

PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL PADA CONDOTEL BOROBUDUR BLIMBING KOTA MALANG

Priya Surya Harijanto¹, Moch. Dhofir², Soemarwanto³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: priyasuryateub63@gmail.com

Abstrak— Sambaran petir merupakan ancaman bagi gedung bertingkat. Pada gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang yang masih dalam tahap perencanaan pembangunan perlu dirancang system proteksi petir internal agar dapat melindungi seluruh peralatan di dalam gedung. Hal ini dilakukan dengan pemasangan arrester dan bonding ekipotensial dan melakukan pemerisaian terhadap peralatan listrik dan TI serta seluruh bagian konduktif di dalam struktur bangunan.

Pada makalah ini dilakukan analisis tegangan lebih pada tingkat proteksi level III dengan arus petir 100 kA. Gelombang tegangan berjalan yang timbul berkisar 0,001 kV hingga 1,176 kV. Sedangkan pada titik pembumian akan mengalami kenaikan tegangan sebesar 100 kV. Selanjutnya, tegangan induksi yang timbul akibat loop – loop antara *down conductor* dengan kabel catu daya sebesar 110 kV/m² dan 60,89 kV/m². Sedangkan tegangan induksi yang timbul akibat loop – loop pada kabel telekomunikasi dan TI 300 V/m dan 200 V/mm.

Pembagian zona proteksi petir pada gedung terbagi menjadi LPZ 1 dan 2. Perancangan sistem proteksi internal pada Gedung Condotel Blimbing Kota Malang dilakukan dengan pemasangan arrester 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 arrester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV dan pada bagian SDP ditempatkan arrester kelas D dengan tingkat pemotongan 1,5 kV hingga 0,8 kV bergantung pada LPZ 1 atau 2, kemudian seluruh bagian akan diikat pada bonding ekipotensial yang akan dijadikan satu titik pembumian.

Kata Kunci— Proteksi, Arrester, Bonding Ekipotensial, LPZ.

BAB I. PENDAHULUAN

Petir merupakan ancaman yang serius bagi apapun yang ada di sekitar daerah sambaran petir. Bagi manusia dan bangunan, petir dapat menyebabkan kematian dan kebakaran. Sedangkan bagi peralatan listrik dan elektronik sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan fatal akibat surja arus dan tegangan dari sambaran petir. Untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan listrik dan elektronik dari bahaya gelombang surja dan radiasi elektromagnetik akibat adanya sambaran petir, maka dalam skripsi ini akan dilakukan suatu perencanaan sistem proteksi petir internal yang mencakup pembahasan analisis gelombang berjalan, analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian, analisis tegangan induksi, penentuan zona proteksi petir, dan penentuan kelas peralatan proteksi petir pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Fungsi Proteksi Internal

Sistem proteksi petir internal berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dan elektronik dari surja petir. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memasang arrester dan bonding ekipotensial atau memberi jarak aman antara komponen jaringan catu daya, teknologi informasi dan elemen konduktif lainnya didalam bangunan atau struktur [1].

2. Pengaruh Kenaikan Tegangan Pada Pembumian

Apabila arus petir dengan puncak sebesar I_m mengalir ke titik pembumian dengan resistansi R_{st} , maka potensial di titik pembumian akan naik. Kenaikkan tegangan tersebut sebesar :

$$U_m = I_m \cdot R_{st} \quad (1)$$

Dengan U_m = Jatuh tegangan pada pembumian

I_m = Arus puncak petir

R_{st} = Tahanan pembumian

Arus puncak petir dapat digunakan untuk menentukan penangkap petir sesuai tingkat proteksi yang direncanakan seperti pada Tabel 1.

