

**PROTEKSI TEGANGAN LEBIH
MENGUNAKAN SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPDs)
PADA INSTALASI TEGANGAN RENDAH
(Studi Kasus Sistem Pentanahan TT dan TN-C-S)**

(Skripsi)

**Oleh
SUWANTO**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

ABSTRACT

OVERVOLTAGE PROTECTION USING SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPD_s) IN LOW VOLTAGE INSTALLATIONS (Case Study of TT and TN-C-S Grounding System)

By

SUWANTO

Transient overvoltage in low voltage installation can occur due to direct or indirect stroke to distribution line. Equipment's which are connected to the 220 V-line have an insulation level around 500 V. Therefore, if the voltage exceeds the value, it can lead into isolation failure.

This research analyzes the capacities of overvoltage-protection system in a low voltage installation with terra-terra (TT) and terra neutral-combined-separated (TN-C-S) grounding system using MATLAB /Simulink program tool. The system uses surge protective devices (SPDs) at phase line in the main distribution board, i.e. a gas discharge arrester (GDA), a metal oxide varistor (MOV) and a parallel connection of GDA and MOV. In the sub distribution board, only MOV is used as SPDs. The phase-voltage was measured at sub distribution board.

The results show the lowest phase-voltage is 494.12 V, which is obtained at TN-C-S grounding system with MOV as SPDs, and impulse voltage 2 kV supplied at secondary side of distribution transformer. While, the highest phase-voltage is 502.79 V, which is taken at TT grounding system with GDA as SPDs, and impulse voltage 2 kV supplied at secondary side of distribution transformer. The TN-C-S grounding system with a parallel connection of GDA and MOV result in the highest withstand to the lightning overvoltage, i.e. 20 kV. The phase-voltage of 498,01 V was measured at that configuration. The voltage is below the insulating level. Hence, this research recommends the TN-C-S grounding system with a parallel connection of GDA and MOV as SPDs for the best overvoltage protection system.

Keywords: Overvoltage protection, Low Voltage Installation, Surge Protective Devices (SPDs), Lightning Overvoltage (LOV), Metal Oxide Varistor, Gas Discharge Arrester, TT grounding system, TN-C-S grounding system, Insulation Level.

ABSTRAK

PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPDs) PADA INSTALASI TEGANGAN RENDAH (Studi Kasus Sistem Pentanahan TT dan TN-C-S)

Oleh

SUWANTO

Tegangan lebih transient pada instalasi tegangan rendah bisa terjadi akibat sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung pada saluran distribusi. Apabila tegangan melebihi batas kekuatan isolasi peralatan sebesar 500 V, dapat menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi.

Penelitian ini menganalisis kapasitas sistem proteksi surja pada instalasi listrik tegangan rendah yang menggunakan sistem pentanahan terra-terra (TT) dan terra neutral-combined-separated (TN-C-S) dengan menggunakan program MATLAB/Simulink. Pemasangan alat proteksi surja (*Surge Protective Devices* /SPDs) pada konduktor fasa di panel distribusi utama menggunakan: Gas discharge arrester (GDA), Metal oxide varistor (MOV), serta kombinasi GDA dan MOV yang dihubungkan paralel. Sedangkan pada panel sub-distribusi hanya menggunakan MOV. Tegangan fasa diukur pada panel sub-distribusi yang langsung terhubung dengan beban.

Hasil simulasi menunjukkan tegangan fasa yang paling rendah adalah 494,12 V, yang dihasilkan oleh sistem pentanahan TN-C-S dengan MOV sebagai alat pemotong surja, pada saat tegangan impuls sebesar 2 kV disuplai pada sisi sekunder trafo distribusi. Sedangkan, tegangan fasa tertinggi 502,79 V, didapat apabila sistem pentanahan adalah TT dan alat pemotong surja yang digunakan adalah GDA, dengan tegangan impuls sebesar 2 kV disuplai pada sisi sekunder trafo distribusi.

Instalasi tegangan rendah yang menggunakan sistem pentanahan TN-C-S dan alat proteksi surja berupa GDA dan MOV yang dihubungkan paralel, menghasilkan

tingkat ketahanan terhadap tegangan impuls petir yang paling tinggi. Tegangan fasa yang diukur adalah 498,01 V, nilai tegangan ini masih di bawah tingkat isolasi peralatan. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan sistem proteksi tegangan lebih menggunakan sistem pentanahan TN-C-S dengan kombinasi GDA dan MOV sebagai alat proteksi surja, yang merupakan konfigurasi sistem proteksi tegangan lebih yang terbaik.

Kata Kunci : proteksi tegangan lebih, instalasi tegangan rendah, alat proteksi surja, tegangan lebih petir, Metal oxide varistor, Gas discharge arrester, sistem pentanahan TT, sistem pentanahan TN-C-S, batas isolasi.

**PROTEKSI TEGANGAN LEBIH
MENGUNAKAN SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPDs)
PADA INSTALASI TEGANGAN RENDAH
(Studi Kasus Sistem Pentanahan TT dan TN-C-S)**

Oleh

SUWANTO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **PROTEKSI TEGANGAN LEBIH
MENGUNAKAN SURGE PROTECTIVE
DEVICES (SPDs) PADA INSTALASI
TEGANGAN RENDAH
(Studi Kasus Sistem Pentanahan TT
dan TN-C-S)**

Nama Mahasiswa : **Suwanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215031071

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.
NIP 19700528 199803 2 003

Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T.
NIP 19721219 199903 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

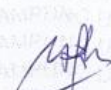
Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN


1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T. 

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Agustus 2017

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPDs) PADA INSTALASI TEGANGAN RENDAH (Studi Kasus Sistem Pentanahan TT dan TN-C-S)” merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila pernyataan saya tidak benar, dan dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, Agustus 2017



(Suwanto)
NPM. 1215031071

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Natar, pada tanggal 20 Juni 1995, merupakan anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Samsi dan Sujinah.

Adapun riwayat pendidikan penulis yaitu : MIN Srimulyo (2000-2006), SMPN 1 Natar (2006-2009), dan SMKN 2 Bandar Lampung (2009-2012). Pada tahun 2012, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Divisi Pengabdian Masyarakat pada tahun 2014-2015, dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) sebagai staf ahli Dinas Sosial & Politik pada tahun 2015-2016.

Penulis pernah mengikuti ujian kompetensi untuk program keahlian : Teknik Instalasi Tenaga Listrik, serta melaksanakan Kerja Praktik di : PT. Lambang Jaya yang ditempatkan di bagian *Maintenance*, dan PT.PINDAD (Persero) Bandung yang ditempatkan di Divisi Alat Berat.



PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT. teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW.
Karya tulis ini kupersembahkan untuk:

Bapak dan Ibuku Tercinta
Samsi & Sujinah

Paman dan Tante
Kodri, S.Kp., M.Kes. & Berta Khoiriyati, S.Pd.,M.Pd.

Kakak dan Adik-adikku Tersayang
Nur Samsiyah, Suhariyanto & Heni Febriana

Almamaterku
Universitas Lampung

Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia

Agamaku
ISLAM

Terima-kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. *Jazzakallah Khairan.*



MOTTO

“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)

“Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula)”

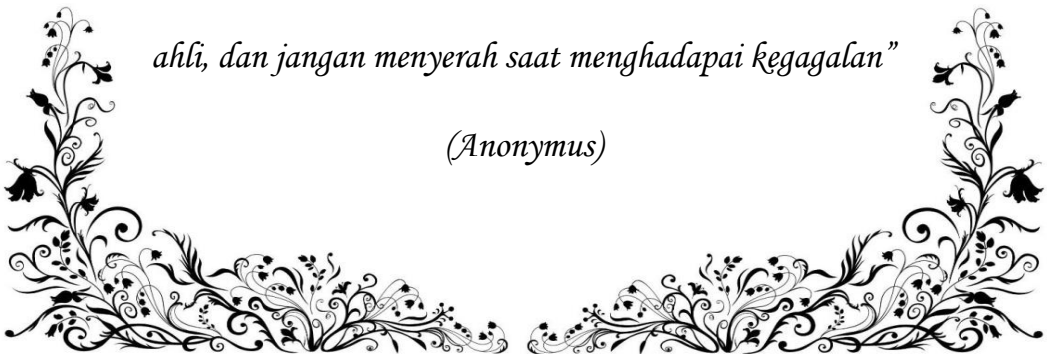
(Al-Quran, Surat Ar – Rahman, 55 : 60)

“Tak perlu bersikeras menjelaskan siapa dirimu, karena orang yang mencintaimu tak membutuhkan itu, dan orang yang membencimu tak akan percaya itu”

(Ali bin Abi Thalib RA)

“Jika kamu mengetahui tak banyak masalah yang dapat kamu atasi secara ahli, yang kamu butuh hanya percobaan yang lebih banyak dari orang yang ahli, dan jangan menyerah saat menghadapi kegagalan”

(Anonymus)



SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat serta salam disanjungkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam yang dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Tugas akhir ini berjudul “PROTEKSI TEGANGAN LEBIH MENGGUNAKAN SURGE PROTECTIVE DEVICES (SPDs) PADA INSTALASI TEGANGAN RENDAH (Studi Kasus Sistem Pentanahan TT dan TN-C-S)” digunakan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan hal lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku kepala Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Pembimbing akademik yang telah memberikan saran & motivasi yang membangun.

3. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Utama. Terimakasih atas kesedian waktunya untuk membimbing, pengalaman, dan ilmu yang diberikan selama mengerjakan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing pendamping. Terimakasih atas waktu, pengalaman, dan ilmu yang diberikan selama mengerjakan tugas akhir .
5. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. selaku Dosen penguji. Terimakasih atas waktu, dan ilmu yang diberikan guna membuat tugas akhir ini menjadi lebih baik.
6. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, S.T., M.T. Terimakasih atas ilmu, pengalaman, motivasi, dan bantuan yang diberikan selama ini.
7. Seluruh Dosen & Keluarga Besar Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Terimakasih atas waktu dan ilmu yang telah diberikan selama menuntut ilmu di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu, tiada kata yang dapat tertulis atas segala pengorbanan yang kalian lakukan, aku sangat menyayangi kalian.
9. Ayah Kod dan Bunda Berta. Terimakasih yang tak terkira atas segala hal yang telah kalian lakukan untukku, dan memberikanku kehidupan yang lain.
10. Saudaraku Nur Samsiyah, Suhariyanto, dan Heni Febriana. Terimakasih atas motivasi dan dukunganya untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini, saya akan selalu berjuang demi kalian hingga akhir.
11. Sahabatku Satria Nugraha Haris, yang telah menemani dan memotivasi penulis agar selalu memberikan yang terbaik dalam segala hal.

12. Terimakasih kepada Hanafi, Surya, Angga, Aji, Tiar, Mahendra, Fiki, Aji I, Agung, Guntur, Fahreza, Vincent, Jumaliya, dan Windy. Yang selalu menemani saat jenuh, memberikan motivasi, dan semangat, terimakasih atas waktu kebersamaannya selama ini.
13. Teman-teman BECANDA GILAK (Atma, Agung, Layly, dan Shintya) terimakasih atas waktu, kebersamaan, serta hal-hal yang telah membuat penulis semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
14. Terimakasih kepada teman-teman seperjuangan ELANG 12, atas semua kenangan indah hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini, semoga kita semua menjadi orang yang sukses dan menjadi pribadi yang lebih baik.

Semoga kontribusi yang telah diberikan selama ini, mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Penulis meminta maaf atas segala kesalahan dan ketidak sempurnaan dalam penulisan Tugas Akhir ini, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar dapat dimanfaatkan dan dikembangkan dimasa mendatang.

Bandar lampung, Agustus 2017

Penulis

Suwanto

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER DEPAN	i
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	vi
LEMBAR PENGESAHAN	vii
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Rumusan masalah	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tegangan Impuls Petir	6
2.2 Sistem proteksi Tegangan Rendah	7
2.2.1 <i>Varistors</i>	8

	2.2.2 <i>Gas Discharge Tube</i>	8
2.3	Sistem Pentanahan Instalasi Tegangan Rendah	11
	2.3.1 Sistem Pentanahan TN (<i>Terra Neutral</i>)	11
	2.3.2 Sistem Pentanahan TT (<i>Terra Terra</i>)	12
2.4	Konsep Proteksi Tegangan Lebih Pada Instalasi Tegangan Rendah	13
2.5	Kajian Pustaka	14
2.6	Penelitian yang dilakukan	16

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	17
	3.1.1 Waktu Penelitian	17
	3.1.2 Tempat Penelitian	17
3.2	Alat Dan Bahan Penelitian	17
	3.2.1 Alat Penelitian	17
	3.2.2 Bahan Penelitian	17
3.3	Tahapan Penelitian	18
3.4	Pemodelan Rangkaian Simulasi	19
	3.4.1 Tegangan AC Sinusoidal Superposisi Tegangan Impuls	20
	3.4.2 <i>Gas Discharge Arrester (GDA)</i>	21
	3.4.3 <i>Metal oxide varistor (MOV)</i>	23
	3.4.4 Saluran Tegangan Rendah	24
	3.4.5 Sisi Skunder Belitan Trafo Distribusi	25
	3.4.6 Sekering / <i>Fuse</i>	25
3.5	Tahapan Simulasi Rangkaian	25
	3.5.1 Sistem TT dengan menggunakan peralatan proteksi GDA	26
	3.5.2 Sistem TN-C-S dengan menggunakan peralatan proteksi GDA	26
	3.5.3 Sistem TT dengan menggunakan peralatan proteksi MOV	27

3.5.4	Sistem TN-C-S dengan menggunakan peralatan proteksi MOV	28
3.5.5	Sistem TT dengan menggunakan peralatan proteksi GDA dan MOV	28
3.5.6	Sistem TN-C-S dengan menggunakan peralatan proteksi GDA dan MOV.....	29
3.6	Diagram Alir Penelitian	30

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemodelan dan Parameter Rangkaian Simulasi	32
4.1.1	Tegangan AC Sinusoidal Superposisi Tegangan Impuls	32
4.1.2	<i>Metal Oxide Varistor (MOV)</i>	34
4.1.3	<i>Gas Discharge Arrester (GDA)</i>	36
4.1.4	Parameter komponen sistem tegangan rendah	41
4.2	Rangkaian Simulasi	42
4.2.1	Simulasi A.1	42
4.2.2	Simulasi A.2	43
4.2.3	Simulasi B.1	44
4.2.4	Simulasi B.2	44
4.2.5	Simulasi C.1	45
4.2.6	Simulasi C.2	46
4.3	Data Hasil Simulasi	46
4.3.1	Simulasi A.1	47
4.3.2	Simulasi A.2	48
4.3.3	Simulasi B.1	49
4.3.4	Simulasi B.2	49
4.3.5	Simulasi C.1	50
4.3.6	Simulasi C.2	51
4.4	Grafik Dan Analisis	51
4.4.1	Grafik tegangan di <i>main distribution board</i>	51
4.4.2	Grafik Arus di <i>main distribution board</i>	53

4.4.3	Grafik tegangan di <i>sub distribution board</i>	55
4.4.4	Grafik Arus di <i>sub distribution board</i>	57
4.4.5	Grafik Tegangan netral-PE	59
4.5	Pembahasan	61
4.5.1	Prinsip kerja skenario sistem proteksi	64
4.5.2	Tegangan sisa (<i>Residual voltage</i>) hasil pemotongan SPD	65
4.5.3	Kenaikan tegangan pada konduktor netral-PE	70
4.5.4	Persentase pemotongan tegangan lebih dengan berbagai skenario simulasi	72
4.5.5	Batas kenaikan tegangan yang aman untuk peralatan Tegangan rendah	73

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan	76
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA	78
----------------------	----

LAMPIRAN

Lampiran A.1	81
Lampiran A.2	89
Lampiran A.3	95
Lampiran A.4	98
Lampiran A.5	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Gelombang tegangan impuls 1,2 x 50 μ s	7
2.2 Simbol dan konstruksi dari <i>metal oxide varistor</i>	8
2.3 Simbol dan konstruksi dari <i>gas discharge tube</i>	9
2.4 Sistem Pentanahan TN-S	11
2.5 Sistem Pentanahan TN-C	12
2.6 Sistem Pentanahan TN-C-S	12
2.7 Sistem Pentanahan TT	13
3.1 Blok diagram pemodelan rangkaian simulasi.....	19
3.2 Rangkaian generator impuls RC	20
3.3 Rangkaian ekuivalen Varistor	23
3.4 Model rangkaian sisi sekunder transformator	25
3.5 Model sekering	25
3.6 <i>Single line</i> diagram sistem TT dengan GDA	26
3.7 <i>Single line</i> diagram sistem TN-C-S dengan GDA	27
3.8 <i>Single line</i> diagram sistem TT dengan MOV	27
3.9 <i>Single line</i> diagram sistem TN-C-S dengan MOV	28
3.10 <i>Single line</i> diagram sistem TT dengan GDA dan MOV	29
3.11 <i>Single line</i> diagram sistem TN-C-S kombinasi GDA dan	

MOV	29
3.12 Diagram Alir Penelitian	30
4.1 Tegangan AC Sinusoidal superposisi tegangan Impuls	31
4.2 Pemodelan tegangan AC Sinusoidal superposisi tegangan Impuls	32
4.3 Hasil simulasi pemodelan tegangan AC Sinusoidal superposisi tegangan Impuls.....	33
4.4 Pemodelan rangkaian generator Impuls RC	33
4.5 Pemodelan <i>Metal oxide varistor</i>	35
4.6 Rangkaian simulasi pemodelan <i>metal oxide varistor</i>	35
4.7 Grafik tegangan sisa pada MOV.....	36
4.8 Perhitungan tegangan dan arus pada MOV menggunakan Simulink.....	36
4.9 Pemodelan <i>gas discharge arrester</i>	37
4.10 Pemodelan fase <i>pre-breakdown gas discharge arrester</i>	37
4.11 Pemodelan fase <i>breakdown gas discharge arrester</i>	38
4.12 Pemodelan fase <i>arc gas discharge arrester</i>	38
4.13 Parameter pemodelan <i>gas discharge arrester</i>	39
4.14 Rangkaian simulasi pengujian <i>gas discharge arrester</i>	40
4.15 Hasil pemotongan tegangan impuls pada GDA.....	41
4.16 Rangkaian simulasi A.1	43
4.17 Rangkaian simulasi A.2	43
4.18 Rangkaian simulasi B.1	44
4.19 Rangkaian simulasi B.2	45

4.20 Rangkaian simulasi C.1	45
4.21 Rangkaian simulasi C.2	46
4.22 Grafik tegangan di <i>main distribution board</i> pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	52
4.23 Grafik tegangan di <i>main distribution board</i> pada simulasi B dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	52
4.24 Grafik tegangan di <i>main distribution board</i> pada simulasi C dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	52
4.25 Grafik arus di <i>main distribution board</i> pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	54
4.26 Grafik arus di <i>main distribution board</i> pada simulasi B dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	54
4.27 Grafik arus di <i>main distribution board</i> pada simulasi C dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	54
4.28 Grafik tegangan di <i>sub distribution board</i> pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	56
4.29 Grafik tegangan di <i>sub distribution board</i> pada simulasi B dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	56
4.30 Grafik tegangan di <i>sub distribution board</i> pada simulasi C dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	56
4.31 Grafik arus di <i>subdistribution board</i> pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	58
4.32 Grafik arus di <i>sub distribution board</i> pada simulasi B dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	58

