,

$$M_1 = 0,2 b \ln \frac{a}{r} \mu\text{H}$$

$$M_1 = 0,2 \cdot 1 \cdot \ln \frac{1}{3,99 \times 10^{-3}} \mu\text{H}$$

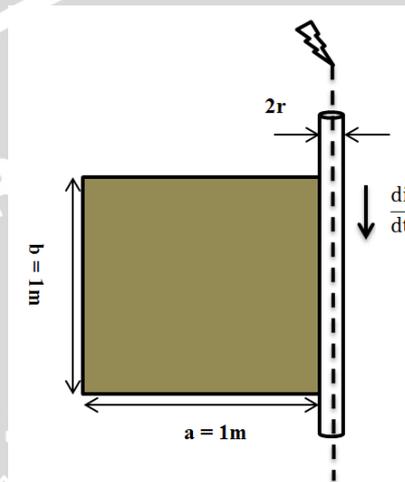
$$M_1 = 1,1 \mu\text{H}$$

Dengan koefisien loop (M) sebesar $1,1 \mu\text{H}$ maka akan didapatkan besar tegangan induksi pada loop per m^2 sebesar,

$$U_1 = M_1 \frac{di}{dt}$$

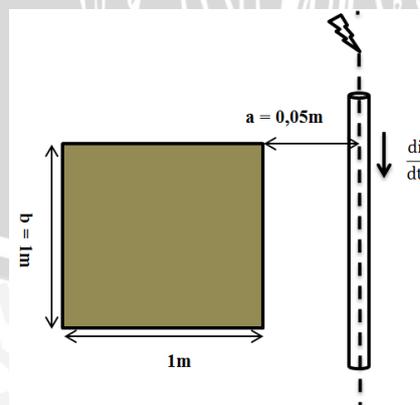
$$U_1 = 1,1 \mu\text{H} \cdot 100 \frac{\text{kA}}{\mu\text{s}}$$

$$U_1 = 110 \text{ kV}/\text{m}^2$$



Gambar 4.4. Konfigurasi Antara *Down Conductor* dengan Kabel Catu Daya (Loop 1)

Sedangkan pada loop yang timbul akibat dua kabel yang berada dimanapun di dalam gedung yang memiliki jarak sela minimum dengan *down conductor* ($s = a$) sebesar 50 mm, $b = 1 \text{ m}$, dan $c = (1 + 0,05) \text{ m}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Besar induktansi bersama pada loop tersebut dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2-11) yaitu sebesar,



Gambar 4.5. Konfigurasi Antar Kabel (Loop 2)

$$M_1 = 0,2 b \ln \frac{c}{a} \mu\text{H}$$

$$M_1 = 0,2 \cdot 1 \cdot \ln \frac{1 + 0,05}{0,05} \mu H$$

$$M_1 = 0,6089 \mu H$$

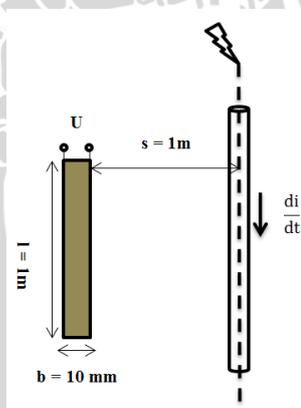
Dan tegangan induksi yang terjadi pada loop yaitu sebesar,

$$U_2 = M_2 \frac{di}{dt}$$

$$U_2 = 0,6089 \mu H \cdot 100 \frac{kA}{\mu s}$$

$$U_2 = 60,89 kV/m^2$$

Berikutnya adalah tegangan induksi untuk loop akibat kabel telekomunikasi atau teknologi informasi. Apabila pada perhitungan sebelumnya nilai induktansi bersama M didapatkan dengan menggunakan persamaan langsung, tetapi pada loop ini didapatkan dengan mengacu Gambar 2.8 dan 2.9 untuk dua macam konfigurasi yaitu vertikal dan horisontal. Panjang kabel jaringan (l) akan berpengaruh pada loop akibat kabel telekomunikasi dan teknologi informasi dengan jarak vertikal antara kabel jaringan dengan *down conductor* (s) diasumsikan sebesar 1 m, panjang kabel (l) 1 m, sedangkan jarak antara dua konduktor jaringan (b) adalah 10 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut,



Gambar 4.6 Konfigurasi Loop Akibat Kabel Telekomunikasi atau TI (Vertikal)

Dengan mengacu Gambar 2.8 maka nilai induktansi bersama M pada loop pada Gambar 4.6 sebesar 3 nH/ m atau $3 \cdot 10^{-3} \mu H/m$, sehingga besar tegangan induksi sesuai Persamaan (2-12) adalah,

$$U_3 = M_3 \cdot l \cdot \frac{di}{dt}$$

$$U_3 = 3 \cdot 10^{-3} \mu H/m \cdot 1 m \cdot 100 kA/\mu s = 300 V/m$$

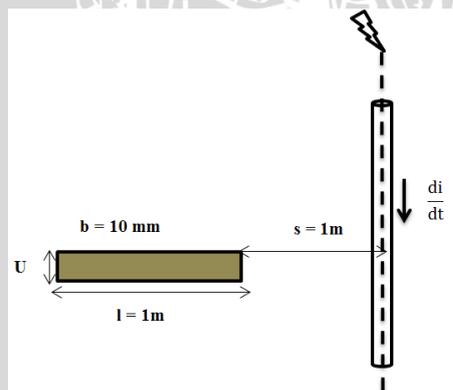
Dengan tegangan induksi pada loop sebesar 300 V/ m, maka apabila rentang vertikal kabel telekomunikasi sepanjang 10 m akan terjadi tegangan induksi sebesar 3 kV pada socket terminalnya. Tegangan induksi sebesar ini merupakan tegangan lebih yang dapat merusak peralatan elektronik.

Sedangkan pada loop yang ditimbulkan dari kabel telekomunikasi atau teknologi informasi yang terbentuk secara horisontal dengan jarak horisontal antara kabel jaringan dengan *down conductor* (s) diasumsikan tetap sebesar 1 m, dan panjang kabel (l) juga tetap 1 meter dengan jarak antar kedua kabel jaringan (b) sebesar 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Maka besar dari induktansi bersama M dapat diketahui dengan mengacu pada Gambar 2.9, maka didapatkan nilai induktansi bersama sebesar 0,2 nH/mm atau $0,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{H/mm}$, sehingga dengan menggunakan Persamaan (2-13) akan didapatkan tegangan induksi sebesar,

$$U_4 = M_4 \cdot b \cdot \frac{di}{dt}$$

$$U_4 = 0,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{H/mm} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 100 \text{ kA}/\mu\text{s} = 200 \text{ V/mm}$$

Artinya apabila jarak kedua kabel jaringan sebesar 10 mm, akan timbul tegangan induksi sebesar 200 V, jika jarak kedua kabel jaringan diperbesar sepuluh kali maka tegangan induksi yang ditimbulkan akan naik menjadi 2 kV dan tegangan ini merupakan tegangan lebih yang akan merusak peralatan elektronik.



Gambar 4.7 Konfigurasi Loop Akibat Kabel Telekomunikasi atau TI (Horisontal)

Dari keempat tegangan induksi yang didapatkan dari perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak loop yang di terbentuk oleh kabel catu daya, telekomunikasi, atau teknologi informasi terhadap *down conductor* maka besar tegangan induksi juga akan semakin kecil, semakin luas loop yang terbentuk juga akan semakin besar tegangan induksinya. Seluruh hasil perhitungan dari tegangan induksi

yang terjadi pada tiap loop berdasarkan penyebabnya ditampilkan pada Tabel 4.18 berikut ini.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Tegangan Induksi

No	Penyebab Tegangan Induksi	Koefisien Loop (M)	Tegangan induksi (U)
1	<i>Down conductor</i> dengan kabel catu daya peralatan di dalam gedung	1,1 μH	110 kV/ m ²
2	Dua kabel yang berada dimanapun didalam gedung yang memiliki jarak sela minimum dengan <i>down conductor</i>	0,6089 μH	60, 89 kV / m ²
3	Kabel telekomunikasi atau teknologi informasi vertikal	3 . 10 ⁻³ $\mu\text{H} / \text{m}$	300 V / m
4	Kabel telekomunikasi atau teknologi informasi horisontal	0,2 . 10 ⁻³ $\mu\text{H} / \text{mm}$	200 V / mm

Sedangkan penyebab tegangan induksi yang diakibatkan oleh struktur *down conductor* yang membentuk loop tidak diperhitungkan karena struktur dan bentuk gedung tidak menyebabkan adanya pembelokan *down conductor* yang membentuk loop.

4.4. Analisis Zona Proteksi Petir, Kebutuhan Arester, dan Bonding Ekipotensial

Analisis zona proteksi petir nantinya akan berkaitan dengan pemilihan kelas dari arester sebagai pemotong tegangan serta penempatan arester. Sedangkan penempatan arester akan berhubungan dengan peletakan bonding ekipotensial.

4.4.1. Analisis Zona Proteksi Petir

Zona proteksi petir atau *Lightning Protection Zone* (LPZ) berfungsi untuk mengetahui jenis arester yang akan digunakan pada suatu lokasi atau ruangan. Pembagian zona proteksi petir ini dapat ditentukan dengan meninjau denah tiap lantai pada Gedung Condotel. Batas yang digunakan adalah LPZ 1 merupakan ruangan – ruangan yang pertama dalam struktur gedung , kemudian LPZ 2 merupakan ruangan – ruangan setelah LPZ 1 baik dari sisi depan, belakang, kanan, dan kiri. Hasil pembagian seluruh lantai akan ditampilkan pada lampiran 3. Selanjutnya apabila telah diketahui

pembagian zona proteksi petirnya maka dapat ditentukan kelas arester yang akan digunakan pada setiap zona tersebut. Karena ada beberapa ruangan yang tidak memerlukan proteksi maka beberapa ruang tersebut tidak perlu diberi perlindungan arester. Apabila ada beberapa zona yang telah masuk dalam LPZ 2 tetapi memiliki kabinet logam yang mana kabinet logam tersebut dimasukkan kedalam LPZ 3 dan memiliki peran penting sebagai junction box kabel telepon (server) , maka kabinet logam tersebut harus mendapatkan proteksi yang lebih.