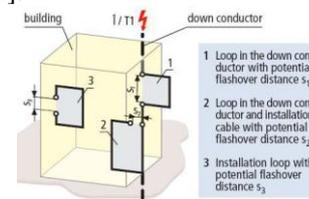
Tabel 1. Tingkat Proteksi Petir

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

Sumber : Hasse, 2008: 49

3. Tegangan Induksi Elektromagnetik yang Membentuk Loop

Timbulnya induksi elektromagnetik pada loop seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 yang terdapat di dalam suatu instalasi atau konstruksi yang tertutup atau yang terletak didekat konduktor yang dialiri arus disebabkan oleh kecuraman arus petir (di/dt) maksimum[2].



Gambar 1. Daerah Induksi Dalam Loop

Sumber : DEHN, 2007: 19

Loop 1 adalah loop terbuka yang terbentuk dari *down conductor* sendiri apabila *down conductor* tidak berbentuk lurus atau biasanya apabila *down conductor* mengikuti bentuk gedung dan kemungkinan tembus pada daerah 1. Sedangkan loop 2 terbentuk dari *down conductor* dengan kabel catu daya peralatan listrik dan elektronik di dalam gedung kemungkinan tembus pada daerah 2. Loop 3 adalah loop yang timbul akibat dua

kabel yang berada dimanapun di dalam gedung yang bertemu pada suatu terminal dan membentuk loop baik antara dua kabel catu daya dan telekomunikasi/teknologi informasi dengan kemungkinan tembus pada pada daerah 3. Besar tegangan induksi dapat diketahui dengan Persamaan (2) :

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

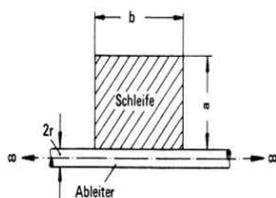
dengan : U_m : Tegangan induksi pada loop

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 dilihat pada Gambar 2 dan dihitung dengan persamaan (3) :

$$M = 0,2 b \ln \frac{a}{r} \mu H \quad (3)$$

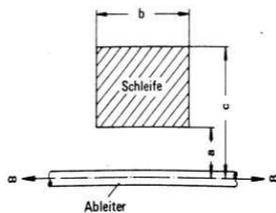


Gambar 2. Induksi Elektromagnetik Loop 2

Sumber : Hasse, 2008 : 51

Dan untuk loop 3 dapat dilihat pada Gambar 3 dan dihitung dengan Persamaan (4) :

$$M = 0,2 b \ln \frac{c}{a} \mu H \quad (4)$$

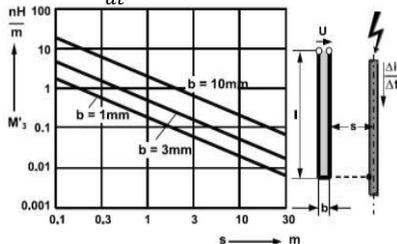


Gambar 3. Induksi Elektromagnetik Loop 3

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 4. Apabila panjang kabel (l) dan jarak kabel dengan *down conductor* (s) telah diketahui, maka nilai (M) dapat diketahui dari Gambar 4 dan disubstitusikan dalam Persamaan (5) untuk mendapatkan besar tegangan induksi yang terjadi pada loop (U) sebagai berikut,

$$U = M \cdot l \cdot \frac{di}{dt} \quad (5)$$

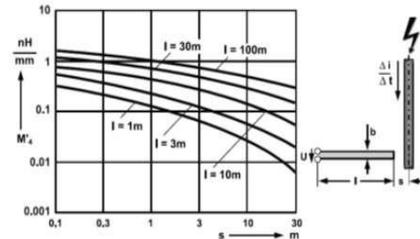


Gambar 4. Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Vertikal

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 5 dan disubstitusikan dalam Persamaan (6) untuk mendapatkan besar tegangan induksi yang terjadi pada loop (U) sebagai berikut,

$$U = M \cdot b \cdot \frac{di}{dt} \quad (6)$$



Gambar 5. Loop Akibat Kabel Telekomunikasi Atau Teknologi Informasi Horizontal

Sumber : Hasse, 2008 : 54

Tabel 2. Tingkat Proteksi dan Arus Petir Subsequent

Protection Level	Subsequent Lightning Impulse Current			
	I_M (kA)	T_1 (μ s)	T_2 (μ s)	I/T (kA/ μ s)
I	50	0,25	100	200
II	37,5	0,25	100	150
III - IV	25	0,25	100	100

Sumber : Hasse, 2008 : 46

di/dt dapat diketahui dengan membagi arus puncak (I_M) dengan waktu muka gelombang arus petir (T_1).

4. Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan adalah gejala transient yang merupakan fungsi waktu dan mempunyai selang waktu pendek. Hal ini terjadi karena adanya surja tegangan dan arus akibat adanya sambaran petir. Besarnya tegangan gelombang berjalan tergantung dari media tempat gelombang berjalan tersebut menjalar. Persamaan dan besar gelombang berjalan dapat ditentukan dengan cara mencari nilai impedansi surja dari jaringan. Impedansi surja dari jaringan kawat udara distribusi tegangan menengah 20 kV dapat diketahui melalui Persamaan (7) berikut[3] :

$$Z = 60 \ln \frac{2h}{r} \quad (7)$$

Dengan Z = impedansi surja saluran (Ω)

h = tinggi kawat dari tanah (m)

r = jari – jari konduktor (m)

Data ketinggian kawat diatas tanah dan jari – jari konduktor dapat diketahui dari parameter impedansi surja kawat seperti surja kawat seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3[4].

Tabel 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 :

$$z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{R}{r} \quad (8)$$

dengan , z = impedansi surja kabel (Ω)

ϵ = permitivitas kabel (2,5 sampai 4)

R = jari-jari isolasi pembungkus (mm)

r = jari-jari konduktor (mm)

besar kabel yang dipakai mengacu pada kabel yang dijual di pasaran.

Gelombang tegangan dan arus berjalan yang melewati sebuah saluran dengan impedansi Z sebagian akan diteruskan dan sebagian lainnya akan dipantulkan. Gelombang yang diteruskan dan dipantulkan memiliki koefisien diketahui dari Persamaan (9) dan (10) berikut [3] :

$$\Gamma_s = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (9)$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (10)$$

koefisien terusan untuk gelombang yang datang pada persimpangan apabila ditinjau dari impedansi saluran adalah,

$$T = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (11)$$

Sedangkan koefisien terusan bila ditinjau dari sisi jumlah cabang saluran adalah,

$$T = \frac{2}{n} \quad (12)$$

Maka besar gelombang tegangan berjalan yang diteruskan akan bernilai puncak sebesar,

$$e_t(t) = T \cdot e_i(t) \quad (13)$$

5. Zona Proteksi Petir Internal

Zona proteksi internal adalah zona proteksi yang berfungsi untuk menentukan kebutuhan perlindungan 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] :

1. LPZ 1 : Zona tempat, benda atau peralatan yang 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 arrester 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 arrester yang sesuai.

6. Arrester

Arrester atau biasa juga disebut *Lighting Arrester* 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 [1] :

1. Arrester arus petir yang berfungsi memotong energi petir pertama/ membuang energi petir terbesar ke tanah / pemotong arus petir paling besar/ pemotong arus petir mayor. Arrester ini termasuk ke dalam arrester kelas B.
2. Arrester tegangan lebih yang berfungsi lebih untuk membatasi tegangan hingga ke tingkat yang sesuai. Arrester ini termasuk ke dalam arrester kelas C dan D.

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

7. Koordinasi Arrester

- A. Arrester arus (kelas B)
 - a. Untuk proteksi pada zona $0_A - 1$.
 - b. Arrester digunakan pada titik masuk saluran catu daya ke dalam gedung.
- B. Arrester tegangan lebih (kelas C dan D)
 - a. Proteksi pada zona $0_B - 1$ dan zona berikutnya.
 - b. Arrester digunakan untuk instalasi listrik tetap pada gedung (kelas C).
 - c. Arrester digunakan pada socket utama (kelas D).
 - d. Arrester digunakan untuk peralatan (kelas D).