4.33 Grafik arus di <i>sub distribution board</i> pada simulasi C dengan tegangan impuls yang disuplai 2kV.....	58
4.34 Grafik tegangan netral-PE pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	59
4.35 Grafik tegangan netral-PE pada simulasi B dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	60
4.36 Grafik tegangan netral-PE pada simulasi A dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	60
4.37 Gelombang tegangan AC superposisi dengan gelombang impuls 2kV	61
4.38 Kinerja MOV dalam membatasi kenaikan tegangan	62
4.39 Kinerja GDA dalam membatasi kenaikan tegangan	63
4.40 Grafik tegangan sisa pada skenario simulasi A yang diproteksi menggunakan GDA dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	66
4.41 Grafik tegangan sisa pada skenario simulasi B yang diproteksi menggunakan GDA dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	66
4.42 Grafik tegangan sisa pada skenario simulasi C yang diproteksi menggunakan GDA dengan tegangan impuls yang disuplai 2 kV	66
4.43 Grafik tegangan sisa di <i>main distribution board</i> dalam berbagai skenario simulasi	67
4.44 Grafik tegangan sisa di <i>sub distribution board</i> dalam berbagai	

skenario simulasi	68
4.45 Grafik nilai resistansi SPD dalam berbagai skenario simulasi ...	69
4.46 Grafik kenaikan tegangan netral-PE dalam berbagai skenario simulasi	71
4.47 <i>Single line</i> diagram sistem proteksi pada sistem TT	74
4.48 Grafik tegangan sisa pada simulasi B.1 dengan penambahan SPD kelas 3	75

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Standar tegangan gelombang impuls petir	6
2.2 Klasifikasi penggunaan <i>Surge protective devices (SPDs)</i>	13
4.1 Parameter rangkaian generator impuls RC	34
4.2 Parameter rangkaian simulasi komponen sistem tegangan rendah	41
4.3 Variasi penggunaan SPD pada konduktor fasa dalam skenario simulasi sistem proteksi tegangan rendah	42
4.4 Data hasil perhitungan simulasi	47
4.5 Data hasil simulasi A.1 (GDA/ Sistem TT)	48
4.6 Data hasil simulasi A2 (GDA/ Sistem TN-C-S)	48
4.7 Data hasil simulasi B.1 (MOV/ Sistem TT)	49
4.8 Data hasil simulasi B.2 (MOV/ Sistem TN-C-S)	50
4.9 Data hasil simulasi C.1 (GDA+MOV/ Sistem TT).....	50
4.10 Data hasil simulasi C.2 (GDA+MOV/ Sistem TN-C-S)	51
4.11 Persentase pemotongan tegangan lebih hasil simulasi dengan berbagai skenario simulasi	72
4.12 Batas kenaikan tegangan yang aman untuk peralatan tegangan rendah	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan standar PLN, kategori tegangan rendah AC adalah tegangan dengan amplitudo 100 V hingga 1000 V. Instalasi tegangan rendah dalam penelitian ini, merujuk pada sistem kelistrikan konsumen listrik tipikal gedung perkantoran dan industrial.

Tegangan lebih transien yang muncul pada instalasi tegangan rendah disebabkan karena adanya sambaran petir langsung maupun sambaran petir tidak langsung. Skenario terjadinya sambaran bisa melalui saluran udara, antena, maupun di daerah sekitar instalasi tegangan rendah [1]. Kenaikan tegangan yang disebabkan surja petir akan berdampak buruk pada peralatan dan sistem kelistrikan di pelanggan [1]-[2], apabila melebihi tegangan *basic impulse insulation level* dapat menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi, untuk itu dibutuhkan suatu sistem proteksi yang dapat melindungi dari kerusakan yang diakibatkan surja petir.

Surge protective devices (SPDs) merupakan peralatan proteksi yang berfungsi membatasi kenaikan tegangan surja, komponen dasar SPDs dapat berupa; *varistor*, *gas discharge tube*, atau *avalanche diode*.

Karakteristik *metal oxide varistor* (MOV) yaitu; respon yang cepat (<0.5 ns), energi yang mampu diserap besar, dan tersedia dalam berbagai nilai tegangan kerja, akan tetapi terdapat kebocoran arus pada saat tegangan normal. Karakteristik *gas discharge arrester* (GDA) yaitu; mampu menghantarkan arus dalam jumlah besar, dan tegangan pada fase busurnya rendah, akan tetapi respon terhadap surja lebih lambat. Sedangkan karakteristik *avalanche diode* yaitu ; respon terhadap surja sangat cepat (<0.1 ns), akan tetapi nilai kapasitansinya besar, dan daya hantar arusnya rendah [3]. Sehingga dalam penelitian ini hanya menggunakan MOV dan GDA sebagai elemen proteksinya, dan untuk meningkatkan kemampuan sistem proteksi penggunaan SPD akan dikordinasikan [4]-[6].

Pada sistem pentanahan *terra neutral-combined-separated* (TN-C-S) di sebagian sistem fungsi konduktor netral dan *protective earth* (PE) tergabung dalam satu konduktor, dan di bagian sistem yang lain fungsi konduktor netral dan PE terpisah, adapun bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi dihubungkan langsung ke pentanahan sistem melalui konduktor PE. Sedangkan pada sistem pentanahan *terra terra* (TT) konduktor yang masuk ke konsumen hanya konduktor fasa dan netral, BKT instalasi dihubungkan ke elektroda pentanahan secara terpisah.

Pada sistem pentanahan TN-C-S, pemasangan SPD *di main distribution board* dihubungkan antara konduktor fasa dan PEN, sedangkan di *sub distribution board* dihubungkan antara konduktor fasa dan netral, serta konduktor netral dan PE. Sedangkan pada sistem pentanahan TT, baik di *main distribution board* maupun *sub distribution board* SPD dihubungkan antara konduktor fasa dan PE, serta konduktor netral dan PE.

Dalam penelitian ini, pemasangan SPD pada konduktor fasa di *main distribution board* akan divariasikan (menggunakan MOV, GDA, serta kombinasi GDA dan MOV yang terhubung paralel), sedangkan di *sub distribution board* hanya menggunakan MOV.

Pada sistem pentanahan TT konduktor netral akan diproteksi menggunakan GDA, sedangkan pada sistem TN-C-S konduktor netral diproteksi menggunakan MOV. SPD yang digunakan merupakan SPD kelas II, yang mampu melindungi bangunan yang tidak dilengkapi dengan sistem proteksi petir eksternal. Penelitian dilakukan dengan cara membuat rangkaian simulasi dalam perangkat lunak MATLAB/Simulink.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Membuat simulasi sistem proteksi tegangan lebih pada instalasi tegangan rendah.
- b. Menganalisis kenaikan tegangan pada instalasi tegangan rendah yang diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* dan *gas discharge arrester*.
- c. Menganalisis batas kenaikan tegangan petir maksimum yang aman pada model sistem proteksi tegangan rendah (sistem pentanahan TT dan sistem pentanahan TN-C-S).

1.3 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu : dengan menganalisis kenaikan tegangan yang diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* dan

metal oxide varistor, dapat diketahui karakteristik dan batas tegangan maksimum model sistem proteksi pada sistem pentanahan TT dan TN-C-S.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pemodelan sistem proteksi tegangan lebih pada instalasi tegangan rendah.
2. Pembuatan rangkaian simulasi sistem proteksi tegangan lebih pada instalasi tegangan rendah menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink.
3. Menghitung kenaikan tegangan yang timbul pada instalasi tegangan rendah akibat sambaran petir.
4. Menentukan batas kenaikan tegangan transien yang aman pada instalasi tegangan rendah.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Elemen proteksi tegangan lebih yang digunakan adalah *gas discharge arrester* tipe CG2/230 V dan *metal oxide varistor* tipe Q20K230.
2. Model *gas discharge arrester* yang dipakai merupakan pemodelan matematis berdasarkan respon gelombang tegangan impuls standar IEC 1,2 μ s x 50 μ s.
3. Sistem pentanahan instalasi tegangan rendah yang digunakan adalah sistem TT (*Terra Terra*) dan sistem TN-C-S (*Terra Neutral-Combined-Separated*).

4. Kenaikan tegangan yang dianalisis adalah setelah sisi sekunder trafo distribusi, dan hanya pada salah satu konduktor fasa yang terkena sambaran petir.
5. Menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bagian ini menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini menjelaskan landasan teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, serta langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi mengenai pemodelan rangkaian, hasil simulasi rangkaian, serta pembahasan mengenai hasil simulasi yang diperoleh.

