

**SIMULASI PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN METAL
OXIDE VARISTOR (MOV) PADA TEGANGAN RENDAH**

(Skripsi)

Oleh

**ESTHERINA ERMİ SESARI ETA
1815031021**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

SIMULASI PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN METAL OXIDE VARISTOR (MOV) PADA TEGANGAN RENDAH

Oleh

ESTHERINA ERMI SESARI ETA

Sambaran petir yang mengenai gedung/bangunan dapat menimbulkan terjadinya kerusakan akibat besarnya tegangan lebih surja petir yang timbul. Penelitian ini membuat simulasi sistem proteksi surja dengan menggunakan *Metal Oxide Varistor* (MOV) model IEEE WG 3.4.11. Ada 2 jenis rangkaian yang disimulasikan. Rangkaian pertama menggunakan dua MOV yang dipasang antara fasa–netral dan netral–*ground*. Rangkaian kedua menggunakan tiga MOV yang dipasang antara fasa–netral, netral–*ground*, dan fasa–*ground*. Rangkaian disimulasikan pada saluran tegangan rendah menggunakan program MATLAB/Simulink. Tegangan potong diukur antara fasa–netral, netral–*ground*, dan fasa–*ground*. Hasil simulasi rangkaian tipe 2 menghasilkan tegangan potong yang lebih kecil dibandingkan dengan rangkaian simulasi tipe 1. Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa kinerja MOV rangkaian tipe 2 lebih baik dalam memotong tegangan impuls petir dibanding MOV rangkaian tipe 1.

Kata kunci: Proteksi Tegangan Lebih, Tegangan Impuls Petir, *Surge Protective Devices*, *Metal Oxide Varistor*, Simulasi.

ABSTRACT

OVERVOLTAGE PROTECTION SIMULATION USING METAL OXIDE VARISTOR (MOV) ON LOW VOLTAGE

By

ESTHERINA ERMI SESARI ETA

Lightning strikes on buildings can cause damage due to the overvoltage of the lightning surge. This study simulates a surge protection system using an IEEE WG 3.4.11 model Metal Oxide Varistor (MOV). There are two types of circuits simulated. The first circuit uses two MOVs installed between the phase–neutral and neutral–ground terminals. The second circuit utilizes three MOVs, which are installed between the phase–neutral, neutral–ground, and phase–ground connections. The circuits were simulated on a low–voltage line using the MATLAB/Simulink program. The residual voltages were measured between phase–neutral, neutral–ground, and phase–ground. The simulation results for circuit type 2 produced a smaller residual voltage compared to circuit type 1. Based on the simulation results, it can be concluded that the performance of the MOV in circuit type 2 is more effective in limiting lightning impulse voltage compared to the MOV in circuit type 1.

Keywords: Overvoltage Protection, Lightning Impulse Voltage, Surge Protective Devices, Metal Oxide Varistor, Simulation.

**SIMULASI PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN METAL
OXIDE VARISTOR (MOV) PADA TEGANGAN RENDAH**

Oleh

ESTHERINA ERMİ SESARI ETA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : **SIMULASI PROTEKSI TEGANGAN LEBIH
MENGUNAKAN METAL OXIDE
VARISTOR (MOV) PADA TEGANGAN
RENDAH**

Nama Mahasiswa : **Estherina Ermi Sesari Eta**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815031021**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. — **Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**

NIP 19700528 199803 2 003

NIP 19711130 199903 1 003

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Herlinawati, S.T., M.T.

Sumadi, S.T., M.T.

NIP 19710314 199903 2 001

NIP 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**

Sekretaris : **Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.**

Penguji : **Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. !
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 4 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi saya yang berjudul “SIMULASI PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN METAL OXIDE VARISTOR (MOV) PADA TEGANGAN RENDAH” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya nyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Juni 2025



Estherina Ermi Sesari Eta
NPM 1815031021

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bogor, 21 Januari 2001 sebagai anak pertama yang lahir dari pasangan Bapak Alm. Diaztoto dan Ibu Susilawati.

Adapun riwayat pendidikan penulis adalah sebagai berikut: TK Methodist Pagar Alam (2005–2006), SD Xaverius Pagar Alam (2006-2012), SMP Xaverius Pagar Alam (2012-2015), dan SMA 1 Pagar Alam (2015-2018). Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan

Teknik Elektro Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai Anggota Departemen Pengembangan Keteknikan periode 2019 dan 2020. Penulis juga merupakan Anggota UKM *English Society* (Eso) UNILA bidang *Storytelling* dan Anggota Forum Komunikasi Mahasiswa Fakultas Teknik (FKMK-FT) dari tahun 2018 sampai 2020.

Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Pagar Alam pada tahun 2021 dengan judul laporan “Pengukuran Tahanan Sistem Pentanahan dan Arus Bocor pada Trafo Penyulang Matahari di PT. PLN (Persero) ULP Pagar Alam.”