Berikut adalah kategori ketahanan surja oleh yang mana merupakan dasar pemilihan kapasitas arrester yang akan digunakan pada setiap kategori koordinasi pada Tabel 4 :

Tabel 4. Kategori Ketahanan Surja

Tegangan Kerja Sistem (V)	Kategori Tingkat Pemotongan Tegangan Kerja Arrester (V)			
	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

8. Bonding Ekipotensial

Bonding ekipotensial diperlukan untuk semua instalasi listrik yang baru dipasang karena bonding ekipotensial mengatasi tegangan lebih pada peralatan elektronika di dalam suatu bangunan. Bonding ekipotensial menghilangkan perbedaan potensial, yakni mencegah kontak tegangan berbahaya antara konduktor pelindung dari instalasi tenaga listrik tegangan rendah dan logam, air, gas dan pemanasan pipa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1. Studi Literatur

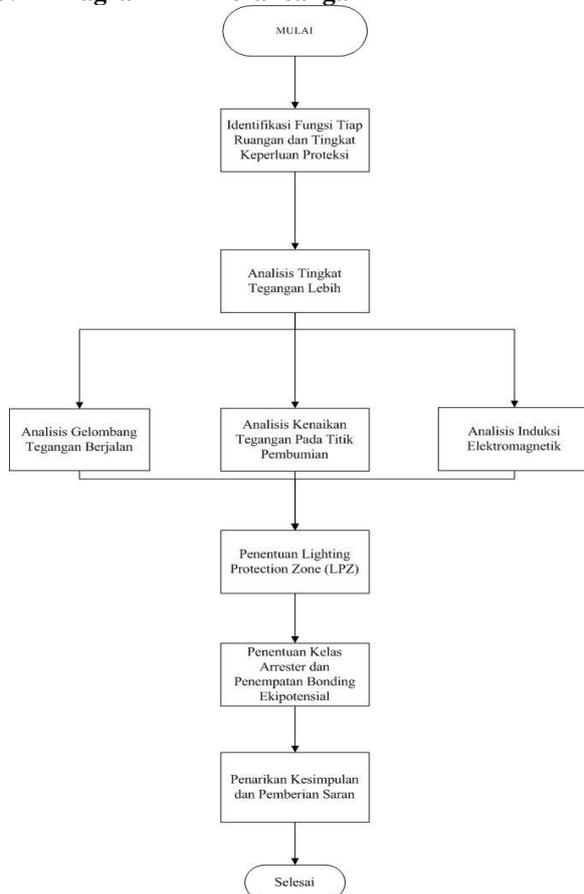
Studi literatur yang akan dilakukan adalah mempelajari dan memahami tentang fungsi proteksi internal pada bangunan, distribusi arus petir, bahaya sambaran petir terhadap peralatan listrik dan elektronik, zona proteksi petir, mekanisme kopling, arrester, dan bonding ekipotensial.

2. Pengambilan Data

Data – data yang diperlukan dalam proses pengerjaan skripsi ini meliputi data primer dan sekunder.

- Data Primer : nama ruang, fungsi ruang, dan keperluan proteksi tiap ruang.
- Data Sekunder : impedansi surja kabel, parameter petir, tingkat proteksi, dan BIL peralatan

3. Diagram Alir Perancangan



Gambar 6. Diagram Perancangan

Sumber : Penulis

BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN

1. Analisis Keperluan Proteksi Tiap Ruang

Dari analisis keperluan proteksi tiap ruang yang didasarkan seberapa vital ruang tersebut bagi operasional gedung, maupun dari sifat ruangan yang mudah terbakar maka didapat pada ruang accounting, resepsionist, keamanan, MEE, penyimpanan gas, pompa, dan motor lift adalah ruangan yang sangat perlu untuk diberikan proteksi.

2. Analisis Tingkat Tegangan Lebih

Penentuan tingkat tegangan lebih terdapat tiga metode analisis yaitu, analisis gelombang tegangan berjalan, analisis kenaikan tegangan pada titik pembumian, dan analisis tegangan induksi elektromagnetik.

