

HALAMAN JUDUL

**STUDI ANALISIS SISTEM PROTEKSI TEGANGAN LEBIH
(*OVER VOLTAGE*) MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ATP
(*ANALYSIS TRANSIENT PROGRAMME*)
(STUDI KASUS PADA GARDU INDUK BANTUL 150 KV)**

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan Strata Satu (S1)
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

Muhammad Rizaldy

NIM: 20140120215

**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2017

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rizaldy
NIM : 20140120215
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa isi dari Tugas Akhir yang saya tulis adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di Daftar Pustaka dalam Tugas Akhir ini. Apabila di kemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sesuai dengan peraturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Yogyakarta, 23 Desember 2017



Muhammad Rizaldy

HALAMAN MOTTO

*“Maka **Nikmat** Tuhan Manakah Yang Kamu **Dustakan**”*

Q.S. Ar-Rahman

*“Jika salah **perbaiki**, jika gagal **coba lagi**, namun jika kamu **menyerah**
semuanya berakhir”*

*“Menjadi baik itu **harus**, menjadi bermanfaat itu **wajib**”*

*“**Pengalaman** adalah **guru terbaik** dalam kehidupan”*

*“**Talk Less do More**”*

*“Bahan bakar waktu adalah manusia itu sendiri,
so appreciate your time every seconds”*

*“**Belajar Berusaha dan Berdoa**”*

*“**Keberuntungan** lebih tinggi dari **Kecerdasan**”*

*“Do the **Best** Be the **Best** and God will do the **Best**”*

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Karya tulis ini kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, kakak dan adikku, serta semua orang hebat yang senantiasa mendukung dan menyemangatiku”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah...

Segala puji hanya bagi Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, karena tidak ada daya dan upaya melainkan karena Allah SWT akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*Over Voltage*) Menggunakan *Software* ATP (*Analysis Transient Programme*) (Studi Kasus Pada Gardu Induk Bantul 150 kV)”**. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada panutan dan junjungan kita Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabatnya dan tak lupa kita selaku umatnya yang selalu taat dan patuh pada ajarannya.

Tiada suatu kesuksesan apapun yang dicapai seorang diri melainkan terdapat campur tangan orang lain di dalamnya karena tanpa usaha, keinginan, dan doa yang kuat dari dalam hati kesuksesan itu tidak mungkin terwujud. Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa kesuksesan tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setulusnya kepada:

1. Jazaul Ikhsan, ST.,M.T.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
2. Dr. Ramadoni Syahputra, S.T.,M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan sekaligus sebagai dosen pembimbing I yang dengan sabar meluangkan waktu untuk berdiskusi, membaca kata demi kata dan memberikan masukan pada tugas akhir ini,
3. Anna Nur Nazilah Chamim, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing II yang selalu berkenan memberikan masukan di setiap semester selama masa studi penulis di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,

4. Kedua orang tua, kakak dan keluarga, atas segala cinta, doa, dan dukungan yang telah diberikan,
5. Muhamad Yusvin Mustar, S.T.,M.Eng selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun ketika menguji keabsahan tugas akhir ini,
6. Rahmat Adiprasetya Al Hasbi, S.T.,M.Eng yang selalu mengajar dan memberi masukan kepada penulis dalam proses simulasi tugas akhir ini,
7. Dr. Hans. K. Høidalen selaku dosen di NTNU (*Norwegian University of Science and Technology*) yang selalu membantu penulis dalam pemodelan simulasi *software ATP Draw*,
8. Segenap dosen pengajar Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
9. Seluruh karyawan TU Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
10. Staff Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
11. Kepada pimpinan APP Gardu Induk Salatiga - Jawa Tengah yang telah membantu dalam proses rekomendasi dan perijinan penelitian di Gardu Induk Bantul-DIY.
12. Kepada pimpinan, karyawan, dan staf Gardu Induk Bantul-DIY yang telah membantu dalam proses pengambilan data selama penelitian.
13. Rekan-rekan Teknik Elektro 2014 yang telah memberikan kesan luar biasa selama empat tahun terakhir,
14. Teman-teman KKN-MH 002 Desa Sendangagung, Kecamatan Minggir yang telah bekerjasama dalam penyelesaian mata kuliah wajib KKN selama bulan Ramadhan,
15. Ika sartika yang di tengah kesibukannya masih bisa menyempatkan untuk membaca kata demi kata dan mengedit *typo* pada penelitian tugas akhir ini,
16. Serta semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga tugas akhir “**Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*Over Voltage*) Menggunakan Software ATP (*Analysis Transient Programme*) (Studi Kasus Pada Gardu Induk Bantul 150 kV)**” ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dikemudian hari tak terkecuali bagi penulis pribadi dan dapat dijadikan panduan dalam penyelesaian tugas akhir ditahun berikutnya.

Tiada Gading yang Tak Retak karena tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai penelitian tugas akhir ini, penulis harapkan dapat disampaikan melalui muhammad27rizaldy@gmail.com

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 23 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Fenomena Terjadinya Petir.....	8
2.2.2 Gelombang Berjalan (<i>Travelling Wave</i>) ^{[9][13]}	12
2.2.3 Proses Terjadinya Tegangan Lebih (<i>Over Voltage</i>) Akibat Surja Petir (<i>Lightning Surge</i>) Pada Saluran Transmisi.....	13
2.2.4 Transformator Tenaga (<i>Power Transformer</i>)	18
2.2.5 <i>Lightning Arrester</i> (LA)	19
2.2.6 Persamaan Empiris Arrester	58
2.2.7 <i>Software</i> ATP Draw.....	61
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	62
3.1 Waktu dan Tempat	62
3.2 Alat dan Bahan	62
3.3 Tahapan Pembuatan Tugas Akhir	63
3.3.1 Studi Pendahuluan	63

3.3.2	Identifikasi dan Perumusan Masalah	63
3.3.3	Studi Pustaka	64
3.3.4	Metode Pengumpulan Data.....	64
3.3.5	Studi Analisis Data	65
3.3.6	Penutup (Kesimpulan dan Saran)	65
3.4	Diagram Alir Pembuatan Tugas Akhir.....	66
3.5	Tahapan Penelitian	67
3.5.1	Langkah Perhitungan Jarak Ideal Arrester dan Transformator	67
3.5.2	Langkah Simulasi Menggunakan <i>Software</i> ATP.....	68
3.5.3	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	70
3.6	Komponen Simulasi ATP (<i>Analysis Transients Programme</i>).....	71
3.6.2	Arrester ZnO (<i>Metal Oxide Varistor</i>).....	71
3.6.3	Probe <i>Current</i>	72
3.6.4	Probe <i>Voltage</i>	72
3.6.5	Resistansi Beban (<i>Load</i>).....	73
3.6.6	RLC 3 Fasa Generator	73
3.6.7	Transformator Tenaga (<i>Power Transformer</i>).....	74
3.6.8	Sumber 3 Fasa (Unit Pembangkitan 23 kV).....	74
3.6.9	Sambaran Petir (<i>Lightning Impulse</i>).....	75
3.6.10	Saklar Ukur (<i>Measuring Switch</i>)	75
3.6.11	Parameter Saluran Transmisi (<i>Clarke 3 Phase Transposed</i>)	76
3.7	Penyusunan Tugas Akhir.....	76
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		77
4.1	Perhitungan Tegangan Dasar Arrester.....	78
4.2	Jarak Ideal Arrester dan Transformator Menurut IEC (1958) dan SPLN (1978:4).....	78
4.3	Jarak Ideal Arrester dan Transformator di Gardu Induk Bantul 150 kV	79
4.4	Perhitungan Nilai Impedansi (<i>Z</i>) di Beban (<i>Load</i>).....	80
4.5	Perhitungan Nilai Impedansi (<i>Z</i>) di Jepitan Primer Transformator	81
4.6	Nilai Induktansi (<i>L</i>) dan Kapasitansi (<i>C</i>) Kawat Konduktor SUTT (antar <i>tower</i> 150 kV) dan <i>Switchyard</i> di Gardu Induk Bantul 150 kV	82
4.6.1	Nilai Induktansi (<i>L</i>)	82
4.6.2	Nilai Kapasitansi (<i>C</i>)	82
4.7	Impedansi Surja di <i>Tower</i> SUTT dan <i>Switchyard</i> di Gardu Induk Bantul 150 kV.....	83
4.9	Perhitungan Tegangan Surja Menurut SPLN 7. 1987	85
4.10	Perhitungan Tegangan Sambaran Petir pada Transformator II di Gardu Induk Bantul 150 kV	86
4.11	Pembahasan Hasil Simulasi ATP (<i>Analysis Transient Programme</i>)	87
4.11.1	Skenario Sistem Tanpa Arrester MOV.....	87

4.11.2 Skenario Sistem Dengan Arrester MOV	100
4.11.3 Grafik Perbandingan Tegangan dan Arus.....	113
BAB V PENUTUP.....	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN.....	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pembentukan awan bermuatan.....	9
Gambar 2.2	Lidah petir menjalar ke arah bumi.....	9
Gambar 2.3	Kilat sambaran balik dari bumi ke awan	10
Gambar 2.4	Kumpulan muatan pada saluran distribusi	11
Gambar 2.5	Spesifikasi gelombang berjalan.....	12
Gambar 2.6	Sambaran langsung pada kawat fasa yang mengalir ke dua arah (<i>upstream</i> dan <i>downstream</i>)	14
Gambar 2.7	Penampang menara transmisi untuk menghitung impedansi surja menara	16
Gambar 2.8	(a) Kurva induktansi menara (b) Sambaran langsung pada menara transmisi	17
Gambar 2.9	Transformator tenaga (<i>power transformer</i>).....	19
Gambar 2.10	Penempatan arrester terhadap transformator	21
Gambar 2.11	Gelombang tegangan lebih transien (a) Tanpa arrester (b) Dengan arrester	21
Gambar 2.12	Grafik level tegangan sistem yang dilewatkan menggunakan arrester dan tanpa arrester akibat sambaran petir pada peralatan gardu induk.....	22
Gambar 2.13	Rangkaian proteksi surja secara umum	25
Gambar 2.14	Konstruksi arrester (<i>porcelain housed MO arrester</i>).....	26
Gambar 2.15	<i>Metal oxide</i> varistor (MOV).....	27
Gambar 2.16	<i>Housing</i> arrester.....	28
Gambar 2.17	Terminal pejal (kiri) dan Terminal plat (kanan).....	29
Gambar 2.18	Pemisah (<i>disconnector</i>)	29
Gambar 2.19	<i>Sealing and pressure relief system of high voltage porcelain housed</i>	30
Gambar 2.20	Susunan dua buah arrester tegangan tinggi dengan <i>grading ring</i> .	31
Gambar 2.21	Isolatorudukan arrester	31
Gambar 2.22	<i>Discharge counter</i> dan miliammeter (mA)	32
Gambar 2.23	<i>Discharge counter</i> arrester dan miliammeter (mA)	32
Gambar 2.24	Posisi pemasangan perlengkapan arrester	33
Gambar 2.25	Struktur penyangga arrester dari (a) Besi yang dilapisi beton (b) Baja	34
Gambar 2.26	Elektroda pada arrester	34
Gambar 2.27	<i>Spark gap</i> arrester.....	35
Gambar 2.28	Tahanan katup varistor (<i>valve resistor</i>).....	35
Gambar 2.29	Arrester jenis ekspulsi (<i>expulsion type</i>).....	36
Gambar 2.30	Arrester jenis katup (<i>valve type</i>).....	38
Gambar 2.31	<i>Metal oxide</i> arrester jenis saluran distribusi	39
Gambar 2.32	Klasifikasi arrester katup berdasarkan level tegangannya.....	40
Gambar 2.33	Arrester seng oksida dengan elemen aktif (<i>zinc oxide/ZnO</i>).....	40
Gambar 2.34	Model rangkaian ekuivalen dari varistor (<i>valve resistor</i>) ZnO	41
Gambar 2.35	Posisi material terpasang antara arrester jenis.....	44

Gambar 2.36	Grafik perbandingan tegangan dan arus antar ZnO dan SiC	44
Gambar 2.37	Karakteristik arus/waktu dari sebuah SPD dengan varistor	46
Gambar 2.38	Arrester pada transformator tenaga I.....	47
Gambar 2.39	Arrester pada transformator tenaga II.....	49
Gambar 2.40	Arrester pada transformator tenaga III	51
Gambar 2.41	Transformator dan arrester terpisah sejarak S	60
Gambar 2.42	<i>Icon software ATP Draw</i>	61
Gambar 3.1	Lokasi <i>basecamp</i> GI Bantul 150 kV.....	62
Gambar 3.2	Diagram alur pembuatan tugas akhir.....	66
Gambar 3.3	Diagram alur penelitian tugas akhir	70
Gambar 3.4	Pentanahan (<i>grounding</i>)	71
Gambar 3.5	<i>Metal oxide</i> varistor (ZnO).....	72
Gambar 3.6	Probe <i>current</i> 3 fasa.....	72
Gambar 3.7	Probe <i>voltage</i> 3 fasa.....	73
Gambar 3.8	Resistansi beban (<i>load</i>) 3 fasa	73
Gambar 3.9	RLC 3 fasa generator.....	74
Gambar 3.10	Transformator tenaga (Y koneksi).....	74
Gambar 3.11	Sumber unit pembangkitan 20 kV	75
Gambar 3.12	Sambaran petir (<i>lightning impulse</i>) type L Heidler	75
Gambar 3.13	Saklar (<i>switch</i>)	76
Gambar 4.1	Jarak penempatan arrester dan transformator di Gardu Induk Bantul 150 kV.....	77
Gambar 4.2	Rangkaian simulasi arus terhadap waktu akibat sambaran petir tanpa perlindungan arrester	88
Gambar 4.3	Rangkaian simulasi tegangan terhadap waktu akibat sambaran petir tanpa perlindungan arrester.....	88
Gambar 4.4	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir (<i>upstream</i> dan <i>downstream</i>)	89
Gambar 4.5	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir (<i>upstream</i>).....	90
Gambar 4.6	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir (<i>downstram</i>).....	90
Gambar 4.7	Gelombang tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir fasa T	92
Gambar 4.8	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir fasa T.....	92
Gambar 4.9	Gelombang arus terhadap waktu pada jepitan transformator primer	94
Gambar 4.10	Gelombang tegangan terhadap waktu pada jepitan transformator primer	95
Gambar 4.11	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu dijepitan transformator primer fasa T.....	95
Gambar 4.12	Gelombang arus terhadap waktu pada beban (<i>load</i>)	96
Gambar 4.13	Gelombang tegangan terhadap waktu pada beban (<i>load</i>).....	97
Gambar 4.14	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu di beban (<i>load</i>) fasa T	98

Gambar 4.15	Rangkaian simulasi arus lebih dengan perlindungan arrester (<i>metal oxide varistor</i>) akibat sambaran petir.....	100
Gambar 4.16	Rangkaian simulasi tegangan lebih dengan perlindungan arrester (<i>metal oxide varistor</i>) akibat sambaran petir.....	100
Gambar 4.17	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> dengan pemasangan arrester	101
Gambar 4.18	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir (<i>upstream</i>) setelah pemasangan arrester.....	102
Gambar 4.19	Gelombang arus terhadap waktu dititik sambaran petir (<i>downstream</i>) setelah pemasangan arrester	102
Gambar 4.20	Gelombang tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir	103
Gambar 4.21	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir	104
Gambar 4.22	Kondisi gelombang arus terhadap waktu dititik arrester dan jepitan transformator	105
Gambar 4.24	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu dititik arrester dan jepitan primer transformator.....	106
Gambar 4.25	Kondisi gelombang arus terhadap waktu dititik arrester dan jepitan primer transformator.....	107
Gambar 4.26	Gelombang tegangan terhadap waktu dititik arrester dan jepitan primer transformator.....	108
Gambar 4.27	<i>Detail</i> gelombang tegangan terhadap waktu dititik arrester dan jepitan primer transformator.....	108
Gambar 4.28	Kondisi gelombang arus terhadap waktu dibeban (<i>load</i>).....	109
Gambar 4.29	Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dibeban (<i>load</i>)	110
Gambar 4.30	Kondisi gelombang arus terhadap waktu dibeban (<i>load</i>).....	111
Gambar 4.31	Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dibeban (<i>load</i>)	112
Gambar 4.32	Grafik perbandingan tegangan dan arus pada waktu muka petir 1.2454×10^{-3} ms pada Gardu Induk Bantul saat jarak arrester 3.15 meter, 15 meter dan tanpa arrester	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Z_0 menurut IEC <i>Publication</i> 71-2	15
Tabel 2.2	<i>Discharge currents</i> nominal berdasarkan IEC 60099-4.....	39
Tabel 2.4	Karakteristik arrester OHIO BRASS <i>type</i> PH317OGV132AA saat waktu <i>lightning impulse</i> 8/20 μ s	48
Tabel 2.5	Karakteristik arrester OHIO BRASS <i>type</i> PH317OGV132AA saat waktu <i>switching impulse</i> 36/90 μ s	48
Tabel 2.6	Karakteristik arrester SIEMENS <i>type</i> 3EL2 144-6PP42-4NA1-Z saat waktu <i>lightning impulse</i> 8/20 μ s	50
Tabel 2.7	Karakteristik arrester SIEMENS <i>type</i> 3EL2 144-6PP42-4NA1-Z saat waktu <i>switching impulse</i> 45/90 μ s	50
Tabel 2.8	Karakteristik arrester BOWTHORPE EMP <i>type</i> MBA4150L2E1M1 saat waktu 30/60 μ s (<i>switching surge</i>)	52
Tabel 2.9	Karakteristik arrester BOWTHORPE EMP <i>type</i> MBA4150L2E1M1 saat waktu 8/20 μ s (<i>lightning current</i>)	52
Tabel 2.3	Karakteristik arrester IEEE W.G. 3.4.11.....	53
Tabel 2.10	Isolasi tahanan tegangan akibat sambaran petir menurut IEEE C62.11-2012	54
Tabel 2.11	Pemeliharaan harian arrester	55
Tabel 2.12	Pemeliharaan tahunan arrester	56
Tabel 4.1	Perbandingan arus terhadap waktu dititik sambaran petir	91
Tabel 4.2	Perbandingan tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir yang menuju ke sumber dan Gardu Induk Bantul 150 kV.....	93
Tabel 4.3	Perbandingan arus terhadap waktu dijepitan transformator bagian primer	94
Tabel 4.4	Perbandingan tegangan terhadap waktu dijepitan transformator bagian primer	96
Tabel 4.5	Perbandingan arus terhadap waktu dibeban (<i>load</i>) transformator sekunder	97
Tabel 4.6	Perbandingan tegangan terhadap waktu dibeban (<i>load</i>)	98
Tabel 4.7	Perbandingan tegangan dan arus saat sistem tidak terpasang arrester.....	99
Tabel 4.8	Perbandingan arus terhadap waktu dititik sambaran petir	103
Tabel 4.9	Besar impuls tegangan terhadap waktu dititik sambaran petir.....	104
Tabel 4.10	Perbandingan puncak tegangan dan arus saat sistem terpasang arrester.....	112