BAB V. PENUTUP

Pada bagian ini berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tegangan Impuls Petir

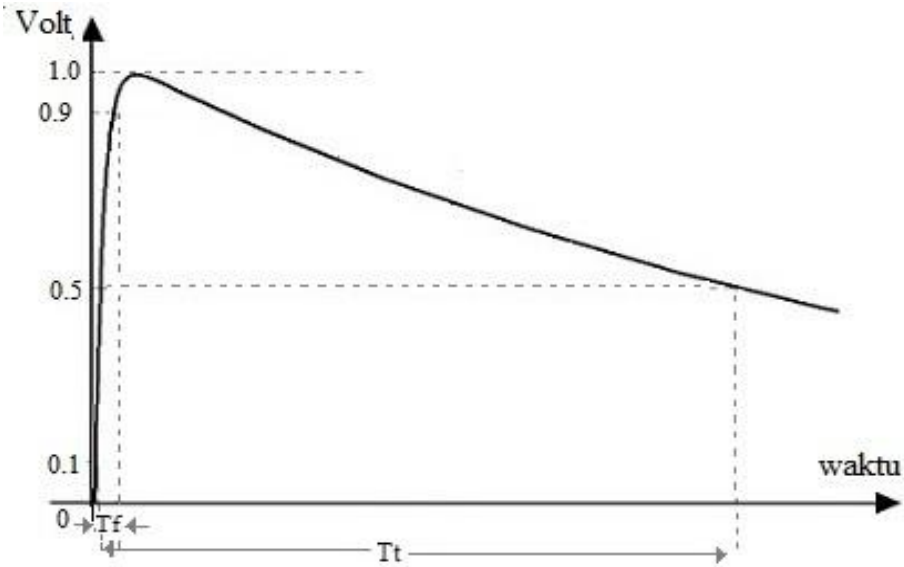
Tegangan impuls petir merupakan tegangan yang muncul akibat adanya sambaran petir, sehingga tegangan pada sistem akan naik dalam waktu singkat. Secara matematis tegangan impuls petir dirumuskan sebagai berikut [7] :

$$V = V_0 (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (2.1)$$

Berdasarkan standar IEC nilai waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t) gelombang impuls petir adalah $1,2 \times 50 \mu\text{s}$, toleransi untuk waktu muka $\pm 30\%$, dan waktu ekor $\pm 20\%$. Berbagai standar dari besaran tegangan impuls petir dijelaskan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Standar tegangan gelombang impuls petir

Standar Gelombang Impuls	$T_f \times T_t$
Amerika	$1,5 \times 40 \mu\text{s}$
IEC	$1,2 \times 50 \mu\text{s}$
Jepang	$1,0 \times 40 \mu\text{s}$
Jerman dan Inggris	$1,0 \times 50 \mu\text{s}$



Gambar 2.1 Gelombang tegangan impuls $1,2 \times 50 \mu\text{s}$ [7].

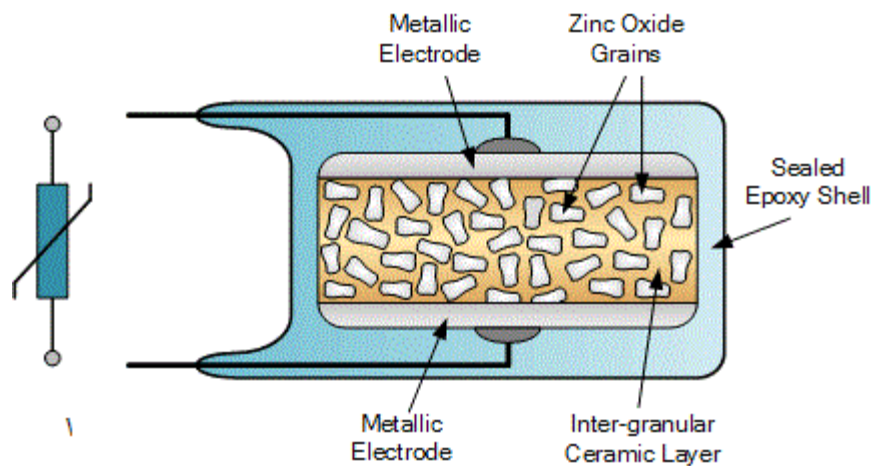
2.2 Sistem Proteksi Tegangan Rendah

Kenaikan tegangan pada instalasi tegangan rendah bisa terjadi karena adanya sambaran petir langsung di saluran udara, maupun akibat induksi petir. Saat terjadi surja petir tegangan akan naik hingga berkali-kali dari tegangan puncaknya, sehingga akan merusak peralatan yang tidak dilengkapi dengan sistem proteksi petir.

Surge protective devices (SPDs) merupakan peralatan proteksi surja yang berfungsi membatasi kenaikan tegangan, komponen dasar dari SPD berupa; *diode*, *varistor*, dan *gas discharge tube*. Dalam pemasangannya SPD dipasang antara konduktor yang diproteksi dan konduktor *protective earth* (PE).

2.2.1 Varistor / Metal oxide varistor

Metal oxide varistor (MOV) merupakan komponen semikonduktor yang bersifat non-linear, yang nilai resistansinya dikontrol berdasarkan tegangan. MOV dengan bahan dasar *zinc oxide* merupakan jenis yang banyak dipakai sebagai elemen proteksi surja. Simbol dan konstruksi dari *metal oxide varistor* ditunjukkan pada gambar 2.2.



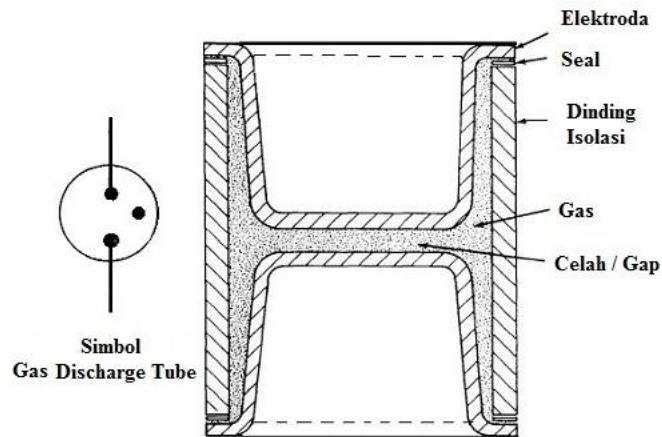
Gambar 2.2 Simbol dan konstruksi dari *metal oxide varistor* [8].

Pada saat tegangan normal resistansi pada MOV cukup besar, dan saat tegangan pada MOV melebihi *minimum clamping voltage*, maka akan terjadi penurunan nilai resistansi yang mengakibatkan arus dapat mengalir. MOV memiliki kelebihan yaitu; respon yang cepat saat terjadi surja, dan mampu menyerap energi dalam jumlah besar. Sedangkan kekurangannya adalah terdapat kebocoran arus pada saat tegangan normal.

2.2.2 Gas Discharge Tube / Gas Discharge Arrester

Secara sederhana konstruksi dari *gas discharge arrester* terdiri dari dua buah elektroda atau lebih, dan di dalamnya terdapat celah berisi gas yang berfungsi

sebagai isolator. *Gas discharge arrester* memiliki karakteristik respon terhadap surja yang lebih lambat dibandingkan dengan MOV, adapun kelebihanannya adalah mampu menghantarkan arus dalam jumlah besar (dalam kA), dan tegangan pada fase busurnya rendah. Simbol dan konstruksi dari *gas discharge arrester* ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Simbol dan konstruksi dari *gas discharge arrester* [9].

Gas discharge arrester memiliki tiga buah fase pengoperasian utama, yaitu: *pre-breakdown*, *breakdown*, dan *arc*.

a) Fase *pre-breakdown*

Pada saat tegangan normal, gas yang berada pada celah antara elektroda bertindak sebagai isolator yang sangat baik ($R > 1G\Omega$). Saat mencapai tegangan *breakdown* maka akan mulai terjadi proses ionisasi, yang berlangsung hingga terjadi *discharge* atau tegangan pada GDA mencapai tegangan *breakdown* dinamis. Waktu dari tegangan *breakdown* hingga mencapai tegangan *breakdown* dinamis disebut *statistical time delay of discharge* (t_d), secara matematis dirumuskan dengan [10]:

$$t_d = a \cdot S^{-b}$$

Dimana, t_d adalah waktu tunda, S adalah kecuraman waktu muka gelombang, a dan b merupakan koefisien GDA yang diperoleh dari pengukuran.

b). Fase *breakdown*

Setelah terjadi *discharge* kondisi tegangan akan menurun, dan mengakibatkan terbentuknya jalur konduktif antar elektroda. Pada fase *breakdown* diameter aliran konduktif akan membesar, karena gas yang berada di antara elektroda menjadi terionisasi, sehingga arus yang mengalir pada GDA mengalami kenaikan, dan saat arus melebihi nilai tertentu maka aliran *discharge* tersebut mengakibatkan timbulnya busur listrik. Kenaikan arus ini dimodelkan dengan mengubah nilai resistansi sesuai dengan persamaan Toepler [10]:

$$R(t) = \frac{k_T \cdot d}{\int_0^t i \, dt}$$

Dimana K_t merupakan nilai konstanta Toepler yang nilainya bergantung pada tekanan dan komposisi gas, d merupakan diameter aliran konduktif, dan i merupakan arus pada GDA.

c). Fase *arc*

Aliran konduktif merupakan plasma yang mengandung gas panas dan sangat terionisasi. Pada fase busur ini nilai tegangan akan dipertahankan konstan, hingga suhu pada katoda mendingin atau arus yang mengalir pada GDA menurun sampai 0,03 A. Saat emisi termionik berakhir, busur listrik akan padam, sehingga mengakibatkan tegangan pada GDA meningkat [11].

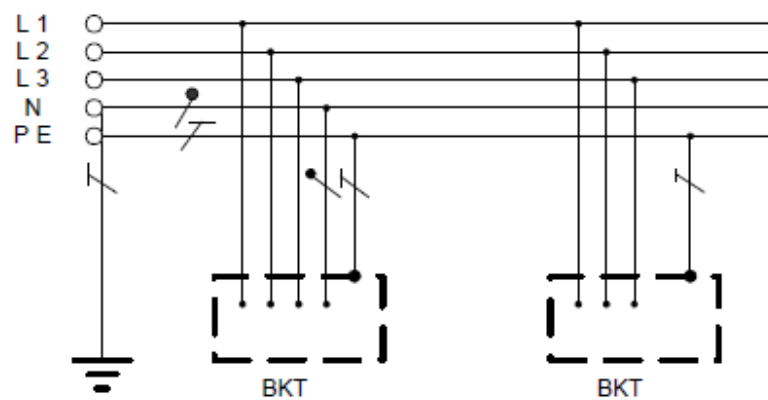
2.3 Sistem Pentanahan Instalasi Tegangan Rendah

Sistem pentanahan dilakukan dengan cara menghubungkan antara konduktor listrik dan bumi dengan cara tertentu, tujuannya adalah mencegah terjadinya busur listrik antara konduktor yang terganggu dengan tanah, dan membatasi tegangan pada konduktor fasa yang tidak terganggu.

2.3.1 Sistem Pentanahan TN (*Terra Neutral*)

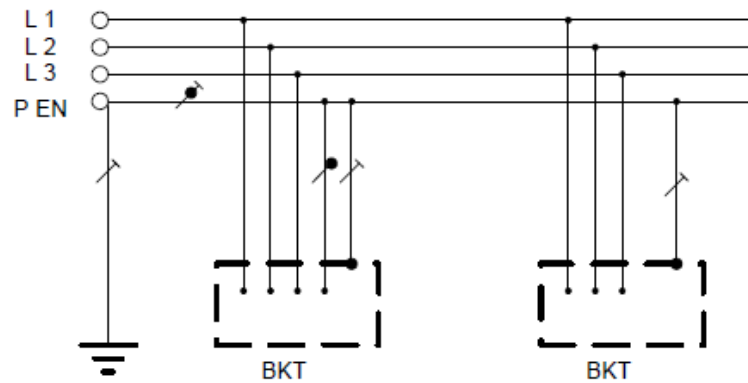
Pada sistem ini titik netral ditanahkan secara langsung, dan semua bagian konduktif terbuka (BKT) dihubungkan ke konduktor proteksi. Sistem TN diklasifikasikan ke dalam 3 bagian :

- a) Sistem TN-S (*Terra Neutral-Separated*), pada sistem ini fungsi konduktor fasa, konduktor netral, dan konduktor proteksi terpisah satu sama lain.



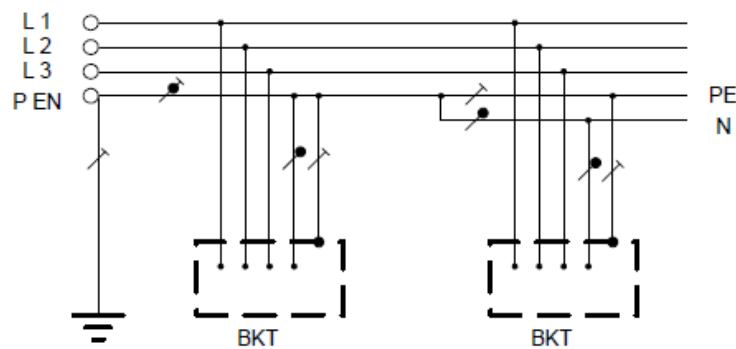
Gambar 2.4 Sistem Pentanahan TN-S [12].

- b) Sistem TN-C (*Terra Neutral-Combined*), pada sistem ini konduktor netral dan proteksi tergabung dalam sebuah penghantar tunggal.



Gambar 2.5 Sistem Pentanahan TN-C [12].

- c) Sistem TN-C-S (*Terra Neutral-Combined-Separated*), merupakan kombinasi dari sistem TN-S dan sistem TN-C, dalam sistem ini di sebagian sistem terdapat sebuah konduktor yang fungsi netral dan proteksinya digabung, dan di sistem yang lain konduktor proteksi dan netral dipisah.

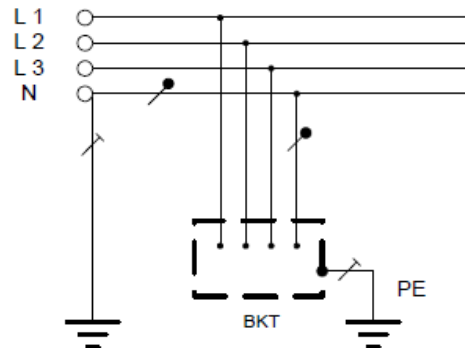


Gambar 2.6 Sistem Pentanahan TN-C-S [12].

2.3.2 Sistem Pentanahan TT (*Terra Terra*)

Pentanahan titik netral sistem ini dilakukan langsung di sumbernya (Generator atau Transformator), sehingga hanya ada konduktor fasa dan netral yang masuk ke konsumen. Sedangkan bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi listrik ditanahkan

tersendiri, sehingga jika terjadi kegagalan isolasi gawai proteksi akan bekerja memutuskan suplai.



Gambar 2.7 Sistem Pentanahan TT [12].

2.4 Konsep Proteksi Tegangan Lebih Pada Instalasi Tegangan Rendah

Pemasangan sistem proteksi tegangan lebih mengacu pada standar IEC 61643-11, di dalamnya mengklasifikasikan penggunaan dari *Surge protective device* (SPD), yang dijelaskan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi penggunaan *Surge protective device* (SPD)

Tipe/ Deskripsi	Klasifikasi SPD (IEC 61643-11:1998)
<i>Lightning current arrester</i> , kombinasi <i>lightning current</i> dan <i>Surge arrester</i>	SPD Kelas I
<i>Surge arrester</i> untuk panel distribusi, panel sub-distribusi , instalasi permanen.	SPD Kelas II
<i>Surge arrester</i> untuk stopkontak atau terminal listrik	SPD Kelas III

SPD kelas I atau disebut juga sebagai *lightning current arrester* dirancang untuk dipasang pada tempat yang memiliki resiko lebih besar terkena sambaran petir langsung, khususnya apabila bangunan dilengkapi dengan sistem proteksi petir

eksternal, SPD kelas I harus mampu mengatasi arus petir ($I_{imp} = \geq 50$ kA) dengan panjang gelombang 10/350 μ s. SPD kelas II dirancang untuk jalur masuk ke instalasi, seperti pada panel utama, instalasi yang tidak dilengkapi penangkal petir, dan untuk instalasi yang permanen. SPD kelas II digunakan untuk mengatasi lonjakan arus dengan $I_{imp} = \geq 10$ kA, dengan panjang gelombang 8/20 μ s. Sedangkan SPD kelas III dirancang untuk melindungi peralatan yang sangat sensitif terhadap kenaikan tegangan, sehingga harus mampu mengatasi dari lonjakan arus (dengan panjang gelombang 8/20 μ s), maupun lonjakan tegangan (dengan panjang gelombang 1.2/50 μ s).

2.5 Kajian Pustaka

Adapun penelitian terdahulu yang telah dilakukan antara lain:

- a) J. Ribic, J. Pihler, and J. Vorsic, “*overvoltage protection using a gas discharge arrester within the MATLAB program tool*”,2007. Penelitian ini membahas karakteristik, dan pemodelan GDA dalam program MATLAB /Simulink. Pemodelan GDA yang dihasilkan, dibuat untuk tegangan impuls, tegangan AC sinusoidal serta tegangan kombinasi dari keduanya.
- b) Hitoshi Kijima, and Kazuo Murakowo, “*Lightning Surge Response Improvement by Combinations of Varistors and Gas Discharge Tubes*”,2012. Penelitian ini membahas metodologi untuk melindungi peralatan terhadap tegangan dan arus lebih akibat surja petir dengan mengkombinasikan SPD. Hasil yang diperoleh yaitu dengan mengkombinasikan GDT dan varistor secara seri kebocoran arus bisa dihindari.

- c) Ametani, K. Matsuoka, H.Omura, and Y.Nagai,” *Surge Voltages and Currents into a Customer due to Nearby Lightning*”,2014. Penelitian ini membuktikan mengenai surja petir yang bisa masuk ke rumah akibat induksi petir, Hasilnya adalah diperlukannya penerapan koordinasi SPD pada saluran telepon dan konsumen rumah tangga.
- d) Shozo sekioka, Kiyoshi Aiba, Teru Miyazaki, and Shigemitsu Okabe,“*Lightning Overvoltages in Low-Voltage Circuit for Various Lightning Striking Points*”,2010. Penelitian ini membahas mengenai kenaikan tegangan dan arus akibat surja petir pada instalasi tegangan rendah dengan berbagai skenario (sambaran petir ke tanah, sambaran langsung ke saluran distribusi, maupun sambaran langsung ke antena televisi) dengan menggunakan program EMTP. Hasilnya adalah tegangan lebih akibat induksi petir pada instalasi tegangan rendah nilainya tidak jauh berbeda dengan kenaikan tegangan pada elektroda tanah. Selain itu, sambaran petir langsung menyebabkan kerusakan paling serius pada peralatan rumah tangga.
- e) J. Ribic,and R. Marusa,“*Protection of buildings in the vicinity of transmission towers against potential rise above the ground electrode-study case*”, 2016. Pada penelitian ini membahas mengenai sistem proteksi bangunan yang berada di sekitar menara transmisi untuk melindungi akibat dari kenaikan tegangan pada elektroda tanah, hasilnya adalah tindakan proteksi yang tepat untuk sistem *grounding* bangunan yaitu dengan menerapkan sistem grounding TN-C-S tanpa terhubung dengan elektroda pembumian, dan perlunya untuk melindungi seluruh konduktor fasa dengan MOV, dan konduktor netral dengan GDA.

2.6 Penelitian yang dilakukan

Penelitian ini menganalisis kenaikan tegangan yang diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* dan *gas discharge arrester*, serta menganalisis batas kenaikan tegangan petir maksimum yang aman pada model sistem proteksi tegangan rendah (sistem pentanahan TT dan sistem pentanahan TN-C-S). Konsep sistem proteksi yang digunakan mengacu pada standar IEC 61643-11.

Dalam penelitian ini GDA dan MOV yang digunakan merupakan SPD kelas II, karena model sistem proteksi dibuat untuk bangunan yang tidak dilengkapi dengan sistem proteksi petir eksternal. Pemasangan SPD pada konduktor fasa di *main distribution board* akan divariasikan (menggunakan MOV, GDA, serta kombinasi GDA dan MOV yang terhubung paralel), sedangkan di *sub distribution board* hanya menggunakan MOV.

Selain itu, konduktor netral pada sistem pentanahan TN-C-S diproteksi menggunakan MOV, dan hanya dipasang di *sub distribution board* antara konduktor netral dan PE, di mana konduktor PE terhubung dengan konduktor PEN pada *main distribution board* melalui kabel *bonding*. Sedangkan pada sistem pentanahan TT konduktor netral di *main distribution board* dan *sub distribution board* diproteksi menggunakan *isolated spark gap*. Pada penelitian ini *isolated spark gap* digantikan dengan *gas discharge arrester* karena memiliki fungsi yang sama sebagai *lightning current arrester* dengan kemampuan pemotongan arus surja yang besar.

Penelitian dilakukan dengan membuat simulasi rangkaian menggunakan program MATLAB/ Simulink.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan tempat penelitian

3.1.1 Waktu penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada bulan Februari 2017 hingga Agustus 2017.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium terpadu jurusan teknik elektro, Universitas lampung.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Perangkat komputer/ Laptop Intel *Core* i3-3217U, 1.8GHz
- b. Perangkat lunak MATLAB/Simulink R2013a

3.2.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Data saluran tegangan rendah
- b. *Datasheet gas discharge arrester* tipe CG2/230 V
- c. *Datasheet metal oxide varistor* tipe Q20K230

3.3 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah menghimpun informasi dari berbagai literatur baik yang bersumber dari jurnal penelitian, karya tulis ilmiah, buku, maupun artikel di internet.

b. Studi Bimbingan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah pendalaman materi dan melakukan diskusi bersama pembimbing, serta mencari solusi dari permasalahan mengenai topik penelitian.

c. Pengumpulan data

Pada tahap ini penulis menghimpun data yang dibutuhkan dalam penelitian, data tersebut meliputi; data konduktor saluran, *datasheet gas discharge arrester* dan *datasheet metal oxide varistor*.

d. Pemodelan

Komponen yang akan dimodelkan dalam simulasi rangkaian sistem proteksi terdiri dari; sumber tegangan sinus yang superposisi dengan tegangan impuls, peralatan proteksi surja (*gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor*), saluran tegangan rendah, sisi skunder trafo distribusi, dan sekering.

e. Simulasi Rangkaian

Simulasi dilakukan dengan memvariasikan penggunaan SPD (*gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor*), serta nilai tegangan impuls

yang diinjeksikan pada model sistem proteksi tegangan rendah (sistem pentanahan TT dan sistem TN-C-S).

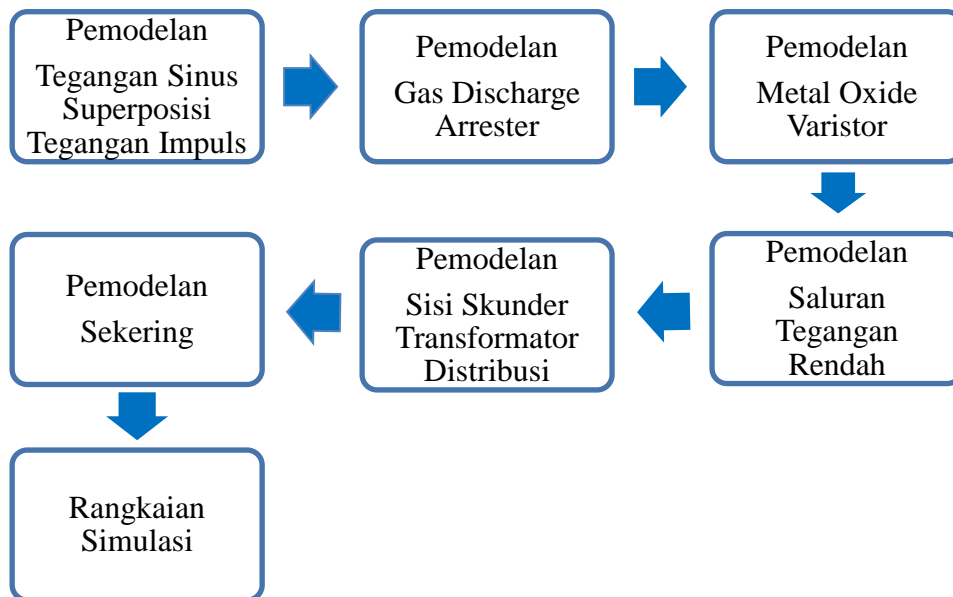
f. Analisis

Dari hasil simulasi rangkaian akan dianalisis kenaikan tegangan yang diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor*, serta batas kenaikan tegangan maksimum dari skenario simulasi pada sistem pentanahan TT dan sistem pentanahan TN-C-S.

3.4 Pemodelan Rangkaian Simulasi

Pemodelan rangkaian simulasi digambarkan dalam blok diagram pada gambar

3.1.



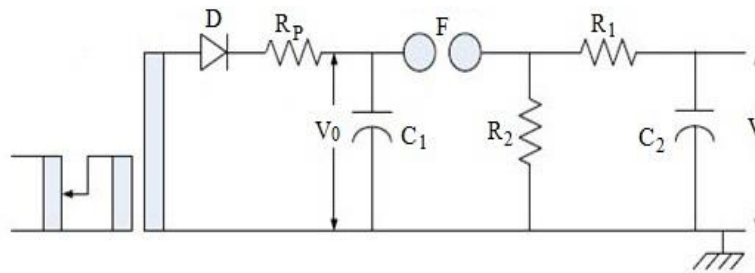
Gambar 3.1 Blok diagram pemodelan rangkaian simulasi

Tahap pemodelan dimulai dengan memodelkan sumber tegangan sinus yang superposisi dengan tegangan impuls, selanjutnya pemodelan peralatan proteksi

surja (*gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor*), saluran tegangan rendah, pemodelan sisi skunder trafo distribusi, dan pemodelan sekering.

3.4.1 Tegangan sinusoidal superposisi dengan tegangan impuls

Pemodelan ini dilakukan dengan memodelkan tegangan AC sinusoidal (220 V) dengan blok *AC Voltage Source* pada elemen *library* SimPowerSystem MATLAB/Simulink, yang superposisi dengan tegangan impuls (tegangan yang muncul akibat sambaran petir) [14]. Pembangkitan tegangan tinggi impuls dibuat berdasarkan rangkaian generator impuls RC, adapun parameter rangkaiannya dihitung menggunakan persamaan 3.1- persamaan 3.5 [15].



Gambar 3.2 Rangkaian generator impuls RC [15].

Kapasitansi ekivalen (C_{eq}) dirumuskan dengan :

$$C_{eq} = \left(\frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \right) \quad (3.1)$$

Dimana besarnya energi yang dilepaskan dirumuskan dengan :

$$W = \frac{1}{2} C_{eq} \left(\frac{V_{maks}}{\eta} \right)^2 \quad (3.2)$$

Efisiensi generator (η) dirumuskan dengan :

$$\eta = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) \quad (3.3)$$

Besarnya nilai resistansi R_1 dan R_2 dirumuskan dengan:

$$R_1 = \frac{T_f \times (C_1 + C_2)}{3 \times (C_1 \times C_2)} \quad (3.4)$$

$$R_2 = \left(\frac{T_t}{0.7 \times (C_1 + C_2)} \right) - R_1 \quad (3.5)$$

3.4.2 Gas discharge arrester

Dalam penelitian ini pemodelan *gas discharge arrester* dibuat berdasarkan pemodelan matematis dari respon gelombang tegangan impuls standar IEC 1,2 μ s x 50 μ s, yang dimodelkan dengan elemen dua kutub berupa *switch* dan dikendalikan oleh *sub-block* individu sehingga nilai resistansinya bisa diubah-ubah. Tiga tahapan operasi yang diadopsi yaitu; fase *pre-breakdown*, fase *breakdown*, dan fase busur atau *arc* [16].

➤ Pre-Breakdown Phase

Perubahan nilai resistansi pada fase ini secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$R_s(t) = \begin{cases} R_{s0} & ; t < t_{DC} + t_d \\ R_{s0} \cdot \exp\left(-\frac{t - (t_{DC} + t_d)}{\tau_{01}}\right) & ; t \geq t_{DC} + t_d \\ R_{s1} & ; R_s(t) \leq R_{s1} \end{cases} \quad (3.6)$$

Dimana:

R_{s0} = Resistansi saat *switch* terbuka (Ohm)

R_{s1} = Resistansi saat *switch* tertutup (Ohm)

t_{DC} = Waktu saat tegangan pada arrester mencapai tegangan *breakdown* (sekon)

τ_{01} = Konstanta waktu dari penutupan saklar (sekon)

➤ *Breakdown Phase*

Perubahan nilai resistansi pada fase ini dirumuskan dengan persamaan

Toepler sebagai berikut :

$$R(t) = \frac{k_T \cdot d}{\int_{t_{DC}+t_d}^t i dt} \quad (3.7)$$

Dimana:

K_T = Konstanta Toepler

d = Jarak antar elektroda (meter)

I = Arus yang mengalir pada Arrester (Ampere)

➤ *Arc Phase*

Model fase busur ini dibuat berdasarkan model Cassie, nilai resistansi

fase *arc* didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{d \ln(g)}{dt} = \frac{1}{\tau} \cdot \left(\frac{u \cdot i}{P_0} - 1 \right) ; R = \frac{1}{g} \quad (3.8)$$

Dimana:

τ = konstanta waktu (sekon)

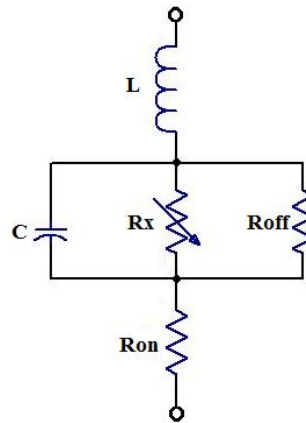
u = Tegangan Cassie atau tegangan fase busur (Volt)

3.4.3 *Metal oxide varistor*

Metal oxide varistor dimodelkan berdasarkan rangkaian ekivalen dari varistor

[17]. C merupakan nilai kapasitansi dari varistor, L adalah nilai

induktansinya, R_{OFF} adalah nilai resistansi dalam kondisi tegangan normal, R_{ON} adalah nilai resistansi pada saat varistor bekerja, dan R_X adalah resistansi non-linear yang nilainya dipengaruhi tegangan.



Gambar 3.3 Rangkaian ekivalen Varistor [17].

Karakteristik dari varistor dirumuskan dalam persamaan 3.9 – persamaan 3.11[17]:

$$I = KV^\alpha \quad (3.9)$$

K merupakan sebuah konstanta, dan α merupakan derajat non-linear varistor yang ditentukan dari kurva karakteristik V-I atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\alpha = \frac{\log(I_2/I_1)}{\log(V_2/V_1)} \quad (3.10)$$

Untuk $I_2/I_1 = 1$ maka nilai α adalah:

$$\alpha = \frac{1}{\log(V_2/V_1)} \quad (3.11)$$

3.4.4 Saluran tegangan rendah

Saluran tegangan rendah dimodelkan berdasarkan nilai parameter saluran seperti; resistansi saluran, induktansi saluran, dan kapasitansi saluran yang dihitung berdasarkan persamaan 3.12 – persamaan 3.15 [18].

Resistansi penghantar dirumuskan dengan:

$$R_{DC} = \rho \frac{l}{A} \quad (3.12)$$

Induktansi kawat penghantar, dirumuskan sebagai berikut :

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \log \frac{2h}{GMR} \quad (\text{H/Km}) \quad (3.13)$$

Nilai GMR dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$GMR = r \cdot e^{-\mu_r/4} \quad (3.14)$$

Kapasitansi konduktor persatuan panjang (C) dirumuskan sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log \frac{2h}{r}} \quad (\text{F/Km}) \quad (3.15)$$

Dimana,

A : Luas penampang penghantar (m)

ρ : Resistivitas penghantar (Ωm)

l : Panjang penghantar (m)

r : Jari-jari konduktor (meter)

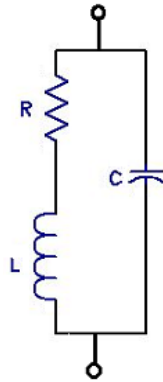
h : Ketinggian konduktor dari tanah (meter)

μ_0 : permeabilitas udara ($4\pi \cdot 10^{-4}$ H/km)

ϵ_0 : permetivitas udara ($8.8542 \cdot 10^{-9}$ F/km)

3.4.5 Sisi skunder belitan trafo distribusi

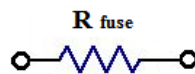
Pada gambar 3.4 sisi skunder belitan trafo distribusi dimodelkan dengan nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi [19].



Gambar 3.4 Model rangkaian sisi skunder transformator [19].

3.4.6 Sekering / Fuse

Sekering direpresentasikan sebagai sebuah resistor linear dengan nilai resistansi yang rendah ($R_{Fuse} = 0.1 \text{ m}\Omega$) [20].



Gambar 3.5 Model sekering

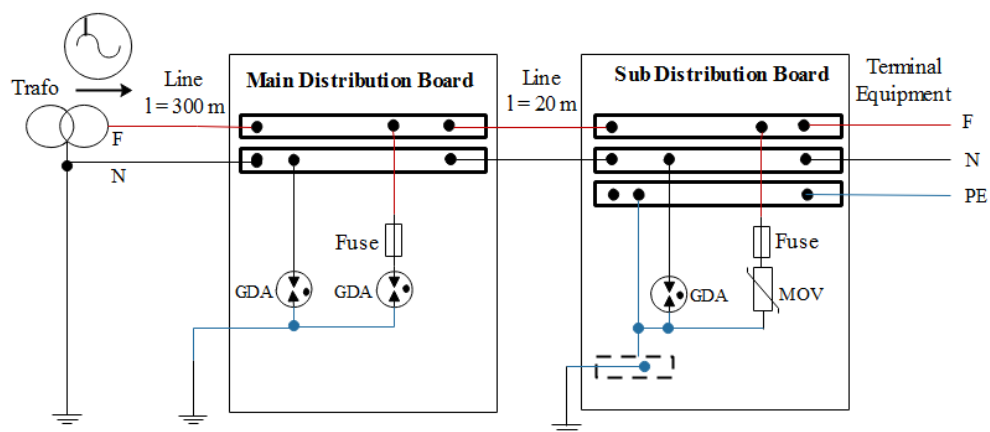
3.5 Tahapan Simulasi Rangkaian

Simulasi rangkaian dilakukan dengan cara memvariasikan penempatan peralatan proteksi surja (*gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor*) pada konduktor fasa di *main distribution board*, dengan dua sistem pentanahan yang berbeda

(sistem TT dan sistem TN-C-S) menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Adapun rangkaian sistem proteksi yang disimulasikan adalah sebagai berikut :

3.5.1 Sistem TT dengan menggunakan peralatan proteksi GDA

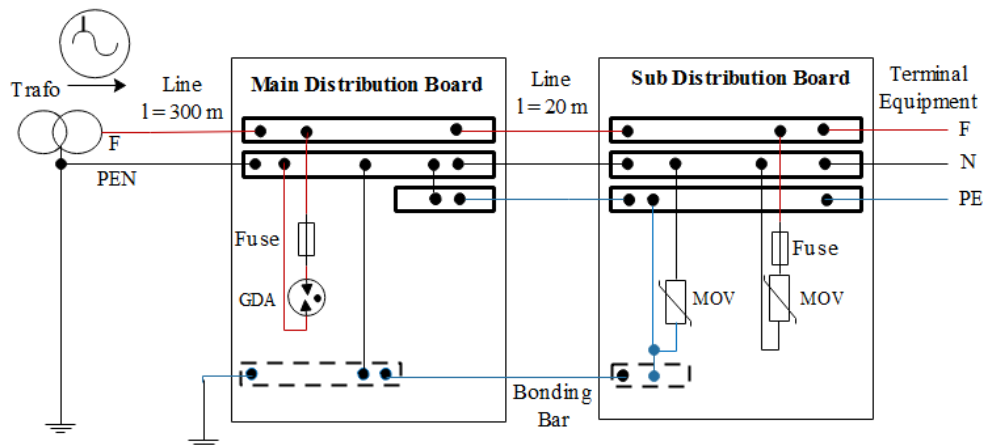
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa dan netral pada *main distribution board* diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* yang dihubungkan langsung ke sistem grounding. Sedangkan pada *sub distribution board*, konduktor fasa diproteksi menggunakan *metal oxide varistor*, dan konduktor netral diproteksi menggunakan *gas discharge arrester*.



Gambar 3.6 Single line diagram sistem TT dengan GDA

3.5.2 Sistem TN-C-S dengan menggunakan peralatan proteksi GDA

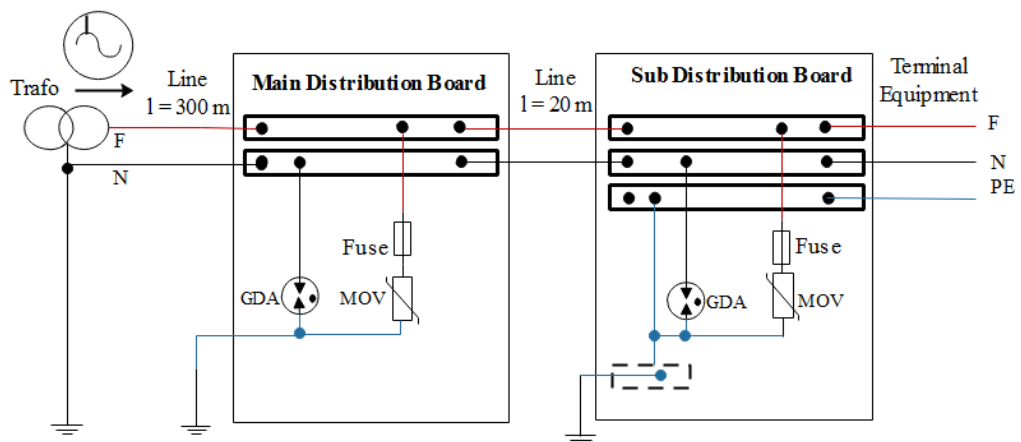
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa pada *main distribution board* diproteksi dengan *gas discharge arrester* yang terhubung dengan konduktor PEN. Sedangkan pada *sub distributon board*, konduktor fasa dan netral diproteksi dengan *metal oxide varistor* yang terhubung dengan konduktor PE.



Gambar 3.7 *Single line* diagram sistem TN-C-S dengan GDA

3.5.3 Sistem TT dengan menggunakan peralatan proteksi MOV

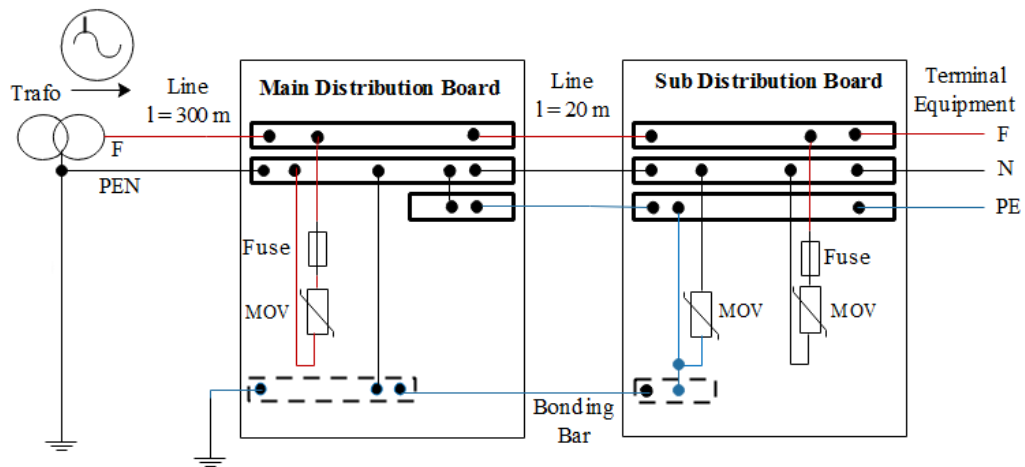
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa pada *main distribution board* diproteksi menggunakan *metal oxide varistor*, dan konduktor netral diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* yang terhubung langsung ke sistem grounding. Sedangkan pada *sub distribution board*, konduktor fasa diproteksi menggunakan *metal oxide varistor*, dan konduktor netral diproteksi menggunakan *gas discharge arrester*.



Gambar 3.8 *Single line* diagram sistem TT dengan MOV

3.5.4 Sistem TN-C-S dengan peralatan proteksi MOV

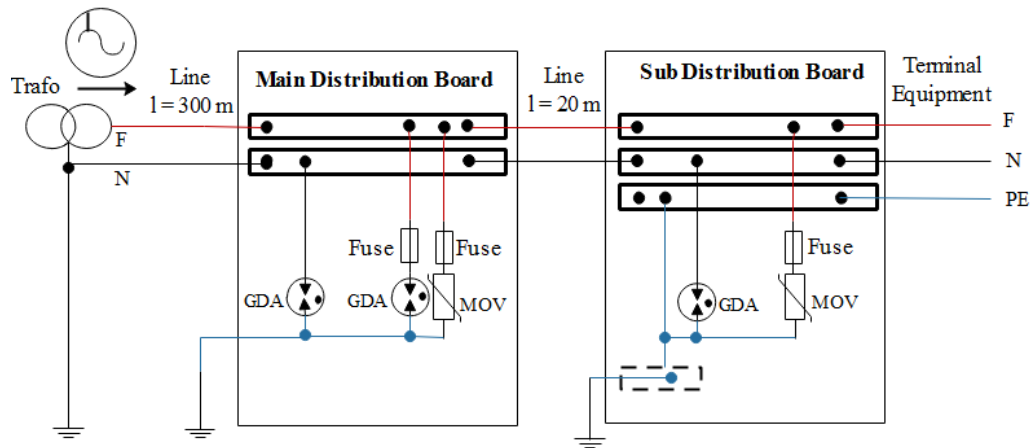
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa pada *main distribution board* diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* yang terhubung dengan konduktor PEN. Sedangkan pada *sub distributon board*, konduktor fasa dan netral diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* yang terhubung dengan konduktor PE.



Gambar 3.9 Single line diagram sistem TN-C-S dengan MOV

3.5.5 Sistem TT dengan peralatan proteksi GDA dan MOV

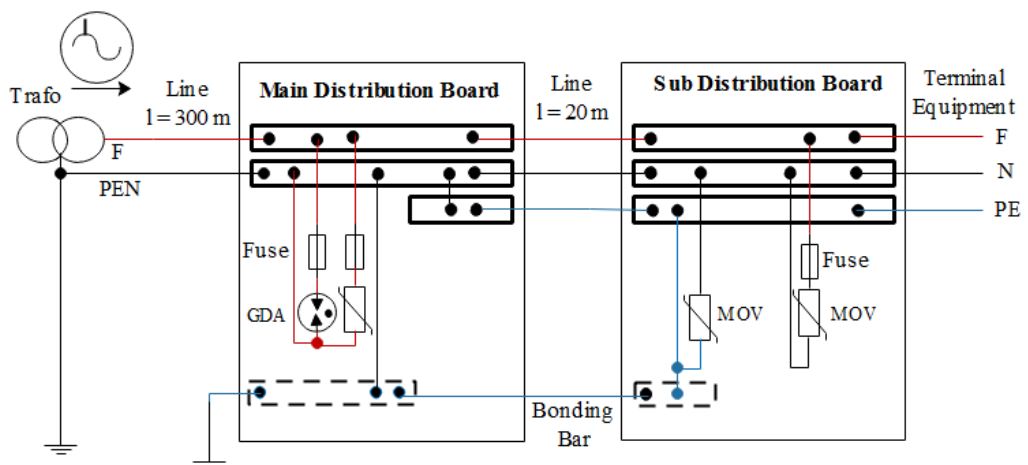
Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa pada *main distribution board* diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor* yang dipasang paralel, dan konduktor netral diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* yang terhubung langsung ke sistem grounding. Sedangkan pada *sub distribution board*, konduktor fasa diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* dan konduktor netral diproteksi menggunakan *gas discharge arrester*.



Gambar 3.10 *Single line* diagram sistem TT dengan GDA dan MOV

3.5.6 Sistem TN-C-S dengan peralatan proteksi GDA dan MOV

Dalam simulasi rangkaian ini, konduktor fasa pada *main distribution board* diproteksi menggunakan *gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor* yang dipasang paralel dan terhubung dengan konduktor PEN. Sedangkan pada *sub distributon board*, konduktor fasa dan netral diproteksi menggunakan *metal oxide varistor* yang terhubung dengan konduktor PE.

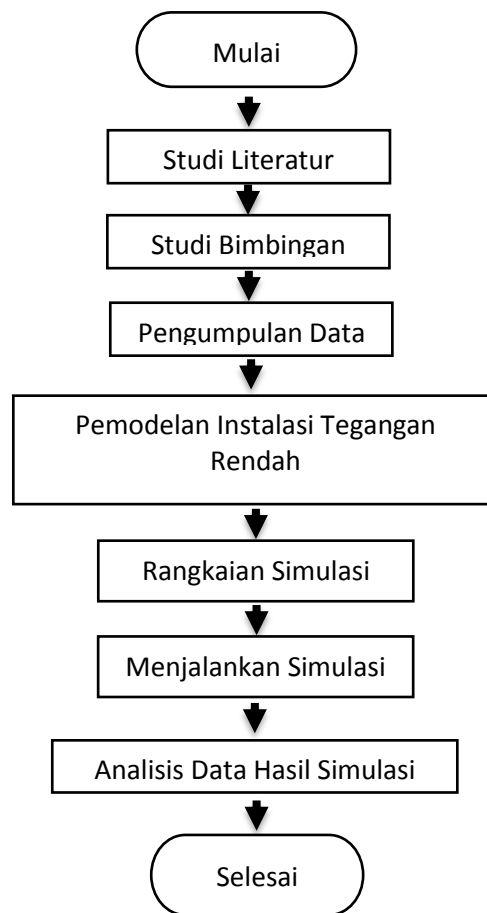


Gambar 3.11 *Single line* diagram sistem TN-C-S kombinasi GDA dan

MOV

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, studi bimbingan, pengumpulan data, pemodelan instalasi tegangan rendah, rangkaian simulasi, melakukan simulasi rangkaian, dan tahap terakhir adalah menganalisis data hasil simulasi. Urutan proses tersebut digambarkan dalam *flowchart* diagram alir penelitian tugas akhir pada gambar 3.12 di bawah ini:



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi proteksi tegangan lebih yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut :

1. *Gas discharge arrester* yang dipasang di *main distribution board* pada sistem pentanahan TT hasil pemotongan tegangannya lebih baik dibandingkan pada sistem TN-C-S, karena pada sistem TT resistansi *gas discharge arrester* pada fase *breakdown* lebih besar dibandingkan sistem TN-C-S.
2. *Metal oxide varistor* yang dipasang di *main distribution board* pada sistem pentanahan TN-C-S hasil pemotongan tegangannya lebih baik dibandingkan sistem TT, karena pada sistem TN-C-S resistansi *metal oxide varistor* lebih besar dibandingkan sistem TT.
3. Kombinasi *gas discharge arrester* dan *metal oxide varistor* yang dipasang di *main distribution board* pada simulasi C merupakan skenario yang paling baik dalam memproteksi tegangan lebih, dengan tegangan impuls yang

disuplai 2 kV persentase pemotongan tegangannya sebesar 85,59% untuk sistem pentanahan TT, dan 85,60% untuk sistem pentanahan TN-C-S

4. Kenaikan tegangan petir maksimum yang aman untuk peralatan tegangan rendah pada masing-masing simulasi yaitu : Simulasi A.1 = 6kV, Simulasi A.2 = 10 kV, simulasi B.1 = 2 kV, simulasi B.2 = 2 kV, simulasi C.1 = 10 kV, dan simulasi C.2 = 10 kV.

5.2 Saran

Sebagai masukan untuk menyempurnakan penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, berikut ini saran yang harus diperhatikan :

1. Hasil pemotongan tegangan dengan menggunakan peralatan proteksi GDA dan MOV setelah di *sub distribution board* masih relatif besar, sehingga untuk peralatan listrik yang sangat sensitif diperlukannya penambahan SPD kelas 3 berupa metal oxide varistor atau dioda zener dengan *clamping voltage* yang lebih rendah.
2. Pemodelan *gas discharge arrester* yang digunakan merupakan pemodelan matematis yang berdasarkan gelombang impuls $1,2 \mu s \times 50 \mu s$, sehingga perlunya menggunakan pemodelan yang juga mempertimbangkan parameter fisik yang terjadi pada fase pengoperasian *gas discharge arrester*.