A. Analisis gelombang tegangan berjalan

Sebelum melanjutkan perhitungan gelombang tegangan berjalan perlu diketahui kondisi kelistrikan dari Gedung Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang. 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.

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 perhitungan Z ekivalen (Z_2) 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 cabang = 21

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

$$Z_1 = 66 \Omega, Z_2 = 82 \Omega \text{ maka}$$

$$Z_2' = \frac{82}{21} = 3,9 \Omega$$

$$\Gamma = \frac{3,9 - 66}{3,9 + 66} = -0,88$$

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

Sehingga sesuai dengan Persamaan (13) maka besar puncak gelombang tegangan yang keluar dari sisi MDP penerangan adalah sebesar,

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

- ✓ Perhitungan sisi SDP penerangan lantai 1 cabang = 14

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

$$Z_1 = Z_2' = 3,9 \Omega, Z_2 = 75 \Omega \text{ maka}$$

$$Z_2' = \frac{75}{14} = 5,4 \Omega$$

$$\Gamma = \frac{5,4 - 3,9}{5,4 + 3,9} = 0,16$$

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

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

Sehingga menurut hasil perhitungan gelombang tegangan berjalan yang dimungkinkan masuk ke beban penerangan pada lantai 1 memiliki nilai puncak sebesar 0,018 kV. perhitungan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada MDP seluruh pelayanan beban ditampilkan pada Tabel 5 berikut,

Tabel 5. Perhitungan MDP

Pelayanan	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _t (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 6 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP penerangan seluruh lantai.

Tabel 6. Perhitungan SDP Penerangan

Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _t (kV)
1	14	15	3.90	75	5.36	0.16	0.13	0.02
2	10	11	3.90	75	7.50	0.32	0.18	0.02
3	7	8	3.90	75	10.71	0.47	0.25	0.03
4	7	8	3.90	75	10.71	0.47	0.25	0.03
5	17	18	3.90	75	4.41	0.06	0.11	0.01
6	31	32	3.90	75	2.42	-0.23	0.06	0.01
7	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
8	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
9	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
10	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
11	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
12	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
13	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
14	36	37	3.90	75	2.08	-0.30	0.05	0.01
15	23	24	3.90	75	3.26	-0.09	0.08	0.01

Pada Tabel 7 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP Motor Pompa seluruh grup

Tabel 7. Perhitungan SDP Motor Pompa

Jenis Pompa	Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _t (kV)
Pompa Air Tanah	1	6	7	20.5	75	12.50	-0.24	0.29	0.168
Pompa Air Kebakaran	1	6	7	20.5	75	12.50	-0.24	0.29	0.168
Pompa Air Transfer	5	6	7	20.5	75	12.50	-0.24	0.29	0.168
Pompa Air Kolam Renang	6	1	2	20.5	75	75.00	0.57	1.00	0.588

Pada Tabel 8 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP Stop Kontak seluruh lantai.

Tabel 8. Perhitungan SDP Stop Kontak

Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _t (kV)
1	11	12	5.47	75.00	6.82	0.11	0.17	0.03
2	13	14	5.47	75.00	5.77	0.03	0.14	0.03
3	6	7	5.47	75.00	12.50	0.39	0.29	0.05
4	6	7	5.47	75.00	12.50	0.39	0.29	0.05
5	8	9	5.47	75.00	9.38	0.26	0.22	0.04
6	28	29	5.47	75.00	2.68	-0.34	0.07	0.01
7	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
8	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
9	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
10	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
11	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
12	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
13	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
14	35	36	5.47	75.00	2.14	-0.44	0.06	0.01
15	22	23	5.47	75.00	3.41	-0.23	0.09	0.02

Pada Tabel 9 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP Air Conditioner seluruh lantai.

Tabel 9. Perhitungan SDP Air Conditioner

Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _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

Pada Tabel 10 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP Exhaust Kebakaran seluruh lantai.