MOTTO

Sebab sekalipun tidak ada dasar untuk berharap, namun Abraham berharap juga dan percaya. Imanya tidak menjadi lemah. Tetapi terhadap janji Allah ia tidak bimbang karena ketidakpercayaan, malah ia diperkuat dalam imannya dan ia memuliakan Allah, dengan penuh keyakinan, bahwa Allah berkuasa untuk melaksanakan apa yang telah Ia janjikan. Karena itu hal ini diperhitungkan kepadanya sebagai kebenaran. – Roma 4

Untuk segala sesuatu ada masanya, untuk apa pun di bawah langit ada waktunya. Ada waktu untuk menangis, ada waktu untuk tertawa; ada waktu untuk meratap, ada waktu untuk menari. Ia membuat segala sesuatu indah pada waktunya, bahkan Ia memberikan kekekalan dalam hati mereka. Tetapi manusia tidak dapat menyelami pekerjaan yang dilakukan Allah dari awal sampai akhir. – Pengkotchah 3

Kesia-siaan belaka, kata Pengkotchah, kesia-siaan belaka, *segala sesuatu* adalah sia-sia. (Pengejaran hikmat) lihatlah, segala sesuatu adalah kesia-siaan dan usaha menjaring angin. (Hikmat dan kebodohan) Tetapi lihat, juga itu pun sia-sia. (Segala usaha dengan jerih payah di bawah matahari) Ini pun sia-sia. Ini pun kesia-siaan dan kemalangan yang besar. I Tak ada yang lebih baik bagi manusia dari pada makan dan minum dan bersenang-senang dalam jerih payahnya. Aku menyadari bahwa ini pun dari tangan Allah. Karena siapa dapat makan dan merasakan kenikmatan di luar Dia?

– Pengkotchah 1-2

Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang.

– Amsal 23:18

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk:

Tuhan Yesus Kristus

Allah yang senantiasa menjaga dan melindungiku setiap waktu. Berkat dan rahmat-Nya selalu besertaku, atas penyertaan-Nya lah aku ada sebagaimana ku ada sampai saat ini.

Papa, Alm. Diaztoto dan Mama, Susilawati

Orang tua yang tidak henti-hentinya berjuang untuk masa depan anak-anaknya, selalu menyemangati dan menguatkan kami.

Adik, Kevin Krisopras

Saudara yang selalu menghibur dan menemani penulis sepanjang waktu.

Keluarga Besar Papa dan Mama

Keluarga yang selalu menyokong dan memberikan dukungan bagi kami.

SANWACANA

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, karunia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik. Skripsi dengan judul “Simulasi Proteksi Tegangan Lebih Menggunakan *Metal Oxide Varistor* (MOV) pada Tegangan Rendah” dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Dalam pengerjaan skripsi ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menjaga dan melindungi penulis setiap waktu.
2. Bapak Alm. Diaztoto dan Ibu Susilawati yang selalu percaya dan mendukung perjalanan anak-anaknya.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dalam menjalani masa pengerjaan skripsi.
8. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan ilmu, arahan, semangat, dan dorongan untuk penulis agar terus maju.
9. Bapak Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang memberikan arahan dan pembelajaran agar tugas akhir penulis berjalan dengan baik.

10. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang memberikan masukan dan saran untuk tugas akhir penulis.
11. Seluruh jajaran Dosen dan Staff Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, pengajaran, serta bimbingan serta membantu penulis dalam segala urusan administrasi.
12. Teman-teman angkatan 2018 sampai 2021 yang sudah banyak membantu penulis dalam menjalani masa perkuliahan ini.
13. Vanny, Kaira, dan Fadila yang sudah memberikan banyak dukungan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
14. Joeyhose yang sudah menemani, menyemangati, dan memberikan banyak bantuan bagi penulis dalam pelaksanaan tugas akhir.
15. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan pengerjaan tugas akhir dan tidak dapat disebutkan satu-persatu.
16. Untuk diri saya sendiri, Esther, yang sudah berusaha menyelesaikan tanggung jawab sampai akhir dan berusaha tetap kuat untuk menghadapi segala hal yang terjadi. Terima kasih sudah berjuang sejauh ini. Mari terus berjuang untuk perjalanan hidup yang berikutnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sebagai penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 14 Juni 2025

Penulis



Estherina Ermi Sesari Eta

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Perumusan Masalah	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tegangan Impuls Petir	5
2.2 <i>Surge Protection Devices</i> (SPDs) Sebagai Sistem Proteksi Tegangan Rendah	6
2.3 <i>Metal Oxide Varistor</i> (MOV)	8
2.4 Kajian Pustaka	9
III. METODE PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian	11

3.3 Diagram Alir Penelitian (Flowchart)	12
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	13
3.4.1 Alat Penelitian	13
3.4.2 Bahan Penelitian.....	13
3.5 Prosedur Penelitian	13
3.5.1 Pemodelan Tegangan Impuls.....	13
3.5.2 Pemodelan <i>Metal Oxide Varistor</i> (MOV).....	14
3.6 Skematik Simulasi Rangkaian	15
3.6.1 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 1.....	15
3.6.2 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 2.....	15
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Pemodelan Tegangan Impuls dan MOV	17
4.4.1 Tegangan Impuls	17
4.4.2 <i>Metal Oxide Varistor</i>	18
4.2 Rangkaian Simulasi	20
4.3 Data Hasil Simulasi.....	21
4.2.1 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 1	21
4.2.2 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 2	21
4.4 Analisa	24
V. PENUTUP	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	28
LAMPIRAN.....	31

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar	
Gambar 2.1 Ilustrasi Tegangan Impuls Petir Standar Penuh.....	6
Gambar 2.2 Rangkaian MOV	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Diagram Blok Pemodelan Rangkaian Simulasi	13
Gambar 3.3 Rangkaian Pemodelan Pemodelan <i>Metal Oxide Varistor</i> (MOV)	14
Gambar 3.4 <i>Single Line Diagram</i> Simulasi Proteksi Tegangan Lebih dengan MOV Rangkaian Tipe 1	15
Gambar 3.5 <i>Single Line Diagram 2</i> Simulasi Proteksi Tegangan Lebih dengan MOV Rangkaian Tipe 2	16
Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Impuls.....	17
Gambar 4.2 Hasil Gelombang Impuls.....	18
Gambar 4.3 Rangkaian Pengujian MOV	19
Gambar 4.4 Hasil Gelombang Pemotongan MOV	19
Gambar 4.5 Rangkaian Simulasi MOV Rangkaian Tipe 1	20
Gambar 4.6 Rangkaian Simulasi MOV Rangkaian Tipe 2	20
Gambar 4.33 Grafik Simulasi MOV Rangkaian Tipe 1 saat Tegangan Impuls 5 kV24	
Gambar 4.34 Grafik Simulasi MOV Rangkaian Tipe 2 saat Tegangan Impuls 5 kV25	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel	
Tabel 2.1 Karakteristik <i>Gas Discharge Tube</i> (GDT), <i>Metal Oxide Varistor</i> (MOV), filter, dan <i>Silicon Avalanche Diode</i> (SAD)	7
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	11
Tabel 4.1 Data Hasil Pemotongan MOV Rangkaian Tipe 1	22
Tabel 4.2 Data Hasil Pemotongan MOV Rangkaian Tipe 2	23

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sambaran petir yang mengenai gedung/bangunan dapat menimbulkan terjadinya kerusakan akibat dari besarnya tegangan lebih (surja) yang timbul akibat sambaran petir tersebut. Kerusakan yang terjadi dapat menimbulkan kerugian bagi pemilik gedung dan masyarakat yang memanfaatkannya. Hal ini menjadi penting terlebih lagi jika gedung yang tersambar merupakan objek vital seperti telekomunikasi, pusat pengolahan data, rumah sakit, dan lain-lain. Contohnya seperti sambaran petir pada Gedung Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Rokan Hulu [1] mengakibatkan gangguan server sehingga akses internet kurang optimal, serta sambaran petir pada *data center* Google di Belgia [2] mengakibatkan $\pm 5\%$ persen disk *Google Compute Engine* (GCE) rusak sementara dan beberapa data rusak permanen. Oleh karena itu, upaya untuk mengurangi resiko kerusakan akibat sambaran petir pada gedung menjadi penting.

Proteksi terhadap sambaran petir pada gedung meliputi dua jenis sistem perlindungan yaitu sistem proteksi eksternal dan internal. Untuk proteksi eksternal gedung dilengkapi dengan sistem penangkal petir, *down conductor*, dan sistem pentanahan. Sedangkan sistem proteksi internal meliputi pemasangan alat pemotong surja petir yang biasa disebut *Surge Protection Devices* (SPDs). SPDs meliputi tiga peralatan dasar yaitu *Gas Discharge Tube* (GDT) atau *Gas Discharge Arrester* (GDA), *Silicon Avalanche Diode* (SAD), dan *Metal Oxide Varistor* (MOV) [3]. SPDs umumnya dipasang pada panel distribusi utama dan panel sub-distribusi pada gedung. Jika gedung merupakan objek vital, maka SPDs juga biasanya dipasang pada instalasi listrik yang dekat dengan peralatan yang akan diproteksi.

Penelitian ini membuat simulasi proteksi surja dengan pemodelan *Metal Oxide Varistor* (MOV) dengan tahanan pentanahan $< 5 \Omega$ (PUIL 2011). Rangkaian disimulasikan di saluran tegangan rendah menggunakan program MATLAB/Simulink.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain sistem proteksi tegangan surja di saluran tegangan rendah.
2. Memodelkan rangkaian simulasi proteksi tegangan surja di perangkat lunak MATLAB/Simulink.
3. Menganalisis kinerja MOV sebagai alat proteksi arus surja petir.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik dan efektivitas instalasi MOV.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain sistem proteksi petir pada saluran tegangan rendah.
2. Bagaimana membuat rangkaian simulasi pemasangan MOV pada tegangan rendah menggunakan program MATLAB/Simulink.
3. Bagaimana menghitung tegangan sisa pemotongan MOV.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. MOV pada saluran rendah 1 fasa.
2. Peralatan yang digunakan merupakan peralatan proteksi zona 2.
3. Pemodelan MOV menggunakan model IEEE WG 3.4.11 dengan tipe DOML01140.
4. Tegangan input surja divariasikan dari 2 kV; 2,5 kV; 3 kV; 3,5 kV; 4 kV; 4,5 kV; 5 kV; 5,5 kV; 6 kV; 6,5 kV; 7 kV; 7,5 kV; 8 kV; 8,5 kV; 9 kV; 9,5 kV; dan 10 kV.
5. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program MATLAB/Simulink.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori mengenai tegangan impuls petir, *Surge Protective Devices* (SPDs), dan *Metal Oxide Varistor* (MOV).

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, garis besar metode yang diusulkan, serta diagram alir metode yang diusulkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas rangkaian dan parameter penelitian, mensimulasikan rangkaian tegangan impuls dan MOV, serta menganalisis hasil sisa tegangan potong.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari data dan pembahasan yang telah dianalisis serta saran untuk pengembangan penelitian berikutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tegangan Impuls Petir

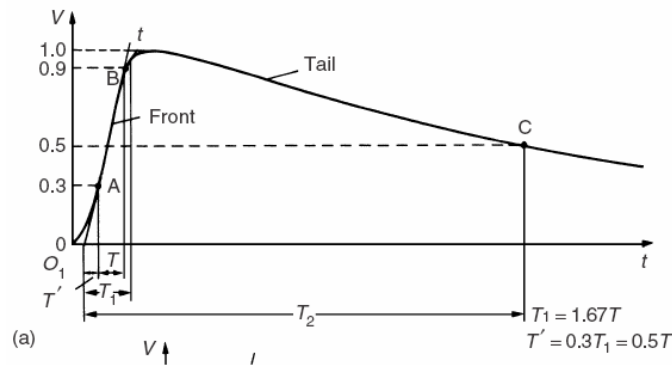
Petir merupakan fenomena alam yang seringkali terjadi. Sambaran petir dapat mempengaruhi sistem kelistrikan. Sambaran petir terdiri dari sambaran langsung ke sistem tenaga listrik, sambaran yang mendekati sistem tenaga listrik, ataupun sambaran jauh yang dapat menyebabkan tegangan surja. [4] Sambaran petir dapat berdampak besar pada instalasi tegangan rendah seperti gedung bertingkat, jalur dan peralatan komunikasi, atau pada peralatan komputer, dll. [5]

Tegangan impuls petir merupakan tegangan searah yang naik ke nilai maksimum dengan cepat lalu kemudian menurun secara perlahan. Standar tegangan impuls petir menurut IEC 60060 adalah $1,2\mu s \pm 30\%$ / $50\mu s \pm 20\%$, dengan toleransi nilai puncak sebesar $\pm 3\%$. [6]

Gelombang tegangan petir dapat direpresentasikan sebagai gelombang eksponensial ganda yang ditentukan oleh persamaan:

$$V = V_0 \cdot [e^{-\alpha \cdot t} - e^{-\beta \cdot t}] \quad (2.1)$$

dimana α & β merupakan konstanta nilai μs . [7]



Gambar 2.1 Ilustrasi Tegangan Impuls Petir Standar Penuh [7]

2.2 *Surge Protective Devices (SPDs) Sebagai Sistem Proteksi Tegangan*

Rendah

Peralatan listrik memiliki toleransi yang terbatas terhadap tegangan lebih. Oleh karena itu, untuk menjaga fungsi peralatan dari tegangan berlebih tidak normal diperlukan proteksi tegangan. [7] Tegangan lebih pada rangkaian listrik AC tegangan rendah merupakan akibat dari petir dan *switching*, atau dapat pula terjadi akibat interaksi antara sistem yang berbeda seperti sistem tenaga dan sistem komunikasi. [8] *Surge Protection Devices (SPDs)* merupakan proteksi petir internal yang bekerja dengan melemahkan dan mengalirkan tegangan lebih ke tanah agar tidak merusak peralatan. SPDs bekerja dengan cara menurunkan impedansi tegangan dan hanya bekerja saat tegangan lebih melebihi kapasitas maksimal. [9]

Untuk melindungi peralatan dari tegangan lebih, perlu diterapkan perlindungan secara bertahap dengan menempatkan SPDs dimulai dari bagian distribusi yang sesuai. Oleh karena itu, koordinasi penggunaan SPDs berupa pemilihan parameter serta penentuan jarak antar tahapan sangatlah penting. [8] Beberapa contoh SPDs yaitu *Gas Discharge Tubes (Spark Gap)*, Varistor, Dioda, dan Filter. Setiap SPDs harus diuji sesuai dengan rekomendasi standar berikut. Standar IEEE C62.41.1-

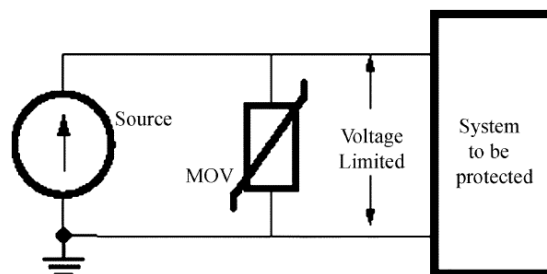
2002 memberikan panduan mengenai tegangan lebih arus rangkaian AC pada tegangan rendah. Tegangan yang ditoleransi pada standar ini tidak melebihi setengah siklus bentuk gelombang normal dalam durasinya. Tegangan lebih yang melebihi batas toleransi perlu ditangani dengan cara yang berbeda, seperti misalnya pengatur tegangan. Selanjutnya, standar IEEE C62.41.2.2002 menjelaskan konsep kategori lokasi dan cara menentukan bentuk gelombang uji, amplitudo tegangan, dan arus yang mendekati tegangan lebih pada instalasi listrik di setiap kategori lokasi. [3]

Tabel 2.1 Karakteristik *Gas Discharge Tube* (GDT), *Metal Oxide Varistor* (MOV), filter, dan *Silicon Avalanche Diode* (SAD) [3]

Karakteristik GDT	Karakteristik MOV	Karakteristik SAD	Karakteristik Filter
<i>Crowbar device</i>	<i>Clamping device</i>	<i>Clamping device</i>	Bekerja dengan prinsip resonansi
Mampu mengalirkan arus besar (beberapa kA)	Mampu mengalirkan arus besar dengan aman (beberapa kA selama beberapa mikrodetik)	Tegangan <i>clamping</i> kecil (0,7-2 V)	Menyaring gelombang sinus frekuensi rendah
Dapat tetap mengalirkan arus dalam keadaan <i>short-circuit</i>	Absorpsi energi yang besar	Harganya tidak mahal	Efektif menghambat atau menghilangkan frekuensi tinggi pada gelombang
Bekerja pada keadaan tegangan tinggi (>100 V)	Respon cepat (<0,5 ns)	Kapasitansi parasitiknya kecil	Dapat mengurangi distorsi
Relatif lebih lambat dalam mengalirkan arus	Harganya tidak mahal		
Kapasitansi parasitiknya kecil (<2 pF)	Kapasitansi parasitiknya besar (1 - 10 nF)		

2.3 Metal Oxide Varistor (MOV)

Jenis SPDs yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Metal Oxide Varistor* (MOV). *Metal Oxide Varistor* (MOV) (dikenal pula sebagai varistor ZnO) menjadi salah satu solusi paling umum untuk arester surja. MOV termasuk kedalam bahan semikonduktor keramik yang dirancang sebagai alat proteksi tegangan lebih. MOV memiliki sifat non-linier antara tegangan dan arus yang tergolong tinggi. Kemampuan absorpsi panas MOV relatif tinggi dalam keadaan pulsa tegangan lebih normal. Arusnya sebagian besar diaktifkan oleh suhu, sehingga panas berlebih dapat menyebabkan kerusakan yang besar. [10]



Gambar 2.2 Rangkaian MOV [11]

Saat tegangan masuk rendah, MOV bekerja sebagai resistor konvensional dengan prinsip Hukum Ohm, tetapi saat tegangan masuk batas toleransi, perangkat menjadi sangat konduktif hingga menghasilkan impedansi rendah terhadap tegangan tinggi. Ketika MOV menjadi konduktif, MOV bekerja dengan prinsip *clamping* hingga maksimum tertentu yang dapat ditahan oleh sistem. Dengan sifat ini, MOV digunakan dalam aplikasi kelistrikan untuk melindungi rangkaian listrik dari tegangan lebih transien. Saat digunakan sebagai proteksi, MOV di-*shunt* dengan sistem yang akan dilindungi, yakni antara saluran sinyal dan ground (Gambar 2.3). Pada tegangan rendah dalam kondisi transien, MOV bekerja layaknya kapasitor keramik dan dipasang sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai filter listrik. [11]

1.4 Kajian Pustaka

Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaplikasian SPDs pada tegangan rendah.

Bhuyan, *et al.* (2015) mensimulasikan sisa tegangan impuls dengan memodelkan arrester surja menggunakan program MATLAB-Simulink. Arus pemodelan arrester surja sebesar 5 kA dan 10 kA, dengan bentuk gelombang arus impuls petir 8/20 μ s. Tegangan sisa yang mengalir dianalisis. Efektivitas model yang dikembangkan diuji dengan membandingkan hasil tegangan uji dengan tegangan sisa dari *datasheet* pabrik. Model dinilai akurat dengan nilai kesalahan relatif tegangan sisa tidak melebihi 1,02%. [12]

Radulović, *et al.* (2018) membahas mengenai koordinasi perangkat pelindung tegangan lebih (SPDs) pada instalasi listrik AC tegangan rendah. Penelitian ini membahas dua tahap sistem proteksi, yaitu pengaruh panjang kabel yang berbeda antar tahap proteksi serta pengaruh jenis dan parameter beban terhadap karakteristik proteksi SPDs. Agar energi surja terdistribusi dengan baik, perlu diberikan impedansi antar tahapan proteksi yang sesuai dengan tingkat proteksi. Impedansi dapat dicapai dengan penggunaan kabel yang cukup panjang antar tahap atau dengan menggunakan jembatan induktif. [13]

Sít'ár, *et al.* (2017) memodelkan arrester surja *Metal Oxide* menggunakan program DYNAST. Dilakukan pemodelan *Metal Oxide Varistor* (MOV) pada tegangan lebih sementara dan *switching*, kondisi *fast-front*, dan kondisi sambaran petir. Hasil simulasi (tegangan sisa) sesuai dengan data katalog. Tegangan puncak dan bentuk gelombang keluaran sangat mendekati data yang diukur dan sesuai dengan hipotesis. Selisih nilai puncak tegangan terukur dan simulasi hanya sebesar 89 Vp. [14]

Ariffen, *et al.* (2011) membahas mengenai pengembangan instalasi pelindung surja *hybrid* dengan efek penambahan filter. SPDs yang digunakan pada

pemodelan ini adalah *Metal Oxide Varistor* (MOV) dan *Silicon Avalanche Diode* (SAD), serta tambahan filter. Hasilnya, penambahan filter berdampak sangat baik untuk membantu tegangan keluar yang jauh lebih rendah setelah terjadi surja, dengan penurunan tegangan tembus sebesar 38%. [9]

Penelitian M. Radulovic (2019) membahas mengenai efek pemasangan varistor pada *power supply* sistem tegangan rendah untuk melindungi dari tegangan surja. Varistor ini memiliki tegangan proteksi yang rendah, juga kemampuan absorpsi energi yang rendah. Analisis menggambarkan sulitnya mengkoordinasi energi varistor dan memasang SPDs ke instalasi tegangan rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi kegagalan termal pada varistor diakibatkan oleh tekanan yang berlebihan. Solusi yang dilakukan adalah dengan menambahkan induktansi berukuran kecil diantara varistor dan SPD. Hasilnya, diperoleh koordinasi energi yang baik sehingga performa proteksi dinilai lebih baik. [15]

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian ini dilaksanakan pada:

Waktu : November 2023 – Juni 2025

Tempat : Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lampung

3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

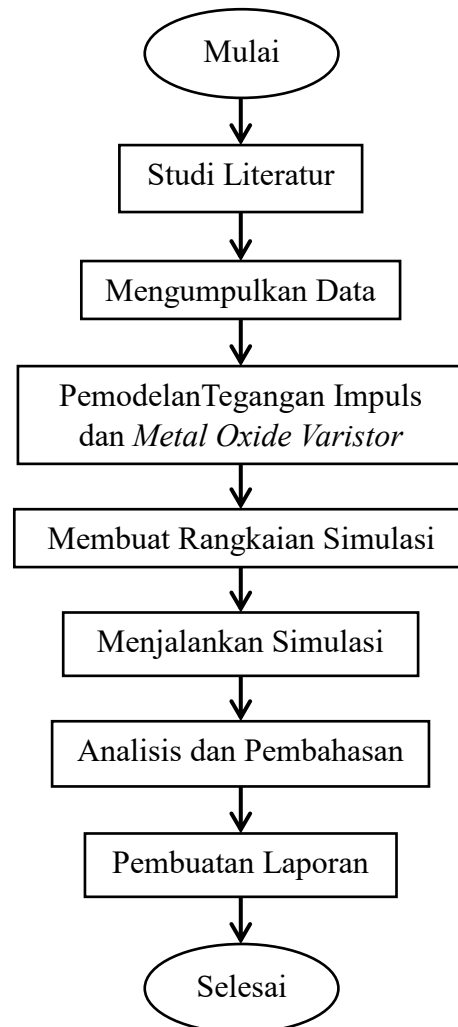
Adapun jadwal kegiatan penelitian ini terdapat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Nov. 2023 – Des. 2023	Jan. 2024 – Apr. 2024	Mei 2024 – Agst. 2024	Sept. 2024 – Des. 2024	Jan. 2025 – Apr. 2025	Mei 2025 – Juni 2025
1	Studi Literatur						
2	Perancangan Metode						
3	Seminar Usul						
4	Pemodelan SPDs						
5	Pembuatan Simulasi						
6	Pengujian dan Pengambilan Data						
7	Analisis dan Pembahasan						
8	Seminar Hasil						
9	Seminar Komprehensif						

3.3 Diagram Alir Penelitian (*Flowchart*)

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1. Alat Penelitian

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

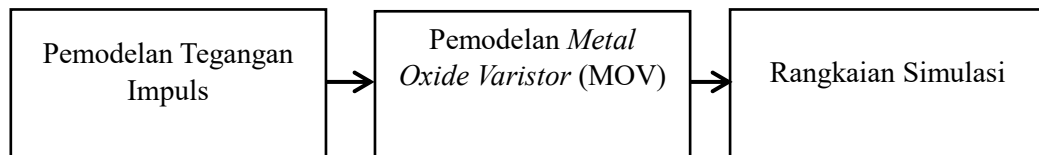
1. Laptop Intel *Core i3-7030U*, 2.3 GHz
2. Perangkat Lunak MATLAB/Simulink R2015a

3.4.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Datasheet MOV*.

3.5 Prosedur Penelitian

Pemodelan rangkaian simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Diagram Blok Pemodelan Rangkaian Simulasi

Tahap pemodelan dimulai dengan memodelkan tegangan impuls sebagai sumber tegangan, dilanjutkan dengan pemodelan *Metal Oxide Varistor (MOV)*, dan rangkaian simulasi.

3.5.1 Pemodelan Tegangan Impuls

$$V = V_0 \cdot [e^{-\alpha \cdot t} - e^{-\beta \cdot t}]$$

(2.1)

Tegangan impuls dimodelkan dengan persamaan matematis gelombang tegangan petir sebagai berikut, dimana α & β merupakan konstanta nilai μ s. [7]

3.5.2 Pemodelan *Metal Oxide Varistor* (MOV)

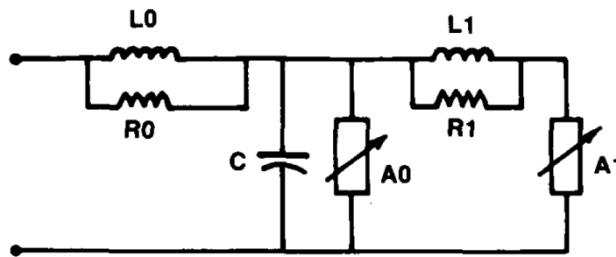
Pemodelan MOV dilakukan berdasarkan sumber [11]. Berikut rumus-rumus yang digunakan sebagai parameter MOV.

$$I_s(T) = I_s(T_o) \cdot e^{1200\left(\frac{T-T_o}{T \cdot T_o}\right)} \cdot \left(\frac{T}{T_o}\right)^{X_{TI}} \quad (3.1)$$

$$V_R(T) = V_R(T_o) \cdot (1 + t_{BV}(T - T_o)) \quad (3.2)$$

$$R_P(T) = R_P(T_o) \cdot 1.01^{t_{CE}(T-T_o)} \quad (3.3)$$

Berikut gambar rangkaian pemodelan MOV.



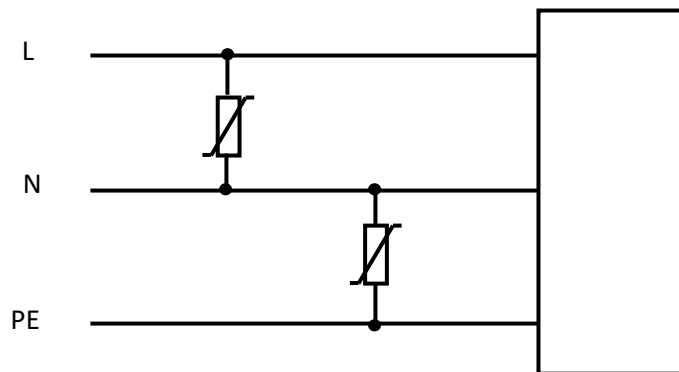
Gambar 3.3 Rangkaian Pemodelan *Metal Oxide Varistor* (MOV) [16]

3.6.1 Skematik Simulasi Rangkaian

Simulasi rangkaian dilakukan dengan cara mengkombinasikan penempatan *Metal Oxide Varistor* (MOV), dengan menggunakan program MATLAB/Simulink. Berikut ini merupakan skematik simulasi dari rangkaian.

3.6.1 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 1

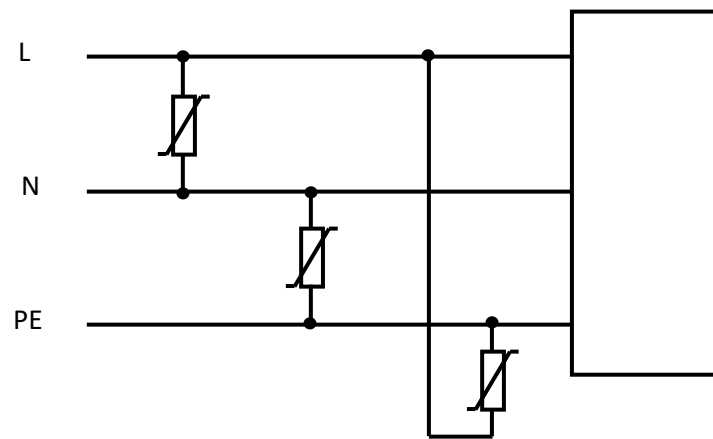
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa – netral dan konduktor netral – *ground* diproteksi menggunakan *Metal Oxide Varistor*. Selanjutnya, rangkaian dihubungkan dengan beban.



Gambar 3.4 *Single Line Diagram* Simulasi Proteksi Tegangan Lebih dengan MOV Rangkaian Tipe 1

3.6.2 Simulasi MOV Rangkaian Tipe 2

Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa – netral, konduktor netral – *ground*, dan konduktor fasa – *ground* diproteksi menggunakan *Metal Oxide Varistor*. Selanjutnya, rangkaian dihubungkan dengan beban.



Gambar 3.5 *Single Line Diagram* Simulasi Proteksi Tegangan Lebih dengan
MOV Rangkaian Tipe 2

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Simulasi MOV rangkaian tipe 1 dengan tegangan impuls dari 2 kV sampai 10 kV menghasilkan nilai tegangan fasa-netral berkisar 1.249 V sampai 1.315 V dan tegangan netral-ground berkisar 12,981 V sampai 86,012 V.
2. Simulasi MOV rangkaian tipe 2 dengan tegangan impuls dari 2 kV sampai 10 kV menghasilkan nilai tegangan fasa-netral berkisar 1.228 V sampai 1.280 V, tegangan fasa-ground berkisar 1.237 sampai 1.307 V, dan tegangan netral-ground berkisar 9,812 V sampai 27,238 V.
3. Berdasarkan hasil kedua simulasi dapat disimpulkan bahwa kinerja MOV rangkaian tipe 2 lebih baik dalam memotong tegangan impuls dibanding MOV rangkaian tipe 1.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan jenis *Surge Protective Device* (SPDs) yang lain untuk memaksimalkan hasil tegangan pemotongan, misalnya seperti *Gas Discharge Tubes (Spark Gap)*, Varistor, Dioda, dan Filter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Komponen Server Diskominfo Disambar Petir, Akses Internet di Kantor OPD Rohul Kurang Optimal.” *rokanhulukab.go.id*, 15 Februari 2021, <https://rokanhulukab.go.id/detailpost/komponen-server-diskominfo-disambar-petir-akses-internet-di-kantor-opd-rohul-kurang-optimal>.
- [2] S. D. Prihadi, “Data Ceter Disambar Petir, Layanan Google Sempat Down.” *cnnindonesia.com*, 20 Agustus 2015, <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20150820104829-185-73288/data-center-disambar-petir-layanan-google-sempat-down>.
- [3] K. Samaras, C. Sandberg, C. J. Saimas and A. Koulaxouzidis, "Electrical surge protection devices for industrial facilities - a tutorial review," *Record of Conference Papers Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Denver, CO, USA, 2005, pp. 165-175, doi: 10.1109/PCICON.2005.1524552.
- [4] R. W. Hotchkiss, "NEMA 5VS survey results on surge protective devices for the protection of safety equipment," *2014 IEEE PES General Meeting | Conference & Exposition*, National Harbor, MD, USA, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/PESGM.2014.6939890.
- [5] E. N. C. Okafor, et al., “Effective Surge Protection Practice for Low Voltage Installation of Electric Circuits,” *Journal of Economics an Engineering*, ISSN: 2078-0346, No. 4, 2010.
- [6] V. Kumar A., et al., “Lightning Impulses Evaluation by Reducing Noise & Smoothing the Data Using FIR Filters,” *16th National Power Systems Conference*, Hyderabad, India, 2010, url: <https://iitk.ac.in/npsc/Papers/NPSC2010/7067.pdf>.
- [7] M. M. Drabkin, ”Surge Protection of Low-Voltage AC Power by MOV-based SPDs,” *10th Internatonal Conference on Harmonics and Quality of*

- Power. Proceedings (Cat. No. 02EX630)*, Rio de Janiero, Brazil, 2002, pp. 13-16 vol. 1, doi: 10.1109/ICHQP.2002.1221397.
- [8] Radulović, V., Mujović, S. Coordination of surge protective devices in low voltage AC power installations. *SN Appl. Sci.* 1, 2 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0003-1>.
 - [9] A. Md. Ariffen, et al., "The Development of Hybrid Surge Protection Circuit with Effect of Adding a Filter," *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, Vol. 02, No. 02, 2011, url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17642485>.
 - [10] N. Tarfulea, F. M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, P. Andea, F. Balcu and A. C. Macarie, "A new algorithm for the design of metal oxide varistor surge arresters," *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Florence, Italy, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555733.
 - [11] J. G. Zola, "Simple model of metal oxide varistor for Pspice Simulation," in *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 23, no. 10, pp. 1491-1494, Oct. 2004, doi: 10.1109/TCAD.2004.835134.
 - [12] K. Bhuyan and S. Chatterjee, "Simulations of lightning impulse residual voltage test of surge arresters in matlab-simulink," *2015 1st Conference on Power, Dielectric and Energy Management at NERIST (ICPDEN)*, Itanagar, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPDEN.2015.7084494.
 - [13] Radulović, V., Mujović, S. Coordination of surge protective devices in low voltage AC power installations. *SN Appl. Sci.* 1, 2 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0003-1>.
 - [14] V. Sít'ar, et al., "Modelling of Metal Oxide Surge Arresters in Simulation Software DYNAST," *Transactions on Electrical Engineering*, Vol. 6, No. 1, 2017, doi: 10.14311/TEE.2017.1.021.
 - [15] V. M. Radulovic and Z. V. Miljanic, "Effects of Built-In Varistors With Low Protection Voltages on Surge Protection Performances in Low-Voltage AC Power Systems," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 62, no. 3, pp. 933-946, June 2020, doi: 10.1109/TEMC.2019.2914372.

- [16] J. G. Zola, "Simple model of metal oxide varistor for Pspice Simulation," in *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 23, no. 10, pp. 1491-1494, Oct. 2004, doi: 10.1109/TCAD.2004.835134.