4.4.2. Analisis Kebutuhan Arestor

Pada gedung ini tidak seluruh bagian membutuhkan pemasangan arester. Hal ini disebabkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada peralatan masih tergolong tidak membahayakan peralatan yang ada kecuali pada beban motor lift. Pada pembahasan identifikasi ruangan dan fungsi ruangan, pada gedung ini terdapat beberapa ruangan yang menyimpan peralatan – peralatan yang sangat vital fungsinya, mahal harganya, dan mudah meledak seperti instalasi pipa gas sehingga pada ruangan tersebut perlu ada proteksi khusus. Oleh karena itu pemasangan arester dan peralatan proteksi petir lainnya akan diletakkan pada ruangan – ruangan tersebut. Arestor yang akan digunakan dalam perlindungan gedung ini adalah arester kelas B untuk kategori IV, kelas C untuk kategori III, dan kelas D untuk kategori II dan I. Berdasarkan Tabel 2.8 Kategori ketahanan surja yang sesuai dengan sistem kelistrikan gedung 220/380 V adalah ketahanan surja pada nilai 300 V yang merupakan batas aman karena nilainya mendekati 380 V. Ketahanan surja pada nilai 300 V akan menggunakan arester sebesar 4 kV pada kategori IV, 2,5 kV pada kategori III, 1,5 kV pada kategori II dan 0,8 kV pada kategori I. Pada Tabel 4.19 berikut akan ditunjukkan pembagian zona proteksi petir pada setiap ruangan di Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

Tabel 4.19 Tabel Pembagian Zona Proteksi Petir

No	Lantai	Nama Ruang	Fungsi Ruang	LPZ
1	1	Minishop	Perniagaan	1
2		Ruang Accounting	Kantor	2
3		Resepsionist	Terima Tamu Hotel	2
4		Looby	Ruang tunggu tamu	1
5		Coffe Shop	Tempat coffe shop	1
6		Toilet	Kamar mandi	1
7		Food storage	Ruang penyimpanan makanan	2
8		Loading Dock	Akses jalan kamar hotel	1
9		Ruang keamanan	Ruang pegawai keamanan	2

10		Ruang penerimaan dan penyimpanan barang	Ruang penerimaan dan penyimpanan barang	2
11		Ruang MEE	Panel kelistrikan	2
12	2	Meeting Room	Ruang Pertemuan	1
13		Training Room	Ruang Pertemuan	1
14		Rental Office	Kantor	2
15		Mushola	Tempat ibadah	1
16		Toilet	Kamar mandi	1
17		Room boy	Tempat pegawai kebersihan	1
18		Pantry	Tempat masak	1
19		Laundry	Tempat mesin cuci	1
20		Ruang MEE	Panel kelistrikan	2
21		3	Restaurant	Tempat Makan
22	Food storage		Tempat penyimpanan makanan	1
23	Gas storage		Tempat penyimpanan gas	2
24	Toilet		Kamar mandi	1
25	Public Area		Fasilitas umum	1
26	Ruang MEE	Panel kelistrikan	2	
27	4	Convention Hall (Big)	Ruang Pertemuan	1
28		Convention Hall (small)	Ruang Pertemuan	1
29		Toilet	Kamar mandi	1
30		Pantry	Tempat masak	1
31		Musholla	Tempat ibadah	1
32		Ruang MEE	Panel kelistrikan	2
33	5	Convention Hall (Big)	Ruang Pertemuan	1
34		Convention Hall (Average)	Ruang Pertemuan	1
35		Toilet	kamar mandi	1
36		Pantry	Tempat masak	1
37		musholla	Tempat ibadah	1
38		Ruang MEE	Panel kelistrikan	2
39		Tandon Air Transfer	Tempat penyimpanan air	2
40		Ruang pompa	Ruang mesin pompa	2
41		Meeting Room	Ruang Pertemuan	1
42		Resepsionist	tempat terima tamu	2
43		lobby	Ruang tunggu tamu	1
44		Ruang keamanan	Ruang pegawai keamanan	2
45		Ruang management dan karyawan	kantor	2
46	Ruang penyimpanan gas	penyimpanan gas	2	
47	6	President Suite Room	kamar hotel	1
48		Suite Room	kamar hotel	1
49		Standart Room Type A	kamar hotel	1
50		Standart Room Type B	Kamar hotel	1
51		Ruang MEE	panel kelistrikan	2
52		Room boy	Tempat pegawai kebersihan	1

53		swimming pool condotel	kolam renang	1
54		rumah pompa	tempat mesin pompa	2
55	7 - 14	Standart Room Type A	kamar hotel	1
56		Standart Room Type B	kamar hotel	1
57		Room boy	Tempat pegawai kebersihan	1
58		Ruang MEE	Panel kelistrikan	2
87	15	Standart Room Type B	kamar hotel	1
88		Room boy	Tempat pegawai kebersihan	1
89		Ruang MEE	Panel Kelistrikan	2
90		Ruang SPA	Tempat SPA	1
91		Ruang refleksi	Tempat pijat	1

Arester kelas B akan diletakkan pada LPZ 0_B hingga 1, yang merupakan peralihan antara zona proteksi eksternal dan internal yang dimana pada gedung ini masih terdapat arus petir yang dapat membahayakan akibat sambaran petir langsung. Ancaman yang ditimbulkan akibat adanya arus petir tersebut dapat menimbulkan tiga ancaman kerusakan peralatan listrik dan elektronik antara lain adalah pertama, pada daerah ini akan terjadi kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV yang akan menaikkan seluruh tegangan pada jaringan instalasi listrik dan teknologi informasi. Kedua, pada daerah ini juga akan timbul tegangan induksi pada loop yang terbentuk antara *down conductor* yang terdapat pada LPZ 0_B dan kabel catu daya pada LPZ 1 (U_1) sebesar 110 kV/m². Ketiga, pada daerah ini juga akan timbul tegangan induksi yang terjadi akibat adanya kabel catu daya yang membentuk loop dengan tegangan induksi yang terjadi (U_2) sebesar 60, 89 kV/m². Maka pada daerah ini dipasang arester kelas B dengan tingkat pemotongan 4 kV pada titik masuk jaringan catu daya dan teknologi informasi kedalam gedung.

Arester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV atau biasa disebut arester tegangan lebih akan dipasang pada instalasi listrik saat masuk pada LPZ 1 yang bertugas untuk memotong tegangan lebih sisa dari pemotongan sebelumnya dari arester kelas B yang masih dapat memasuki beban yang terhubung pada catu daya dan socket teknologi informasi. Arester ini juga bertugas memotong tegangan lebih yang ditimbulkan oleh kabel telekomunikasi dan teknologi informasi baik yang secara vertikal (U_3) sebesar 300 V/m, dan secara horisontal (U_4) sebesar 200 V/mm. Arester ini akan dipasang pada saluran masuk MDP yang terletak pada ruang MEE lantai 1.

Arester kelas D yang digunakan dengan tingkat pemotongan 1,5 kV juga merupakan arester tegangan lebih, akan digunakan pada instalasi listrik pada ruangan

yang masih termasuk LPZ 1. Dipasang pada titik saluran keluaran MDP yang mulai memasuki SDP – SDP yang masih terletak pada LPZ 1. Sedangkan arester dengan tingkat pemotongan 0,8 kV akan dipasang pada peralatan elektronik yang terletak pada ruangan atau kabinet logam yang membutuhkan proteksi lebih di lokasi LPZ 2 atau bahkan 3. Pada Tabel 4.20 ditunjukkan ruangan yang membutuhkan pemasangan arester beserta jenis arester dan tingkat pemotongannya.

Tabel 4.20 Tabel Kebutuhan Arestor Pada Ruangan

No	Nama Ruang	Jenis Arestor	Tingkat Pemotongan (kV)
1.	Accounting (Komputer)	<i>SPD</i> (stop kontak)	0,8
2.	Resepsionist (Box Server Telekomunikasi)	<i>SPD</i> (stop kontak)	0,8
3.	<i>MEE</i> (Panel Kelistrikan)	<i>SPD</i>	1,5
4.	<i>Gas Storage</i> (Instalasi Pipa Gas)	<i>Isolation Spark Gap</i>	2
5.	Ruang Pompa (Pompa Kolam Renang)	<i>SPD</i>	0,8
6.	Ruang Lift (Seluruh Motor Lift)	<i>SPD</i>	1,5

Berdasarkan hasil identifikasi fungsi ruang dan tingkat keperluan ruang, ruang – ruang pada Tabel 4.20 diatas tergolong ruang yang sangat memerlukan proteksi dikarenakan peralatan – peralatan didalamnya yang memiliki fungsi sangat vital. Pada ruang accounting terdapat beberapa komputer yang beroperasi tiap harinya dan menyimpan data – data sehingga perlindungan terhadap ancaman petir harus diberikan pada bagian ini, jenis arester yang digunakan adalah arester surja dengan tingkat pemotongan 0,8 kV dan dipasang pada bagian stop kontak sebelum masuk pada tiap komputer, dengan tingkat pemotongan sebesar itu sudah dirasa cukup aman untuk melindungi peralatan komputer pada ruangan ini. Selanjutnya , pada ruang resepsionist terdapat server untuk sistem teknologi informasi pada hotel juga perlu diberi proteksi khusus. Perancangan pada bagian sistem teknologi informasi ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada tiap panel kelistrikan di ruang MEE dipasang arester surja dengan tingkat pemotongan 1,5 kV pada tiap lantainya untuk memotong gelombang surja agar tidak merusak peralatan – peralatan listrik tiap lantai. Pada ruang penyimpanan gas (*Gas Storage*) terdapat instalasi pipa gas yang mengancam bahaya ledakan, maka untuk mengantisipasi adanya bahaya impuls petir dipasang arester jenis *Isolation Spark Gap* dengan tingkat pemotongan sebesar 2 kV. Untuk cara pemasangan dan pengaplikasiannya dapat dilihat pada lembar lampiran 4. Pada ruang pompa khusus untuk pompa kolam renang dari hasil analisis gelombang tegangan berjalan didapat

tegangan yang masuk pada peralatan sebesar 0,588 kV, maka untuk mencegah bahaya kerusakan pada peralatan tersebut dipasang arester surja dengan tingkat pemotongan sebesar 0,8 kV agar melindungi peralatan dari surja tegangan yang lebih besar. Selanjutnya pada bagian ruang motor lift diketahui dari analisis yang sama seluruh motor lift akan merasakan tegangan sebesar 1,176 kV, maka untuk mencegah kerusakan pada motor lift dipasang arester dengan tingkat pemotongan 1,5 kV sebelum masuk tiap – tiap motor.

4.4.3. Analisis Bonding Ekipotensial

Dari analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian didapat kenaikan sebesar 100 kV. Kenaikan tegangan ini sangat berbahaya apabila ada bagian dari peralatan listrik dan elektronik yang tidak diketanahkan atau diketanahkan pada tempat yang berbeda, karena hal ini akan menyebabkan beda tegangan yang cukup tinggi yang akan menyebabkan tembus elektrik pada ujung kabel jaringan listrik dan elektronik. agar hal ini tidak terjadi maka antar peralatan yang satu dengan yang lain harus dijadikan satu titik dengan menggunakan bonding ekipotensial dan mempunyai satu titik pembumian. Dalam perancangan penempatan bonding ekipotensial pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang, pentanahan seluruh MDP tiap pelayanan beban akan dijadikan satu titik dengan *down conductor* dari sistem proteksi eksternal. Tujuannya apabila terjadi kenaikan tegangan pada titik pembumian akibat arus petir yang dialirkan ke bumi melalui *down conductor* yang membuat potensial pada seluruh jaringan naik, bonding ekipotensial ini yang bertugas menyamakan tegangan di titik MDP sebelum terjadi perbedaan tegangan yang besar pada SDP tiap lantai yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan elektronik. Untuk sistem penghantar netral yang tidak langsung dibumikan maka harus dipasang arester pula yang menghubungkan penghantar netral dengan bumi, kemudian arester dipasang di masing – masing fasa. Pada Gambar 4.8 ditunjukkan hasil perancangan instalasi proteksi petir pada sisi MDP Gedung Condotel.

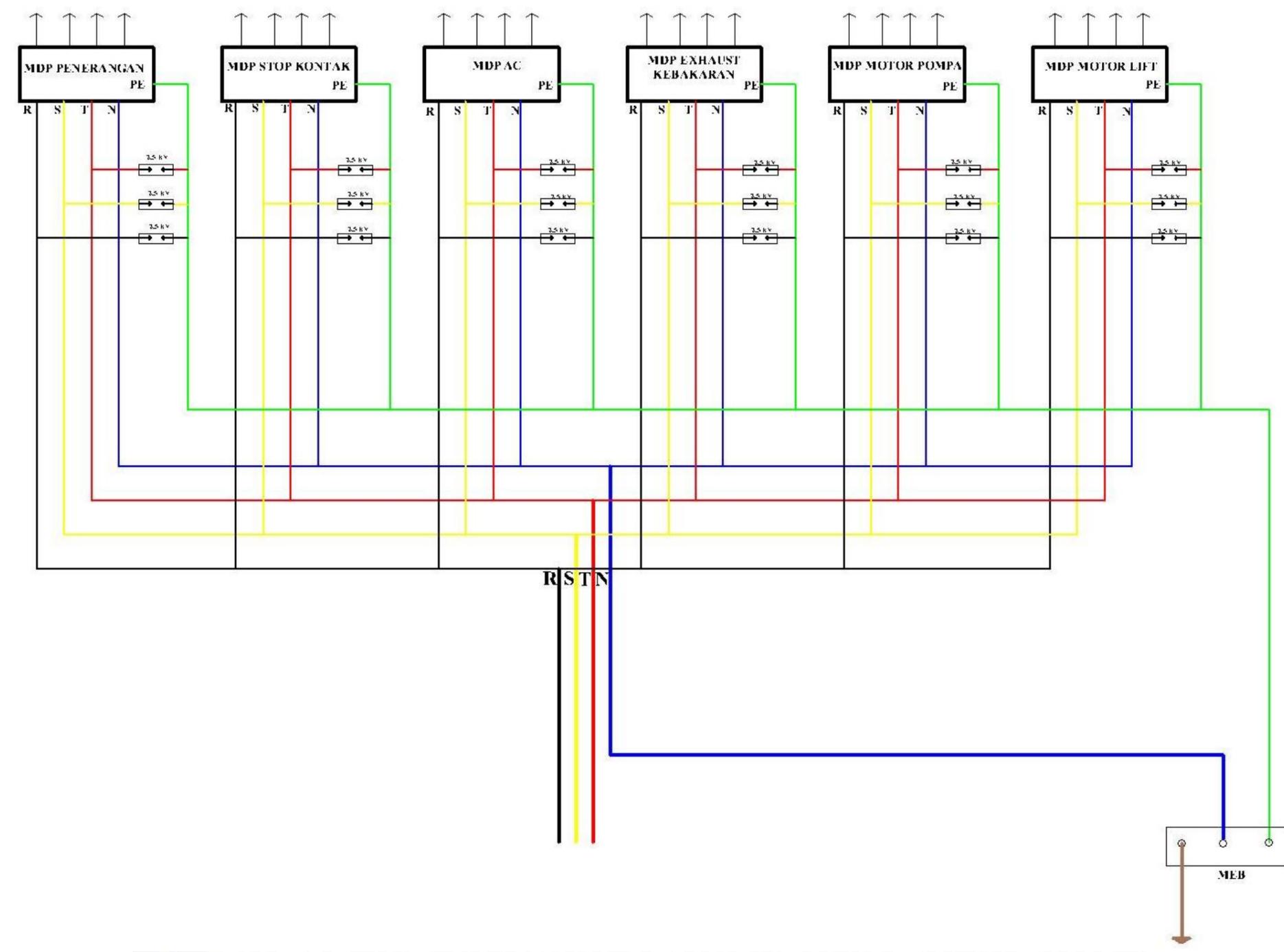
Pada titik masuk jaringan catu daya dan teknologi informasi ke dalam gedung dipasang arester kelas B dengan tingkat pemotongan 4 kV, selanjutnya arester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV akan digunakan pada sisi masuk MDP seluruh pelayanan beban yang terletak pada ruang MEE lantai 1. MDP pompa air dan motor lift, SDP pompa air kolam renang, SDP motor lift 1, SDP lift 2, SDP motor lift 3, dan SDP

motor lift barang yang memerlukan proteksi karena adanya gelombang tegangan berjalan yang masih cukup besar dan dapat merusak peralatan listrik dan elektronik telah terlindungi oleh arester yang ditempatkan di masing – masing MDP karena gelombang tegangan berjalan yang ada di SDP telah menjadi lebih kecil nilai puncaknya dan landai setelah dipotong oleh arester yang berada di MDP, sehingga tidak memerlukan proteksi khusus yang ditempatkan pada sisi SDP. Seluruh perancangan sistem proteksi petir untuk sistem kelistrikan akan ditunjukkan pada Gambar 4.9.

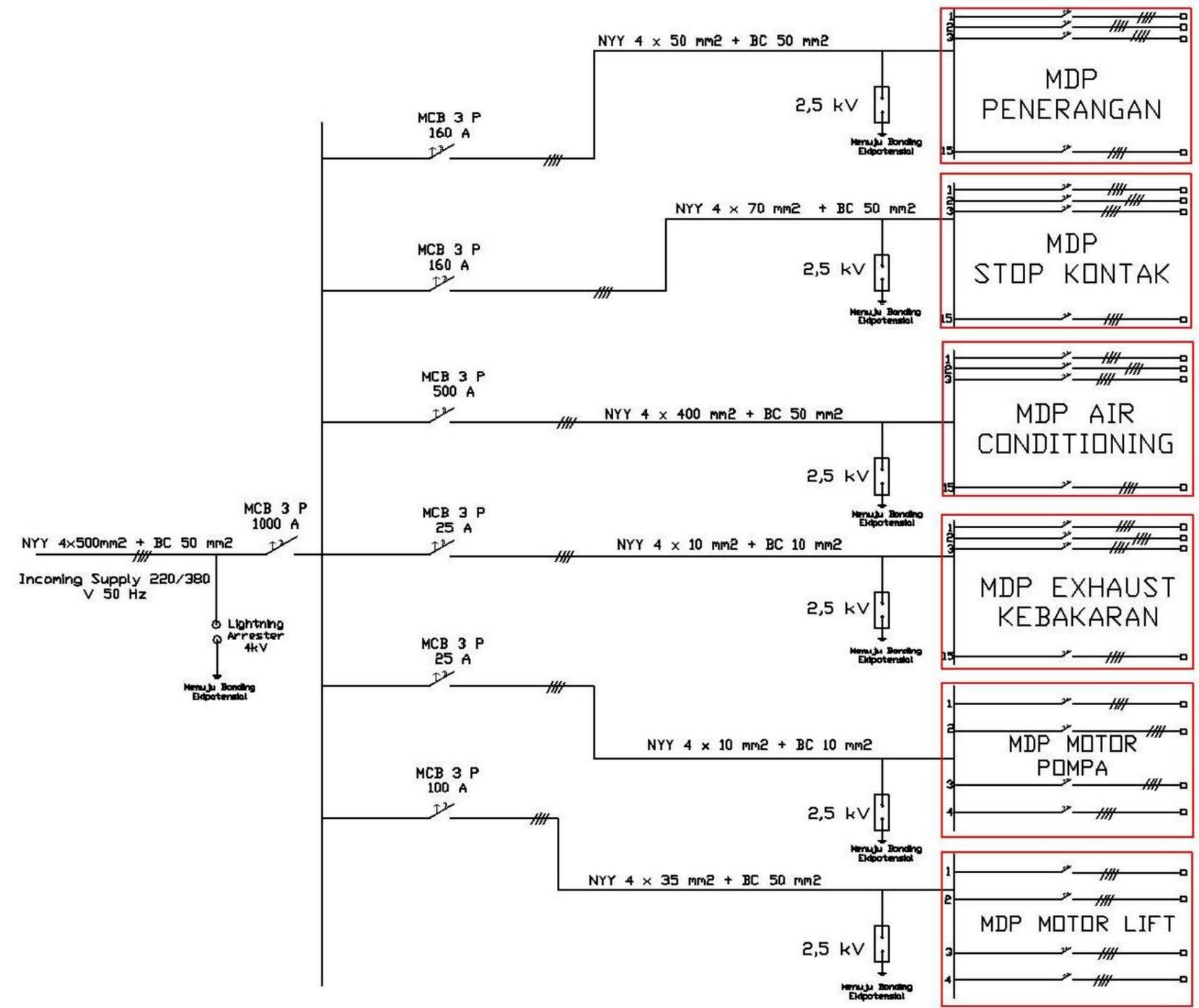
Pada SDP Telepon yang akan ditempatkan pada ruang resepsionst lantai 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 akan dipasang 2 jenis arester. Posisi Box Junction masih termasuk bagian LPZ 1 sehingga arester pertama yang akan dipasang adalah arester kelas D dengan tingkat pemotongan sebesar 1,5 kV, ditempatkan pada sambungan kabel telkom sebelum masuk pada Box Junction. Kabinet rectifier sendiri walaupun telah terperisai oleh logam dan berada pada tingkat LPZ 2, namun karena fungsinya yang cukup vital maka memerlukan proteksi khusus. Oleh karena itu arester kedua dipasang dengan tingkat pemotongan 0,8 kV dan ditempatkan sebelum kabinet rectifier atau pada bagian dalam kabinet Box Junction yang telah masuk dalam LPZ 2.

Pada perancangan proteksi teknologi informasi yang ditunjukkan Gambar 4.11, bagian anntena televisi yang terhubung langsung dengan bagian luar gedung perlu diberi proteksi. Anntena televisi pada bagian atap gedung di sambungkan oleh kabel coaxial menuju booster pada server lantai 5 di ruang keamanan. Setelah itu kabel masuk ke dalam Box Junction Anntena TV yang akan didistribusikan pada seluruh lantai dan ruang pada bagian Condotel Borobudur. Sebelum memasuki Box Junction dipasang arester dengan tingkat pemotongan 0,8 kV karena Box Junction Utama Kabel Antena termasuk bagian LPZ2.

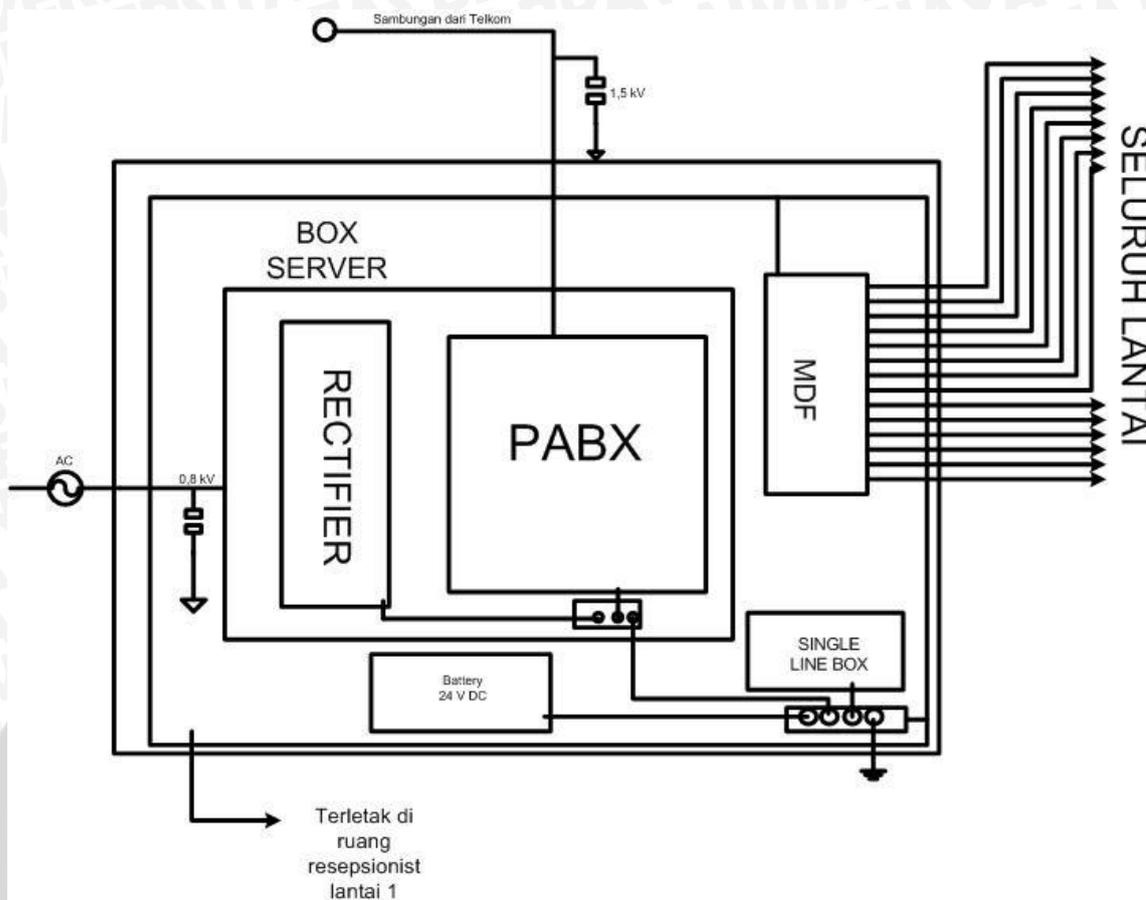
MENUJU SDP BEBAN TIAP LANTAI



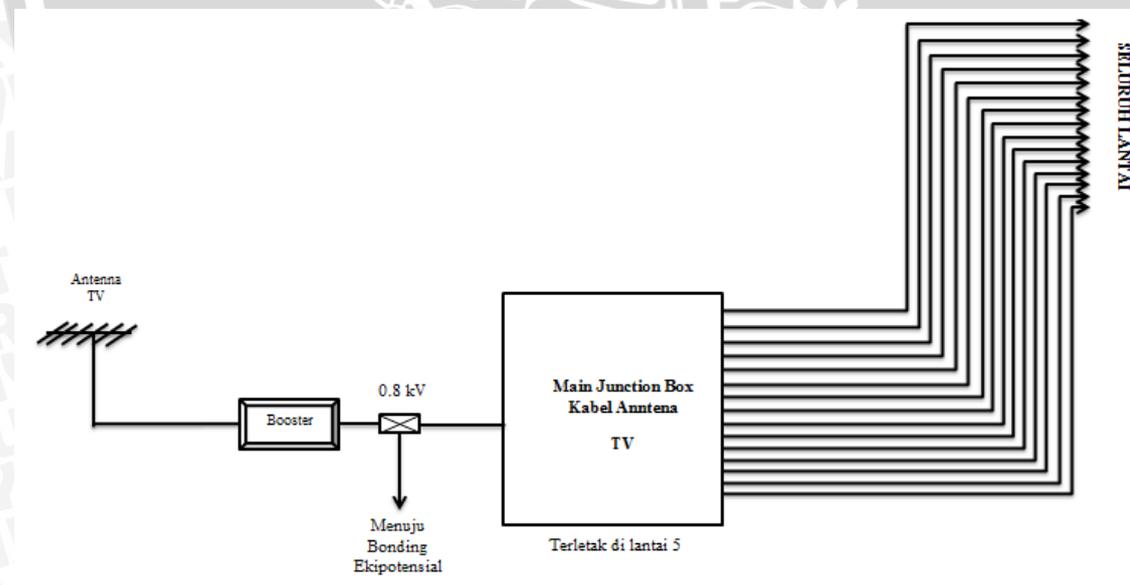
Gambar 4.8 Perancangan Instalasi Proteksi Petir Internal Pada MDP Gedung Condotel



Gambar 4.9 Perancangan Diagram Segaris Proteksi Petir Internal Instalasi Catu Daya Pada Gedung Condotel



Gambar 4.10 Perancangan Proteksi SDP Telekomunikasi



Gambar 4.11 Perancangan Proteksi Antena Televisi

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dalam pembahasan skripsi yang berjudul Perancangan Sistem Proteksi Petir Internal Pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada tingkat proteksi petir dengan arus petir sebesar 100 kA (Tingkat III) didapatkan tingkat tegangan lebih yang diakibatkan oleh 3 hal berikut :
 - a. Sambaran tidak langsung yang menyebabkan gelombang tegangan berjalan berkisar antara 0,007 kV hingga 1,176 kV, dengan gelombang tertinggi adalah gelombang yang masuk SDP Lift sebesar 1,176 kV.
 - b. Kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV.
 - c. Terjadinya tegangan induksi pada loop – loop yang terbentuk akibat *down conductor* dan kabel catu daya sebesar 110 kV/m², serta loop yang terbentuk antara dua kabel catu daya dalam gedung sebesar 60,89 kV/m², dan loop yang terbentuk akibat lekukan kabel teknologi informasi dan telekomunikasi secara vertikal dan horisontal berturut – turut sebesar 300 V/ m dan 200 V/ mm.
2. Dari analisis pembagian Zona Proteksi Petir (LPZ) pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang didapatkan hasil ruang – ruang di dalam gedung terbagi dalam LPZ 1 dan LPZ 2.
3. Perancangan sistem proteksi internal pada Gedung Condotel Blimbing Kota Malang dilakukan dengan pemasangan arester kelas B dengan tingkat pemotongan 4 kV pada jalur masuk instalasi daya dan TI pada bagian LPZ 0_B – 1, kemudian pada bagian MDP seluruh pelayan beban dipasang arester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV dan pada bagian SDP ditempatkan arester kelas D dengan tingkat pemotongan 1,5 kV hingga 0,8 kV bergantung pada LPZ 1 atau 2, kemudian seluruhnya akan diikat pada bonding ekipotensial yang akan dijadikan satu titik pembumian.

5.2. Saran

Dari hasil perhitungan dan analisis perancangan sistem proteksi petir internal pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang yang telah dilakukan ada beberapa saran untuk merancang sistem proteksi petir internal yang baik untuk kedepannya yaitu:

1. Perlu dilakukan studi tentang perancangan sistem proteksi petir eksternal pada Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang agar didapat tingkat proteksi dan nilai resistansi pentanahan yang sesuai dengan sebenarnya.
2. Perlu diadakan studi hari guruh dan kerapatan sambaran petir yang terjadi di kota Malang agar didapat hasil yang lebih sesuai dengan keadaan sebenarnya.
3. Perlu dilakukan studi tentang perancangan instalasi listrik pada Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang agar dapat menentukan jumlah percabangan yang akurat dan serta ukuran penghantar yang tepat agar analisis gelombang tegangan berjalan lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

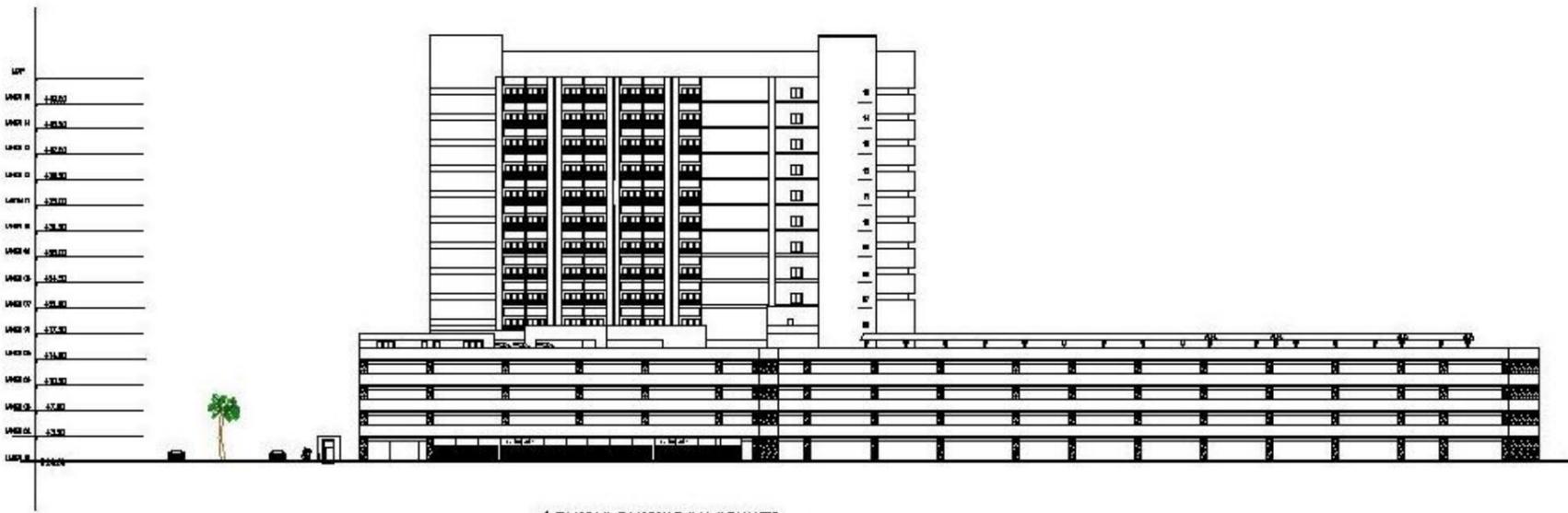
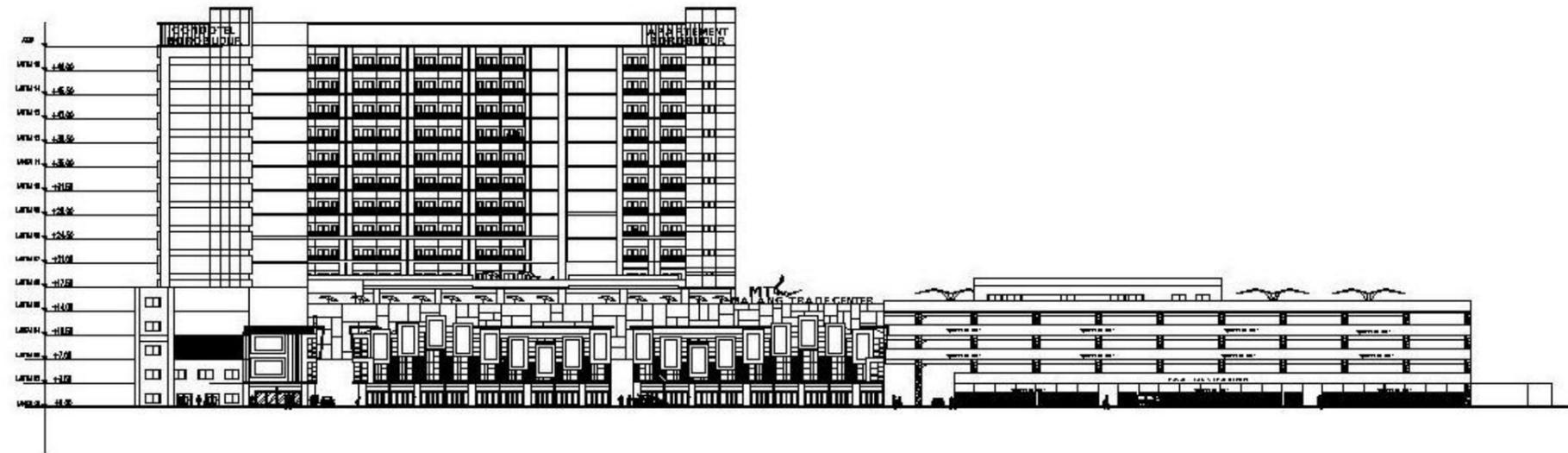
- Arismunandar, A., Prof. Dr. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta :Pradnya Paramita
- DEHN.2007. *Lightning Protection Guide*. Jerman: DEHN+SÖHNE.
- Harjanto, Dwi. Optimasi Penempatan Arester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*). Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Hasse, Peter. 2008. *IET Power and Energy Series 33 :Overvoltage Protection of Low Voltage Systems Second Edition*. London : The Institution of Engineering and Technology.
- Hayt, William H. 1982. *Electromagnetic Technology*: Mc. Graw Hill.
- Hutauruk, Ir. T.S. 1989. *Gelombang Berjalan Proteksi surja*. Jakarta: Erlangga.
- Kind, Dieter. 1993. Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi : ITB
- Standar Nasional Indonesia. 2004. *Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Stigant, S. Austen. 1973. *Transformer Book*. UK: Butterworth & Co. (Publisher) Ltd.
- Sumardjati, Prih. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan



LAMPIRAN



Lampiran 1 Gambar Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Kota Malang



Gambar L1 – 1 Gambar Kawasan Pasar Terpadu Tampak Depan dan Samping

Lampiran 2 Katalog Kabel

NYY 4 x (1.5-400) mm² 0.6/1 kV

Cu / PVC / PVC

(Copper Conductor, PVC Insulated, PVC Sheathed)

Standard Specification : IEC 60502-1

Construction Data

Nom. Cross Section Area	Overall Diameter	Cable Weight
	approx.	approx.
mm ²	mm	kg/km
1.5	13.8	259
2.5	15.0	324
4	17.3	453
6	18.7	563
10	21.5	794
16	23.5	1,083
25	27.5	1,558
35	30.0	2,018
50	35.5	2,466
70	39.0	3,334
95	44.5	4,491
120	48.5	5,504
150	54.5	6,787
185	59.0	8,392
240	66.0	10,818
300	72.5	13,326
400	82.5	16,969

Application :

Power cable : Indoors, cable trunking, outdoors and buried in the ground, for power stations, industry and switchgear as well as for urban supply networks, if mechanical damage is unlikely.

Special Features on Request :

- Fire Resistance
- Oil Resistance
- UV Resistance
- Flame Retardant Cat. A, B, C
- Flame Retardant Non Category
- Heat Resistance
- Anti Termite
- Anti Rodent
- Low Smoke Zero Halogen
- Nylon Coated

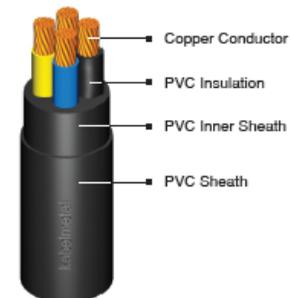
Note :

Conductor Shape

- 1.5 - 10 sqmm supplied in solid (re) or non compacted circular stranded (rm) conductor shape
- 16 sqmm supplied in non compacted circular stranded (rm) conductor shape
- 25 - 35 sqmm supplied in compacted circular stranded (cm) conductor shape
- 50 - 400 sqmm supplied in sector shaped stranded (sm) conductor

Standard Packing

- 1.5 - 70 sqmm supplied in wooden drum @ 1000 m
- 95 - 400 sqmm will be supplied in wooden drum on available length
- Length Tolerance per drum ± 2%



Electrical Data

Nom. Cross Sect. (mm ²)	Conductor		Inductance (mH/km)	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec (kA)
	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 70°C		in air	in ground	
	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)		Max. (A)	Max. (A)	
1.5	12.1	14.478	0.328	22	27	0.17
2.5	7.41	8.866	0.304	29	35	0.29
4	4.61	5.516	0.303	39	46	0.46
6	3.08	3.685	0.288	50	57	0.69
10	1.83	2.190	0.269	68	77	1.15
16	1.15	1.376	0.255	90	99	1.84
25	0.727	0.870	0.255	121	128	2.88
35	0.524	0.627	0.246	149	154	4.03
50	0.387	0.464	0.247	173	173	5.75
70	0.268	0.321	0.238	215	212	8.05
95	0.193	0.232	0.238	266	255	10.93
120	0.153	0.184	0.233	308	289	13.80
150	0.124	0.150	0.233	357	327	17.25
185	0.0991	0.121	0.233	405	366	21.28
240	0.0754	0.093	0.232	482	425	27.60
300	0.0601	0.075	0.231	552	479	34.50
400	0.0470	0.060	0.229	643	545	41.20

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



www.kmi.co.id

PT KMI Wire and Cable Tbk reserves the right to change the data content without prior notification

14233-04 Rev.2.0 / 2009

NYM 3 x (1.5 - 35) mm² 300/500 V

Cu / PVC / PVC

(Copper Conductor, PVC Insulated, PVC Sheathed)

Standard Specification : IEC 60227-4 : 1997

Construction Data

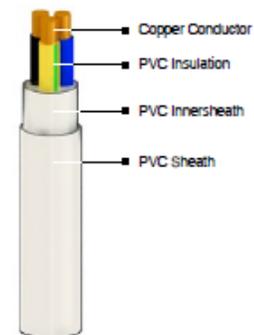
Nom. Cross Section Area	Overall Diameter approx.	Cable Weight approx.
mm ²	mm	kg/km
1.5	10.0	136
2.5	11.0	186
4	12.0	246
6	13.5	335
10	17.0	527
16	20.5	816
25	24.5	1,229
35	27.5	1,601

APPLICATION :

For building wire installed in conduit in dry location and interwiring in switch board and control panel, inherently flame retardant in compliance with IEC 60332-1.

Special Features on Request

- Fire Resistance
- Oil Resistance
- Flame Retardant Cat. A, B, C
- Heat Resistance
- Nylon Coated



Note :

Conductor Shaped

1.5 - 10 sqmm supplied in solid (re) or non compacted circular stranded (rm) conductor shape

16 - 35 sqmm supplied in non compacted circular stranded (rm) conductor shape

Standard Packing

1.5 - 4 sqmm supplied in coil @ 100 m or in wooden drum @ 1000/2000 m

6 - 35 sqmm supplied in wooden drum @ 1000 m

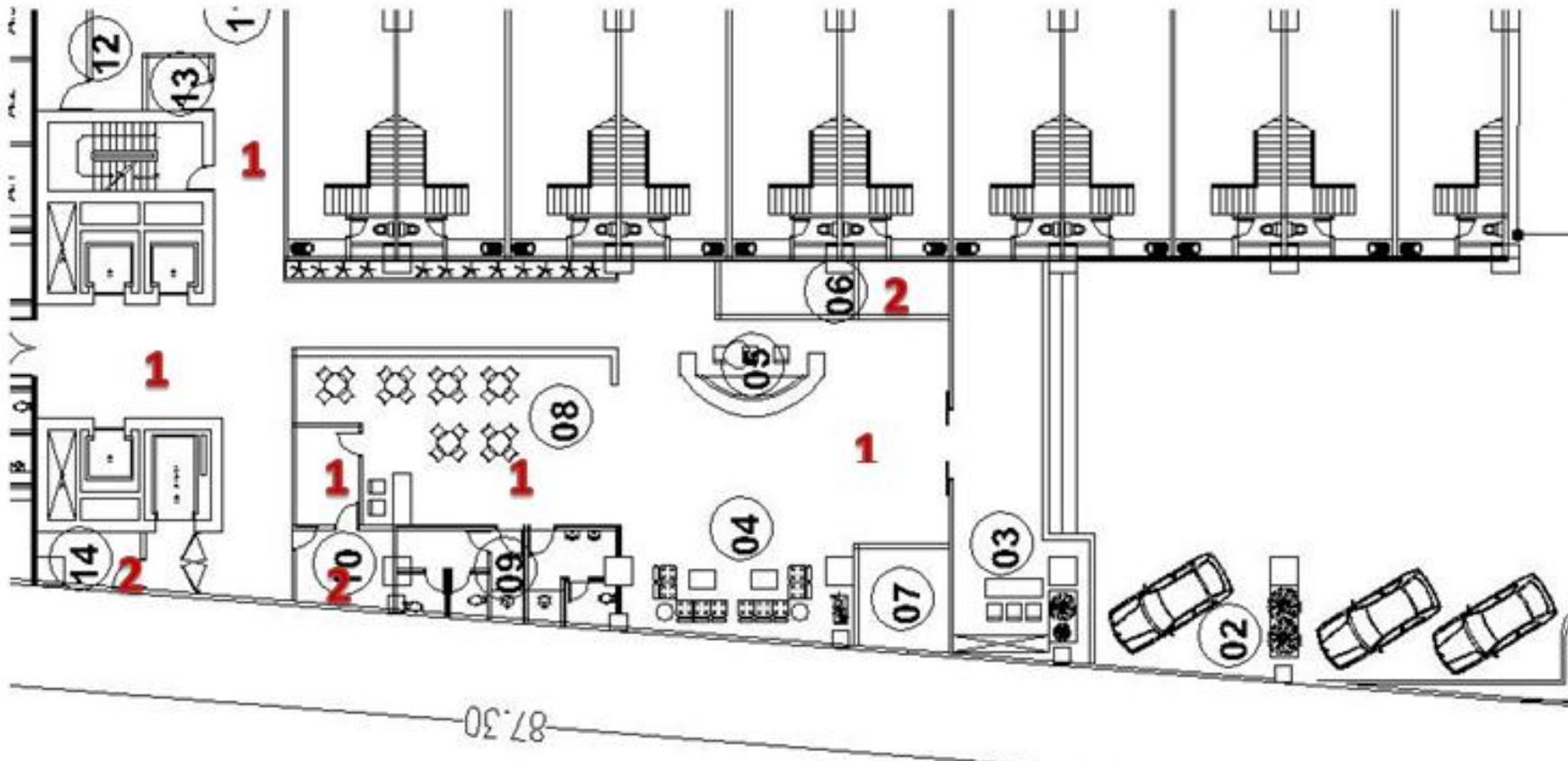
Length tolerance per drum ±2%.

Electrical Data

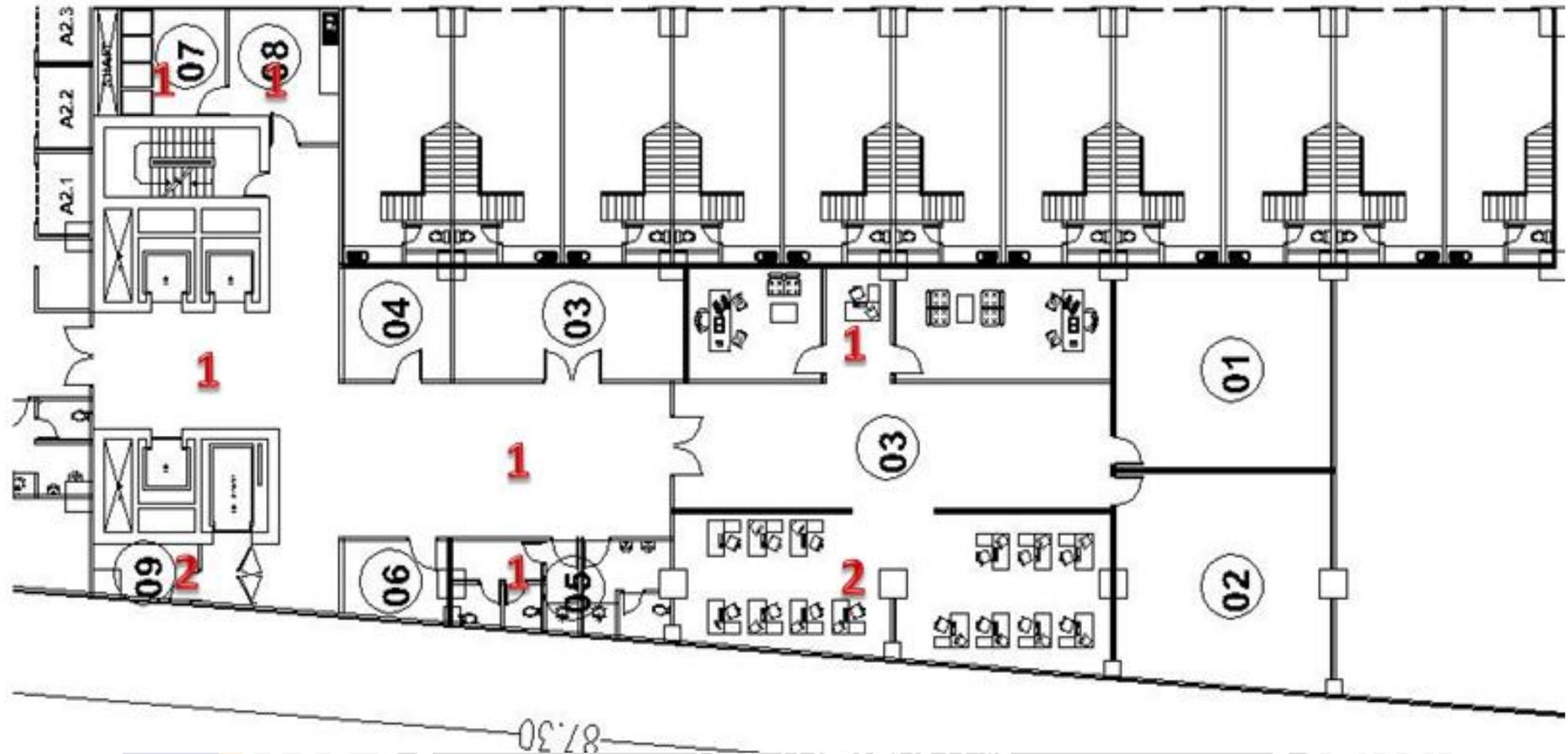
Nom. Cross Sect. (mm ²)	Conductor		Insulation	Inductance (mH/km)	Current-Carrying Capacity at 30°C * in air Max. (A)	Short circuit current at 1 sec Max. (kA)
	DC Resistance at 20°C	AC Resistance at 70°C	Insulation Resistance at 70°C			
	Max. (Ω/km)	Max. (Ω/km)	Min. (M.Ω.km)			
1.5	12.1	14.478	0.010	0.329	19	0.17
2.5	7.41	8.866	0.009	0.318	25	0.29
4	4.61	5.516	0.0077	0.297	34	0.46
6	3.08	3.685	0.0065	0.281	44	0.69
10	1.83	2.190	0.0065	0.278	61	1.15
16	1.15	1.376	0.0052	0.255	82	1.84
25	0.727	0.870	0.0050	0.252	108	2.88
35	0.524	0.627	0.0044	0.244	134	4.03

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

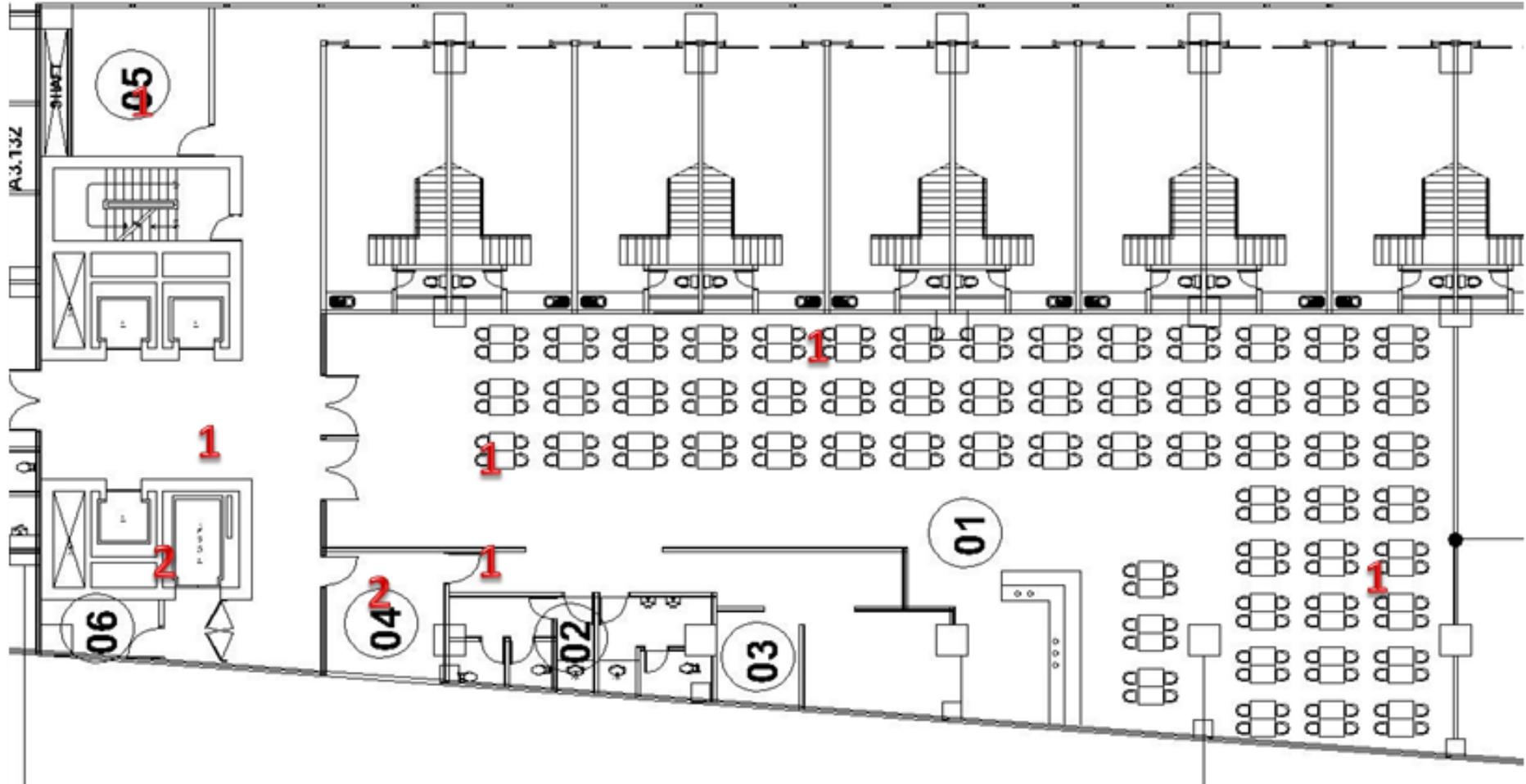
Lampiran 3 Denah Ruang dan Pembagian Zona proteksi Petir



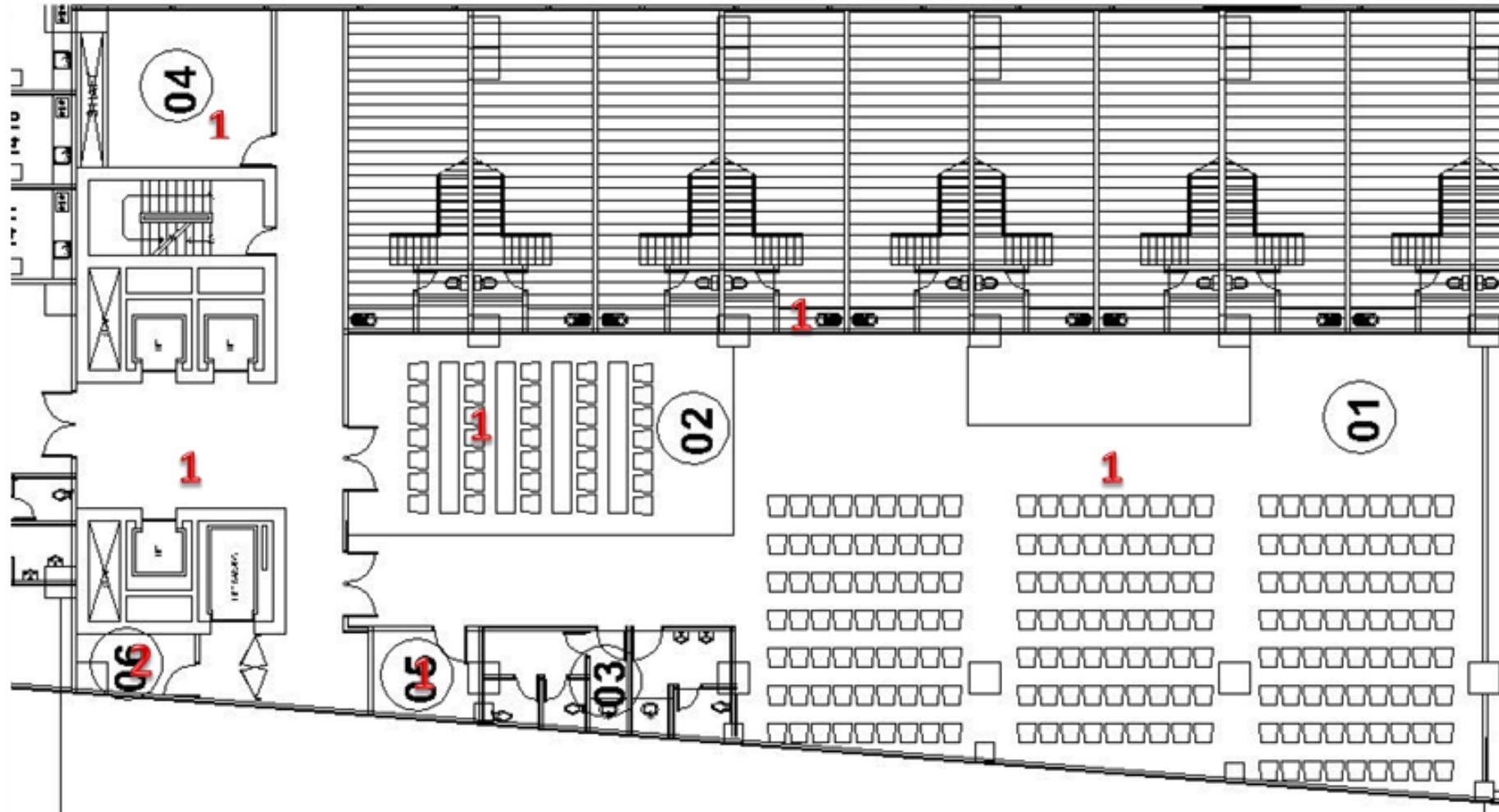
Gambar L3 – 1. Denah Lantai 1



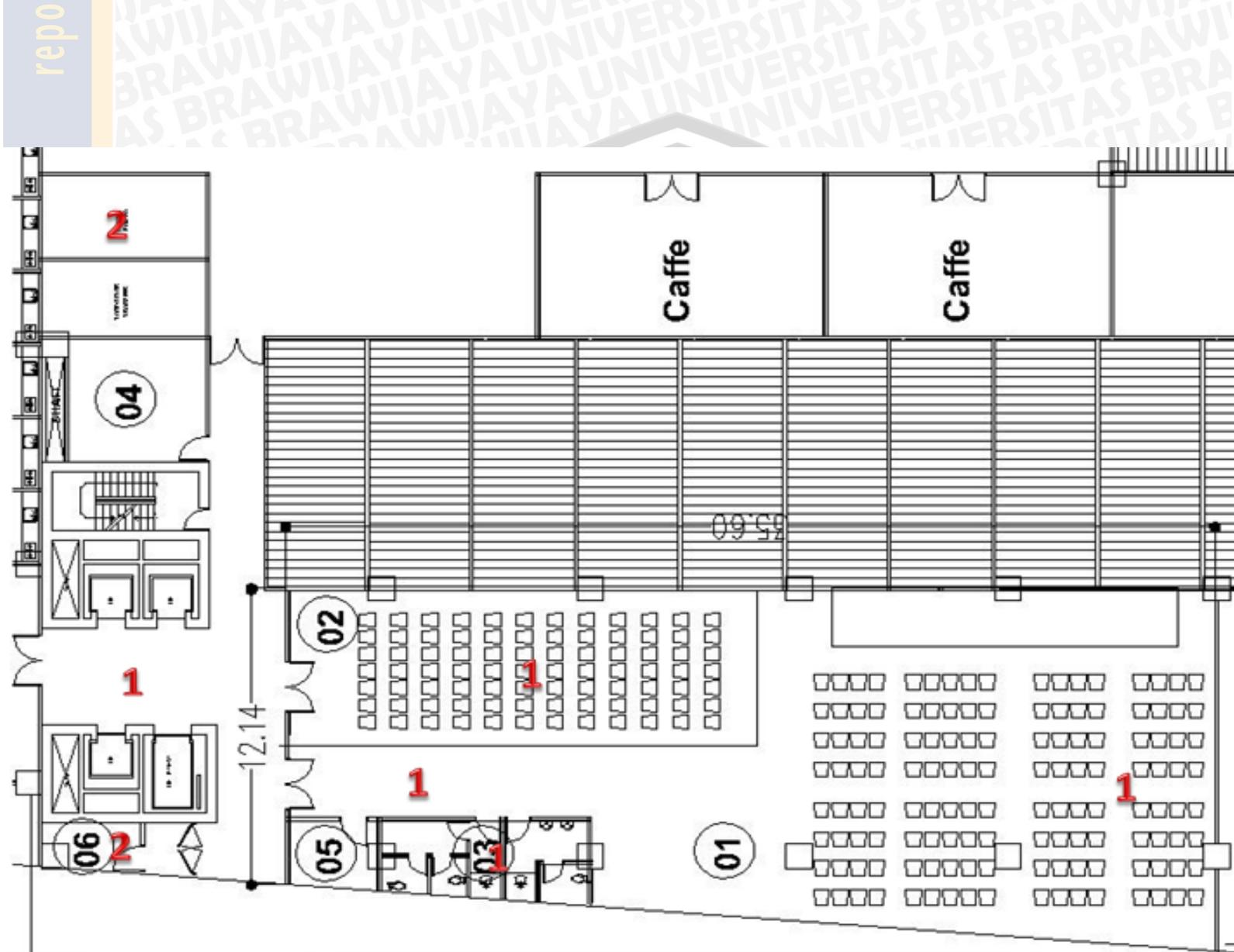
Gambar L3 – 2. Denah Lantai 2



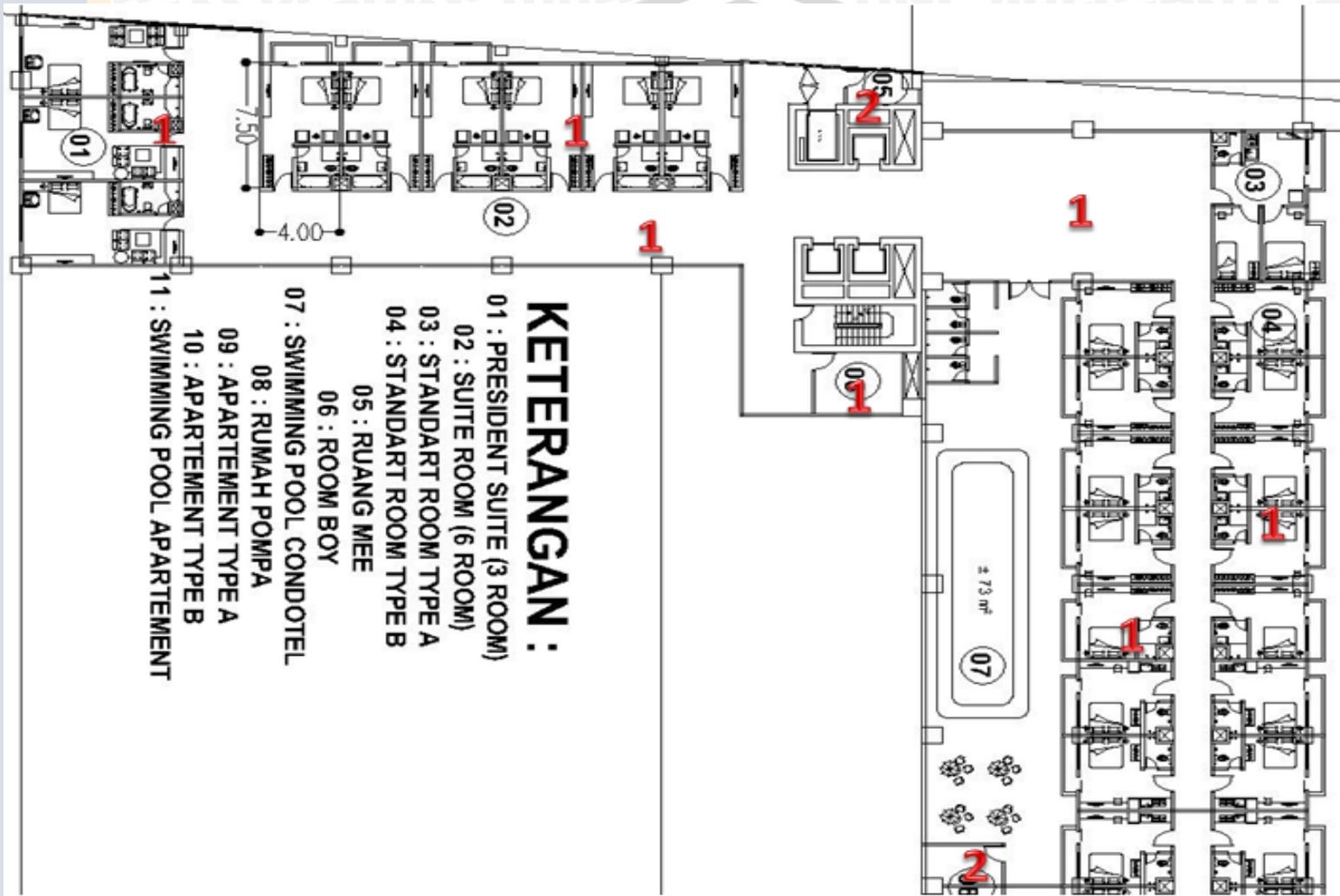
Gambar L3 – 3. Denah Lantai 3



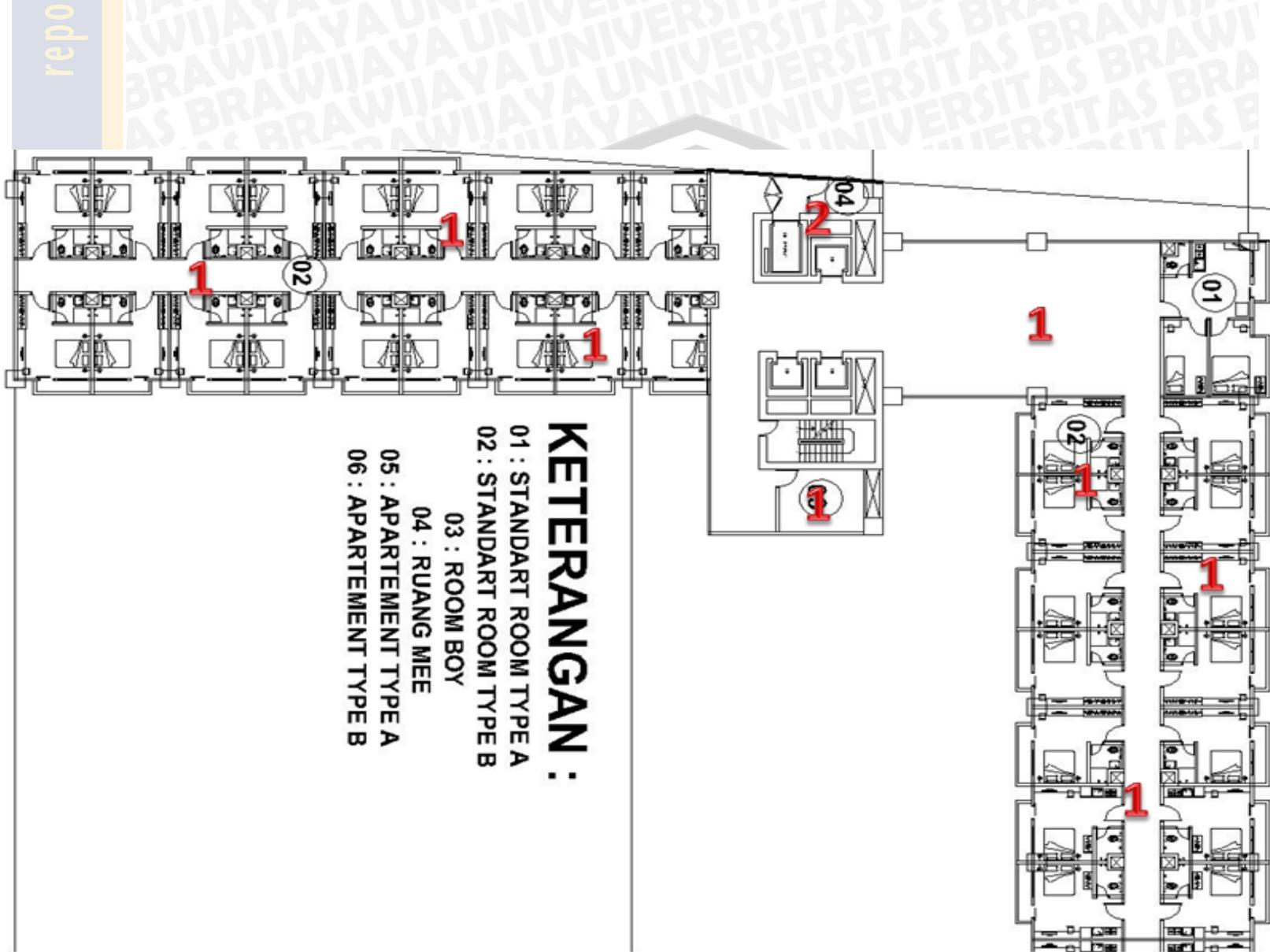
Gambar L3 – 4. Denah Lantai 4



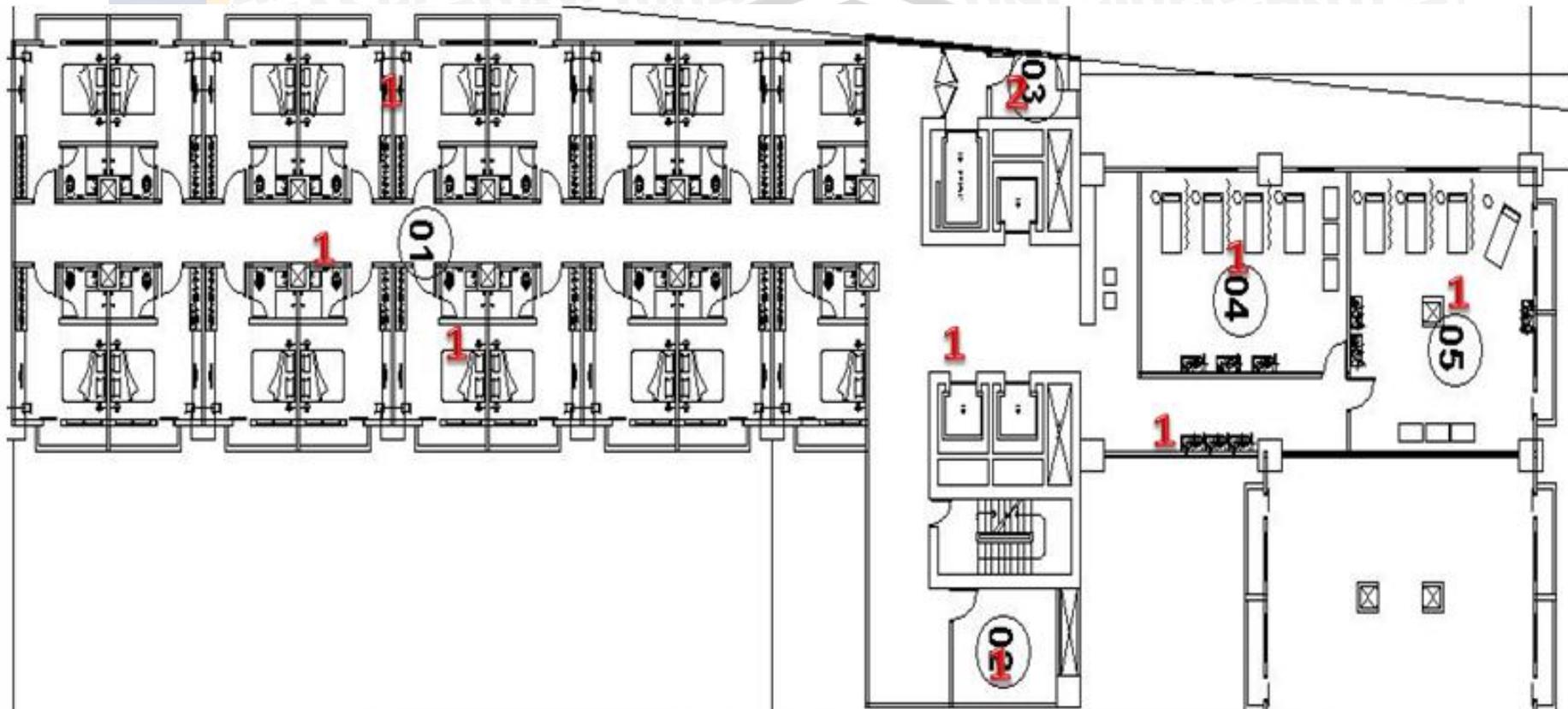
Gambar L3 – 5. Denah Lantai 5



Gambar L3 – 6. Denah Lantai 6



Gambar L3 – 7. Denah Lantai 7 – 14



Gambar L3 – 8. Denah Lantai 15

Lampiran 4. Rating Pengaman (MCB)

Daya Tersambung (VA)	Pembatas Arus (A)	Pengukuran
450	1 x 2	Alat ukur kwh meter satu fasa 220V dua kawat
900	1 x 4	
1.300	1 x 6	
2.200	1 x 10	
3.500	1 x 16	
4.400	1 x 20	
3.900	3 x 6	
6.600	3 x 10	
10.600	3 x 16	
13.200	3 x 20	
16.500	3 x 25	
23.000	3 x 35	
33.000	3 x 50	
41.500	3 x 63	
53.000	3 x 80	
66.000	3 x 100	
82.000	3 x 125	Alat ukur kwh meter tiga fasa 380V empat kawat dengan trafo arus tegangan rendah
105.000	3 x 160	
131.000	3 x 200	
147.000	3 x 225	
164.000	3 x 250	
197.000	3 x 300	
233.000	3 x 353	
279.000	3 x 425	
329.000	3 x 500	
414.000	3 x 630	
526.000	3 x 800	
630.000	3 x 1.000	

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002



Lampiran 5. Pengaplikasian Isolation Spark Gap



Figure 5.7 a Isolatng spark gap



Figure 5.7 b Isolatng spark gap for isolatng metal systems of different potentials