Tabel 10. Perhitungan SDP Exhaust Kebakaran

Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _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

Pada Tabel 11 ditunjukkan besar gelombang tegangan berjalan yang masuk pada SDP Motor Lift seluruh grup.

Tabel 11. Perhitungan SDP Motor Lift

Jenis Lift	Lantai	Cabang	n	Z ₁ (Ω)	Z ₂ (Ω)	Z _{2'} (Ω)	Γ	T	e _t (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

dari seluruh perhitungan gelombang tegangan berjalan didapat bahwa sisi MDP Motor Pompa dan Lift, SDP motor pompa kolam renang, SDP seluruh Lift perlu diberi proteksi dikarenakan gelombang tegangan berjalan yang masuk ke peralatan masih cukup tinggi dan bisa merusak peralatan.

B. Analisis Kenaikan Pada Pembumihan

Karena gedung dianggap memiliki proteksi eksternal dengan efisiensi sebesar 91 % dan tahanan pembumihan kurang dari 1 Ω. Maka dengan mengacu Tabel 1 dan persamaan (1) diasumsikan arus puncak petir (I_M) sebesar 100 kA dan nilai tahanan pembumihan (R_{ST}) sebesar 1 Ω akan didapatkan besar kenaikan tegangan pada titik pembumihan yaitu sebesar,

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

Dengan kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV ini akan sangat membahayakan 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.

C. Analisis Tegangan Induksi Elektromagnetik

Pada level proteksi tingkat III menurut Tabel 2, memiliki 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 [1].

Tabel 12 Hasil Perhitungan Tegangan Induksi

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

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 12 diatas.

3. Analisis Zona Proteksi Petir LPZ, Kebutuhan Arrester, dan Penempatan Bonding Ekipotensial.

Pada Condotel Borobudur Blimbing Kota Malang didapat dari analisis zona proteksi petir didapat pembagian pada tiap ruang yaitu dikategorikan dalam LPZ 1 dan LPZ 2. Pembagian zona proteksi petir ini akan berkaitan dengan penentuan kelas arrester yang akan digunakan pada tiap ruangan yang ada. Sehingga akan didapati arrester yang akan digunakan adalah kelas D untuk kategori II dan I dengan tingkat pemotongan 1,5 kV untuk daerah yang termasuk LPZ 1 dan tingkat pemotongan 0,8 kV untuk daerah yang termasuk LPZ 2. Pada seluruh bagian konduktif akan dihubungkan dengan bonding ekipotensial kemudian dijadikan satu titik pentanahan baik bagian MDP, SDP, dan seluruh instalasi logam. Bertujuan apabila ada kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV yang akan membuat seluruh jaringan akan ikut naik potensialnya, maka bonding ekipotensial akan segera menyamakan tegangan agar tidak terjadi perbedaan

potensial yang menyebabkan adanya tembus elektrik pada ujung – ujung bagian konduktif dan merusak peralatan listrik dan elektronik.

V. PENUTUP

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:

a. Pada tingkat proteksi petir dengan arus petir sebesar 100 kA (Tingkat III) didapatkan tingkat tegangan lebih yang diakibatkan oleh 3 hal berikut :

1. 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.
2. Kenaikan tegangan pada titik pembumian sebesar 100 kV.
3. 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.

b. 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

c. Perancangan sistem proteksi internal pada Gedung Condotel Blimbing Kota Malang dilakukan dengan pemasangan arrester 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 arrester kelas C dengan tingkat pemotongan 2,5 kV dan pada bagian SDP ditempatkan arrester 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasse, Peter. 2008. *IET Power and Energy Series 33 :Overvoltage Protection of Low Voltage Systems Second Edition*. London : The Institution of Engineering and Technology.
- [2] DEHN.2007. *Lightning Protection Guide*. Jerman: DEHN+SÖHNE.
- [3] Hutaeruk, Ir. T.S. 1989. *Gelombang Berjalan Proteksi surja*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Harjanto, Dwi. Optimasi Penempatan Arrester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*). Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro