

Tugas Akhir

**“PENGEMBANGAN PENTANAHAN EKTERNAL DAN
INTERNAL PADA LABORATORIUM KONVERSI ENERGI”**



TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Ujian Guna Menyelesaikan Studi pada
Program Pendidikan Diploma III
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Disusun oleh:

Syukur Aditya S 342 07 013

Syaiful Awal Bhakti 342 07 023

PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

2010

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : " Pengembangan Pentanahan Eksternal dan Internal

pada Laboratorium Konversi Energi "

Oleh : 1. Syukur Aditya S (342 07 013)

2. Syaiful Awal Bhakti (342 07 023)

Program Studi : Teknik konversi Energi

Jurusan : Teknik Mesin

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi program Diploma III (D3) pada Program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2010

Disetujui,

Pembimbing I



Ir. Makmur Saini, MT
NIP. 19610623 198903 1 003

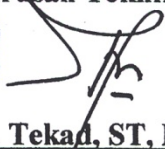
Pembimbing II



Akhmad Taufik, ST, MT
NIP. 19760413 200812 1 003

**Mengetahui,
a.n Direktur
Ketua Jurusan Teknik Mesin**




Muh. Tekad, ST, MT.
NIP. 19650824 199003 1 003

LEMBAR PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG

Pada hari ini, Oktober 2010, panitia ujian sidang menerima dengan baik tugas akhir mahasiswa :

Nama : Syukur Aditya S (342 07 013)







Syaiful Awal Bhakti (342 07 023)

Judul : “Pengembangan Pentanahan Eksternal dan Internal pada Laboratorium Konversi Energi “.

Telah diperiksa dan disahkan oleh Tim Penguji Tugas Akhir Politeknik Negeri Ujung Pandang

Makassar, Oktober 2010

Panitia Ujian Sidang:

- | | | |
|---|---------------|---|
| 1. Ir. Lewi, M.T
NIP. 19560913 199103 1 006 | Ketua | () |
| 2. Sonong, ST., M.T.
NIP. 132 009 972 | Sekretaris | () |
| 3. Ir. Herman Nawir, M.T
NIP. 19850606 198903 1 001 | Anggota | () |
| 4. Ir. Andareas P, M.T
NIP. 19620828 198903 1 003 | Anggota | () |
| 5. Ir. Makmur Saini, M.T
NIP. 19610623 198903 1 002 | Pembimbing I | () |
| 6. Akhmad Taufik, S.T., M.T
NIP. 19760413 200812 1 003 | Pembimbing II | () |



ABSTRAK

Syukur Aditya S, Syaiful Awal Bhakti, Pengembangan Pentanahan Eksternal dan Internal pada Laboratorium Konversi Energi. (Dibimbing Oleh Ir. Makmur Saini, M.T dan Akhmad Taufik, S.T., M.T)

Dalam pembuatan ini dibuat penangkal petir dan sistem pentanahan, penangkal petir yang terletak di luar dan di dalam struktur bangunan yang berfungsi menangkap atau menerima sambaran petir dan menyalurkan arus petir ke tanah dengan aman. Pada penelitian ini Penangkal petir tersebut dihubungkan dengan elektroda dengan 5 variasi kedalaman elektroda batang yaitu 3 m, 5 m, 7 m, 9 m, 12 m, dan 5 variasi luas elektroda plat yaitu $1 \times 1 \text{ m}^2$, $0,75 \times 0,75 \text{ m}^2$, $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, $0,35 \times 0,35 \text{ m}^2$, $0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$ dan juga dihubungkan dengan elektroda batang yang telah tersedia sebelumnya. Bagaimana menghasilkan suatu sistem penangkal petir internal dan eksternal untuk melindungi peralatan laboratorium dari bahaya sambaran petir dan tegangan lebih dan bagaimana menghasilkan tahanan pentanahan untuk sistem penangkal petir di atas yang nilainya lebih kecil dari 5 ohm yang sesuai dengan PUIL 2000.

Untuk pentanahan Elektroda batang dengan kedalaman 3 m, 5 m, 7 m, 9 m, 12 m dalam kondisi kering diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 1,55 – 2,03 Ohm. Untuk Kondisi tanah lembab diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 2,21 – 2,60 Ohm. Untuk kondisi tanah basah diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 1,97 – 2,34 Ohm.

Untuk pentanahan Plat, R_{11} dan R_{12} untuk dalam kondisi kering diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 2,08 – 2,45 Ohm. Untuk Kondisi tanah lembab diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 1,88 – 2,18 Ohm. Untuk kondisi tanah basah diperoleh nilai tahanan pentanahan berkisar 1,55 – 2,06.

Pada penangkal petir eksternal ditambahkan 2 elektroda batang dengan kedalaman masing-masing 12 m kemudian dihubung secara paralel dengan elektroda plat dengan tujuan untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan terkecil yang sesuai dengan standar yang ditentukan.

Untuk pengembangannya pada penangkal petir Eksternal dipasangkan Laighthning counter untuk mengetahui sudah beberapa kali penangkal petir tersebut terkena sambaran petir yang dihubungkan secara seri dengan kabel penghantar dari finial ke elektroda pentanahan. Alat ini dipasang pada tiang/menara penangkal petir yang ada di Jurusan Teknik Mesin Laboratorium Konversi Energi. Kemudian untuk penangkal petir internal dipasangkan Arrester Internal Tipe OBV1-C40 yang sudah mengikuti standar internasional IEC 61643-1 dan GB18802.1 dimana kemampuan kerjanya yaitu mampu mengamankan peralatan sampai tegangan 2,2 kV dan arus maksimum sampai 40 kA dengan respon alat $<25 \text{ ns}$.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat Rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini dengan judul “*Pengembangan Pentanahan Eksternal dan Internal pada Laboratorium Konversi Energi*” sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Terwujudnya Proyek Akhir ini, tidak terlepas dari proses yang membutuhkan tenaga dan pikiran serta bantuan dan bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materi sehingga pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua beserta anggota keluarga lainnya yang telah banyak memberi dorongan spiritual, bantuan moril dan materi, serta telah banyak mendoakan penulis sehingga Proyek Akhir ini dapat terselesaikan.
2. DR. Pirman, M.Si (Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang)
3. Muh. Tekad, S.T., M.T (Ketua Jurusan Teknik Mesin)
4. Jamal, S.T., M.T (Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi)
5. Ir. Makmur Saini, M.T selaku Pembimbing I dan Akhmad Taufik, S.T., M.T selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya dalam memberikan petunjuk, bimbingan, arahan serta dorongan moril dan materi.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurung waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar penulis.
7. Para Staf Pegawai dan Teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin yang dengan kesabaran telah banyak membantu penulis.

8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin terutama dari Conera kelas III-A Energi yang kurang lebih 3 tahun lamanya bersama-sama dalam menimba ilmu di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan berupa pemikiran dan materi serta semangat baik secara langsung maupun tidak langsung.
9. Solider-solider mesin pada umumnya dan PHO HMM periode 2009-2010 demisioner khususnya yang kurang lebih 2 tahun lamanya bersama-sama dalam suka dan duka menjalankan roda kepengurusan HMM PNUP yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan berupa tenaga pemikiran dan fisik serta semangat baik langsung maupun tidak langsung.

Namun demikian, penulis menyadari sebagai manusia biasa yang tak pernah luput dari kesalahan serta dalam segala keterbatasannya hingga Proyek Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritikan yang positif demi kesempurnaan Proyek Akhir ini.

Akhirnya penulis memohon kepada Allah SWT semoga apa yang kita dapatkan bernilai ibadah di sisi-Nya. Amin.

Makassar, Oktober 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR ENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TEORI DASAR.....	7
A. Mekanisme Petir.....	7
B. Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir	12
C. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah	14
1. Motode Tiga Titik	14
2. Motode Empat Titik	16

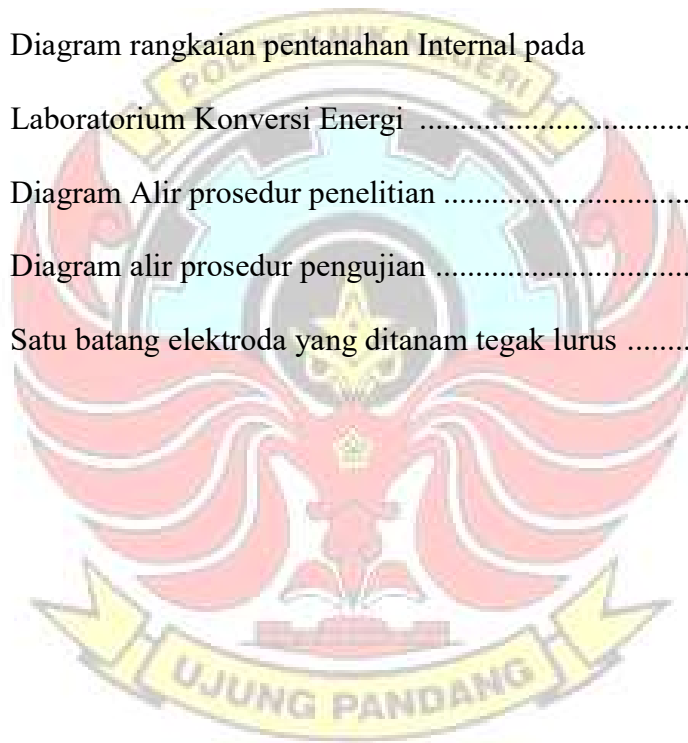
D. Sturuktur Prangkat Sistem Peralatan	20
1. Penangkal Petir Eksternal	21
2. Penangkal Petir Internal	23
E. Sistem Pentanahan	26
1. Elektroda Rod / Batang	27
2. Elektroda plat	29
F. PEB (Potential Equalizing Bar)	30
G. Arrester	31
BAB III METODE PENELITIAN	23
A. Tempat dan Waktu Penelitian	32
B. Stuktur Perangkat	33
1. Penangkal Petir Eksternal	33
2. Penangkal Petir Internal	38
C. Metode Perancangan	44
1. Penangkal Petir Eksternal	44
2. Pentanahan Internal	47
D. Prosedur Penelitian	49
E. Metode Pengujian	50
F. Metode Analisa Data	52
1. Elektroda Rod / Batang	52
2. Elektroda plat	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Hasil	56
1. Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Batang	56
2. Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12}	60
B. Hasil Analisa Data	69
1. Perbandingan Tahanan Pentanahan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis	69
2. Perbandingan Tahanan Pentanahan antara Pengukuran Langsung dengan teoritis secara sistem Grid (Paralel)	79
C. Pembahasan	88
BAB V PENUTUP	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Kemungkinan distribusi muatan awan petir yang umum terjadi	8
Gambar 2	Arus Impuls yang terjadi.....	10
Gambar 3	Tahapan sambaran petir bermuatan negatif dari awan ke tanah .	11
Gambar 4	Proses gelombang elektromagnetik akibat sambaran petir ...	12
Gambar 5	Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode tiga titik.....	15
Gambar 6	Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat titik.....	16
Gambar 7	Penangkal Petir Eksternal pada suatu Bangunan	22
Gambar 8	Penangkal Petir Internal pada suatu Bangunan.....	25
Gambar 9	Jenis-jenis elektroda bentuk batang	26
Gambar 10	Satu jenis batang elektroda yang ditanam tegak lurus	27
Gambar 11	Konduktor Plat	28
Gambar 12	Contoh simulasi arrester.....	31
Gambar 13	Contoh Aplikasi Arrester	31
Gambar 14	Penangkap Petir (Finial)	34
Gambar 15	Lightning Surge Counter (Recorder Petir)	35
Gambar 16	Penampungan Petir (Elektroda Batang)	36
Gambar 17	Diagram Rangkaian Pengembangan Pentanahan Eksternal	37
Gambar 18	Arrester	39

Gambar 19	PEB (Potential Equalizing Bar)	40
Gambar 20	a. Gambar konstruksi panel box.....	41
	b. Desain grafis 3 dimensi panel box	41
Gambar 21	Diagram rangkaian rancangan pentanahan internal pada Laboratorium Konversi Energi	42
Gambar 22	Diagram rangkaian pentanahan Internal pada Laboratorium Konversi Energi	43
Gambar 23	Diagram Alir prosedur penelitian	49
Gambar 24	Diagram alir prosedur pengujian	51
Gambar 25	Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus	52



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi basah, (tanggal 15 Agustus 2010)	56
Tabel 2	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi basah, (tanggal 18 Agustus 2010)	56
Tabel 3	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi basah, (tanggal 19 Agustus 2010)	57
Tabel 4	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi lembab, (tanggal 2 Agustus 2010)	57
Tabel 5	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi lembab, (tanggal 3 Agustus 2010)	58
Tabel 6	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi lembab, (tanggal 4 Agustus 2010)	58
Tabel 7	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi kering, (tanggal 26 Juli 2010)	59
Tabel 8	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi kering, (tanggal 27 Juli 2010)	59
Tabel 9	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda batang Dalam kondisi kering, (tanggal 29 Juli 2010)	60
Tabel 10	Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R ₁₁ dan R ₁₂ Dalam kondisi basah, (tanggal 15 Agustus 2010)	60

Tabel 11 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi basah, (tanggal 18 Agustus 2010)	61
Tabel 12 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi basah, (tanggal 19 Agustus 2010)	61
Tabel 13 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi lembab, (tanggal 2 Agustus 2010)	62
Tabel 14 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi lembab, (tanggal 3 Agustus 2010)	62
Tabel 15 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi lembab, (tanggal 4 Agustus 2010)	63
Tabel 16 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi kering, (tanggal 26 Juli 2010)	63
Tabel 17 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi kering, (tanggal 27 Juli 2010)	64
Tabel 18 Data pengukuran tahanan pentanahan pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} Dalam kondisi kering, (tanggal 29 Juli 2010)	64
Tabel 19 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Basah (Tanggal 15 Agustus 2010)	69
Tabel 20 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi	

Basah (Tanggal 18 Agustus 2010)	69
Tabel 21 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Basah (Tanggal 19 Agustus 2010)	69
Tabel 22 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi lembab (Tanggal 2 Agustus 2010)	70
Tabel 23 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi lembab (Tanggal 3 Agustus 2010)	71
Tabel 24 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi lembab (Tanggal 4 Agustus 2010)	71
Tabel 25 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi kering (Tanggal 26 Juli 2010)	72
Tabel 26 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi kering (Tanggal 27 Juli 2010)	72
Tabel 27 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda batang dalam kondisi	

kering (Tanggal 29 Juli 2010)	73
Tabel 28 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah (Tanggal 15 Agustus 2010)	74
Tabel 29 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah (Tanggal 18 Agustus 2010)	75
Tabel 30 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah (Tanggal 19 Agustus 2010)	75
Tabel 31 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab (Tanggal 2 Agustus 2010)	76
Tabel 32 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab (Tanggal 3 Agustus 2010)	76
Tabel 33 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab (Tanggal 4 Agustus 2010)	77
Tabel 34 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi	

Kering (Tanggal 26 Juli 2010)	77
Tabel 35 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R ₁₁ dan R ₁₂ dalam kondisi Kering (Tanggal 27 Juli 2010)	78
Tabel 36 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung dengan Teoritis pada elektroda Plat, R ₁₁ dan R ₁₂ dalam kondisi Kering (Tanggal 29 Juli 2010)	78
Tabel 37 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 15 Agustus 2010)	79
Tabel 38 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 18 Agustus 2010)	79
Tabel 39 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 19 Agustus 2010)	80
Tabel 40 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Lembab Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 2 Agustus 2010)	80
Tabel 41 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Lembab	

Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 3 Agustus 2010)	81
Tabel 42 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Lembab Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 4 Agustus 2010)	81
Tabel 43 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 26 Juli 2010)	82
Tabel 44 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 27 Juli 2010)	82
Tabel 45 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda batang dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 29 Juli 2010)	83
Tabel 46 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 15 Agustus 2010)	83
Tabel 47 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 18 Agustus 2010)	84
Tabel 48 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi	

Basah Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 19 Agustus 2010)	84
Tabel 49 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 2 Agustus 2010)	85
Tabel 50 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 3 Agustus 2010)	85
Tabel 51 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 4 Agustus 2010)	86
Tabel 52 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 26 Juli 2010)	86
Tabel 53 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 27 Juli 2010)	87
Tabel 54 Hasil analisa data perbandingan antara pengukuran langsung Dengan teoritis pada elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Kering Secara sistem Grid/Paralel (Tanggal 29 Juli 2010)	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia terletak di daerah katulistiwa yang panas dan lembab, mengakibatkan terjadinya hari guruh (IKL) yang sangat tinggi dibanding daerah lainnya (100-200 hari pertahun), bahkan daerah cibinong sempat tercatat pada Guinness Book of Records 1988, dengan jumlah 322 petir per tahun. Kerapatan sambaran petir di Indonesia juga sangat besar yaitu 12/km²/tahun yang berarti pada setiap luas area 1km² berpotensi menerima sambaran petir sebanyak 12 kali setiap tahunnya. Energi yang dihasilkan oleh satu sambaran petir mencapai 55 kWh (<http://www.petir.com>).

Khusus di Kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang petir telah banyak menimbulkan kerusakan yang merugikan di Politeknik. Semakin banyaknya pemakaian alat elektronik dan peralatan tegangan rendah saat ini telah meningkatkan jumlah statistik kerusakan yang timbul akibat sambaran petir, baik langsung maupun tidak langsung.

Petir adalah suatu fenomena alam, yang pembentukannya dari terpisahnya muatan di dalam awan cumulonimbus yang terbentuk akibat adanya pergerakan udara keatas akibat panas dari permukaan laut serta adanya udara yang lembab, umumnya muatan negatif terkumpul di bagian bawah dan ini menyebabkan terinduksinya muatan positif di atas permukaan tanah, sehingga membentuk medan

listrik antara awan dengan tanah. Jika muatan listrik cukup besar dan kuat medan listrik di udara dilampaui maka terjadilah pelepasan muatan berupa petir yang bergerak dengan kecepatan cahaya dengan efek merusak yang sangat dahsyat karena kekuatannya.

Sambaran petir pada tempat yang jauh sekali pun sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, misalnya instalasi jaringan komputer, perangkat telekomunikasi seperti PABX dan modem, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrumen, serta peralatan elektronik sensitif lainnya.

Untuk mengatasi masalah ini, perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya.

Selain kasus sambaran petir yang merupakan suatu fenomena alam, banyak pula terjadi kerusakan pada peralatan elektronik dan peralatan tegangan rendah lainnya yang disebabkan oleh kegagalan trafo distribusi PLN, di mana tegangan yang diterima melebihi batas tegangan yang seharusnya dialirkan.

Semakin banyak dan semakin canggihnya peralatan listrik/elektronik yang digunakan menyebabkan semakin rumitnya sistem proteksi yang diperlukan. Untuk itulah dibutuhkan penanganan yang serius dalam hal perencanaan instalasi kelistrikan, sistem pentanahan dan sistem proteksi guna meminimalisasi kemungkinan-kemungkinan gangguan dan kerusakan seperti telah disebutkan di atas.

Harus disadari bahwa segala biaya yang berkaitan dengan instalasi kelistrikan, sistem pentanahan dan sistem proteksi yang mampu memberikan solusi perlindungan menyeluruh, bernilai relatif kecil jika dibandingkan dengan nilai investasi peralatan elektronik, bangunan, ketersediaan layanan, dan terutama keselamatan manusia.

Bahaya yang dapat ditimbulkan akibat suatu sambaran petir adalah "Bahaya langsung" (*direct effect*) dan "Bahaya tidak langsung" (*indirect effect*). Kedua bahaya ini dapat terjadi di luar gedung/bangunan dan juga di dalam bangunan. Upaya yang dilakukan untuk mencegah terjadinya bahaya tersebut adalah pengadaan sistem "Penangkalan Petir Eksternal" dan "Penangkalan Petir Internal".

Di Laboratorium Sistem Transmisi dan Distribusi Politeknik Negeri Ujung Pandang, selama ini telah dilakukan praktek namun hanyalah semata-mata berupa pentanahan dimana yang diukur adalah pentanahan yang sudah ada. Oleh karena itu dengan adanya rancang bangun ini diharapkan mahasiswa dapat praktek dari berbagai bentuk jenis pentanahan. Di samping itu pentanahan yang dibuat ini untuk melindungi peralatan elektronik, dan peralatan laboratorium Teknik Konversi Energi

B. Rumusan Masalah

Sehubungan dengan penelitian ini, maka rumusan masalah yang kami angkat sebagai berikut :

1. Bagaimana menghasilkan suatu sistem penangkal petir internal dan eksternal untuk melindungi peralatan laboratorium dari bahaya sambaran petir dan tegangan lebih.
2. Bagaimana menghasilkan tahanan pentahanan untuk sistem penangkal petir diatas yang nilainya lebih kecil dari 5 ohm.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dituliskan mengenai tujuan penelitian. Dituliskan sebagai berikut :

1. Menghasilkan suatu sistem penangkal petir internal dan eksternal yang handal untuk melindungi peralatan dari sambaran petir dan tegangan lebih di laboratorium konversi energi.
2. Menghasilkan tahanan pentahanan untuk sistem penangkal petir yang nilai tahanannya lebih kecil dari 5 ohm sesuai dengan standar PUIL 2000.

D. Manfaat Penelitian

Dalam pengembangan alat ini akan dibuat suatu sistem penangkal petir dan sistem pentanahan dengan bentuk rod dengan variasi kedalaman yang berbeda untuk penangkal petir internal dan bentuk plat dengan variasi dimensi luas yang berbeda yang kemudian dilakukan penambahan satu buah bentuk rod untuk penangkal petir eksternal untuk melindungi peralatan-peralatan listrik dari gangguan tegangan lebih atau terjadinya induksi akibat adanya petir.

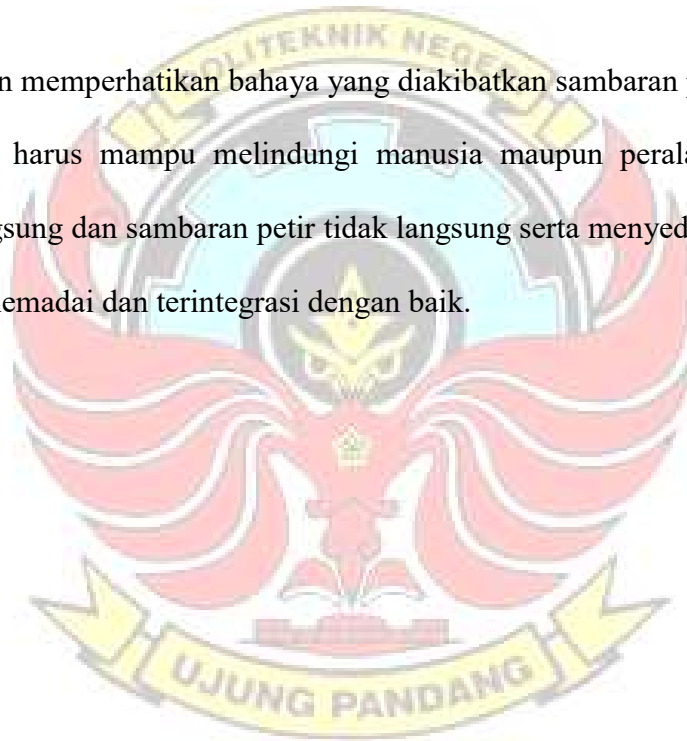
Terobosan-terobosan yang dapat diimplementasikan di industri dalam hal ini adalah sistem penangkal petir dan pentanahan yang handal dengan tingkat pengamanan yang berkualitas sehingga peralatan-peralatan listrik yang digunakan dapat terhindar dari kerusakan. Adapun manfaat dari pengembangan ini yang dapat diperoleh adalah :

1. Meningkatkan keandalan proteksi dari sambaran petir terhadap peralatan-peralatan elektronik yang ada di laboratorium konversi energi.
2. Mencegah kerusakan/kerugian yang ditimbulkan akibat tegangan atau arus berlebih yang terjadi pada kasus sambaran petir atau kontak langsung secara tidak sengaja dengan kabel yang memiliki tegangan yang lebih tinggi.
3. Mengoptimalkan sistem kelistrikan agar tidak terjadi gangguan yang dapat mempengaruhi kualitas tegangan secara keseluruhan, dan menjamin

berfungsinya instalasi listrik dengan baik sesuai dengan maksud kegunaannya.

4. Memperkenalkan kepada mahasiswa Sistem Penangkal Petir Internal dan Eksternal.
5. Sebagai bahan praktikum mahasiswa untuk mata kuliah Distribusi dan Proteksi.

Dengan memperhatikan bahaya yang diakibatkan sambaran petir maka sistem proteksi petir harus mampu melindungi manusia maupun peralatan dari bahaya sambaran langsung dan sambaran petir tidak langsung serta menyediakan pentanahan sistem yang memadai dan terintegrasi dengan baik.



BAB II

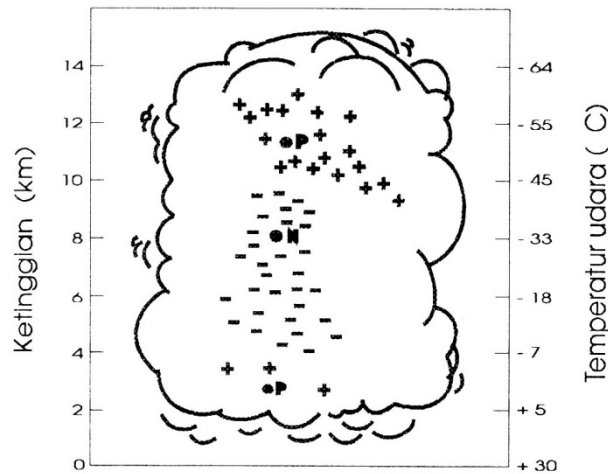
TINJAUAN PUSTAKA

A. Mekanisme Petir

Petir adalah peristiwa pelepasan muatan listrik di udara, yang terjadi diantara awan dengan awan, antara pusat-pusat muatan di dalam awan tersebut, dan antara awan dengan tanah. Diantara tiga kemungkinan di atas, pelepasan muatan itu lebih sering terjadi antara awan dengan awan dan di dalam awan itu sendiri dibanding pelepasan muatan yang terjadi awan dengan tanah. Akan tetapi walaupun lebih jarang, petir awan – tanah ini sudah cukup besar untuk dapat menyebabkan kerusakan pada benda-benda yang ada di permukaan tanah. Secara garis besar dapat dinyatakan bahwa terjadinya petir merupakan hasil dari proses pada atmosfer sehingga muatan terkumpul pada awan. Muatan pada awan ini menginduksikan muatan lain di bumi, dan petir terjadi jika potensial antara bumi dan awan lebih besar dari tegangan tembus kritis udara.

Distribusi muatan awan, pada umumnya dibagian atas ditempati oleh muatan positif, sementara itu dibagian bawah awan yang ditempati oleh muatan negatif. Sambaran akan diawali oleh kanal muatan negatif, menuju daerah yang terinduksi positif. Hal ini menyebabkan sambaran yang terjadi umumnya adalah sambaran muatan negatif dari awan ke tanah. Polaritas awan tidak hanya berpengaruh pada arah sambaran akan tetapi berpengaruh juga pada besar arus

sambarannya, gambar 1. memperlihatkan kemungkinan distribusi muatan awan petir yang umum terjadi.



Gambar 1. Kemungkinan distribusi muatan awan petir yang umum terjadi

Peluhan muatan listrik yang terjadi antara awan dengan tanah terjadi karena adanya kuat medan listrik antara muatan awan dengan muatan induksi dipermukaan tanah yang polaritasnya berlawanan. Semakin besar muatan yang terdapat di awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi. Apabila kuat medan ini melebihi kuat medan tembus udara, maka akan terjadi peluhan muatan dari awan ke tanah. Peristiwa peluhan muatan ini dinamakan kilat atau petir. Setiap sambaran petir diawali dengan muatan awal bercahaya lemah yang disebut dengan luahan perintis (pilot streamer). Luahan perintis ini akan menentukan arah perambatan muatan awan ke udara. Kejadian ini timbul karena tembus listrik lokal yang terjadi di dalam awan, akibat kuat medan listrik yang dibentuk oleh muatan mayoritas negatif

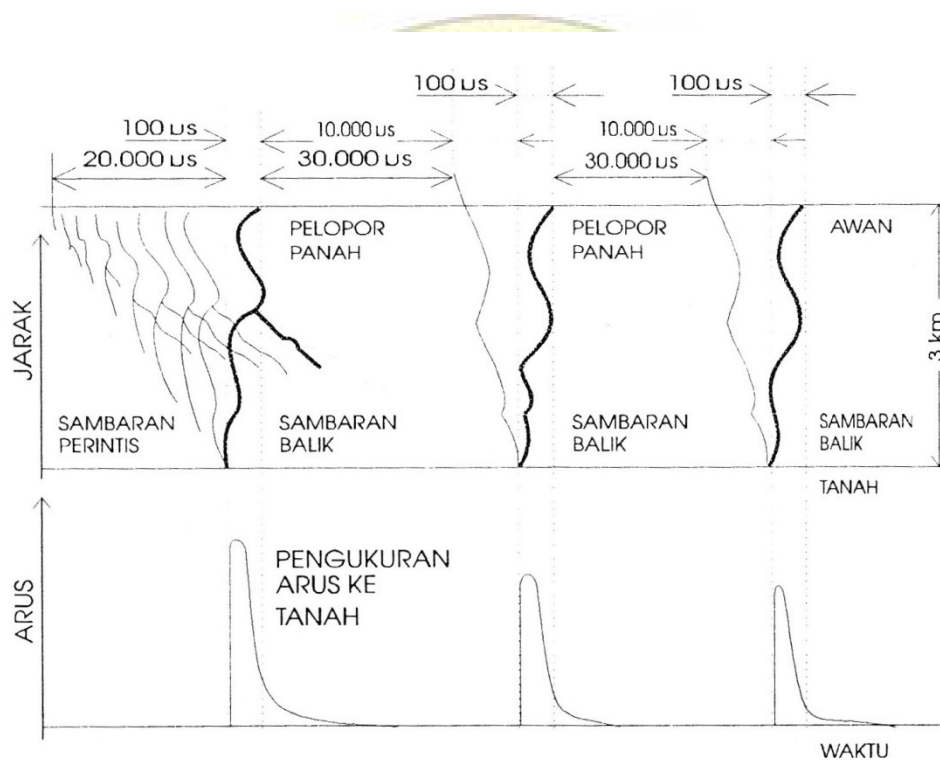
dengan muatan minoritas positif dibagian bawah awan petir. Arus yang berhubungan dengan luahan perintis ini sangat kecil yaitu hanya mencapai beberapa Ampere.

Tembus lokal ini memberi kesempatan kepada muatan untuk bergerak dan bergesekan dengan uap air pada temperatur tinggi, sehingga akan meningkatkan konsentrasi muatan negatif di dalam awan. Akibatnya konsentrasi muatan tersebut menyebabkan tegangan tembus melebihi harga kritisnya sehingga terbentuk lidah muatan negatif. Lidah bermuatan negatif ini adalah merupakan gejala peluahan muatan sebagian yang dikenal dengan nama sambaran perintis (*stepped leader*). Langkah dari sambaran perintis selalu diikuti oleh titik-titik cahaya yang bergerak turun ke bumi dan melompat-lompat lurus, tetapi arah dari setiap langkah lompatannya berubah-ubah, sehingga secara keseluruhan jalannya tidak lurus dan patah-patah.

Selama pusat muatan di awan dapat memberikan muatan untuk mempertahankan gradien tegangan pada ujung sambaran petir dan melebihi kekuatan tembus udara, maka sambaran petir akan terus bergerak turun. Sebaliknya bila gradien tegangan di ujung sambaran petir lebih kecil di kuat medan tembus udara, maka tidak terjadi lidah berikutnya dan sambaran petir berhenti sampai disini saja dan waktu dari sambaran petir sampai kira-kira 20 milli detik.

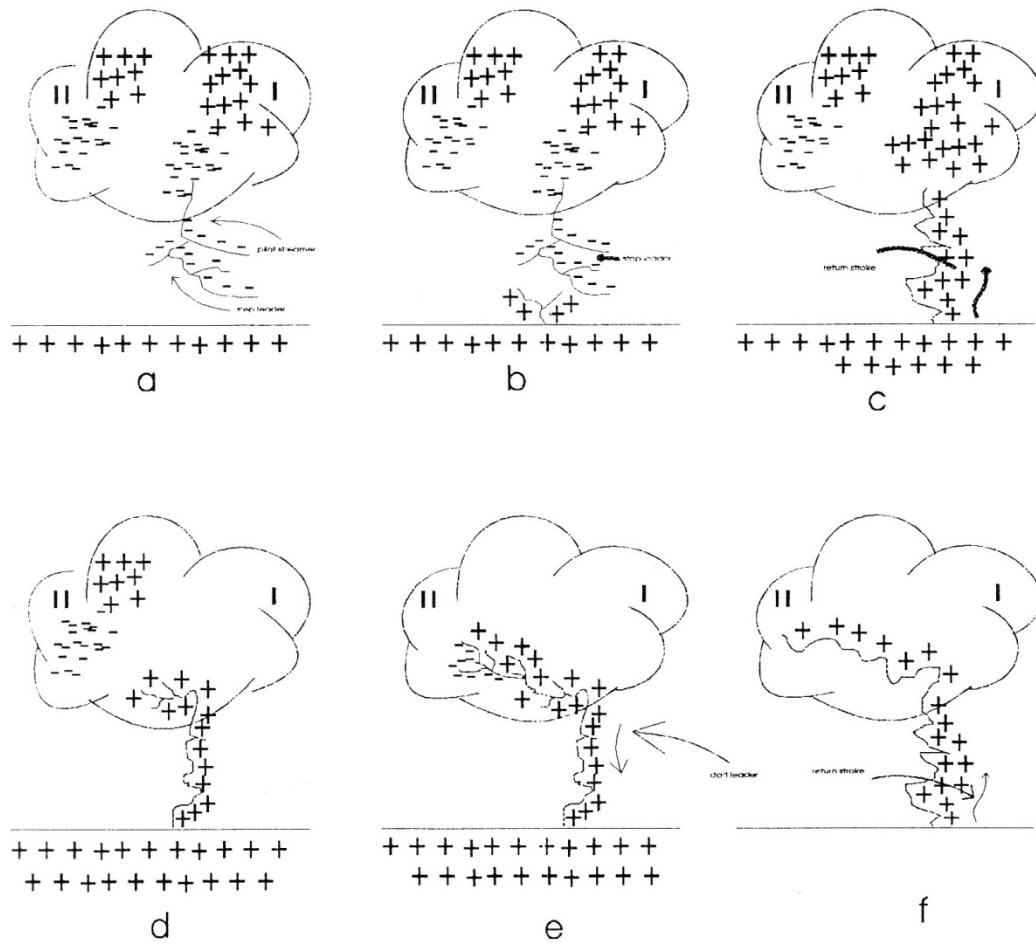
Bila petir ini telah dekat dengan bumi, maka akan terbentuk kanal muatan positif dari bumi yang naik menyongsong turunnya sambaran petir. Pertemuan kedua kanal ini akan menyebabkan ujung sambaran petir terhubung singkat ke tanah, maka

seketika gelombang muatan positif di bumi bergerak naik menuju ke pusat awan, bergerak lebih cepat melalui kanal yang telah terionisasi. Peristiwa ini dikenal dengan sambaran balik (*return stroke*). Sambaran balik ini merupakan arus utama di suatu peluahan muatan karena besarnya antara 20 – 100 kA yang bergerak dengan kecepatan $3 \cdot 10^6$ sampai $3 \cdot 10^7$ m/s dengan kata lain terjadi sambaran petir pertama. Gambar 2. memperlihatkan arus impuls yang dihasilkan.



Gambar 2. Arus Impuls yang terjadi

Apabila arus sambaran balik telah berhenti, dan ternyata dibagian lain dari awan masih tersedia cukup muatan untuk mengawali sambaran berikutnya, maka akan terjadi sambaran perintis kedua dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Pada gambar 3 diperlihatkan tahapan sambaran petir bermuatan negatif dari awan ke tanah kedua.



Gambar 3. Tahapan sambaran petir bermuatan negatif dari awan ke tanah

Dimana :

Gambar 3a Sambaran petir bergerak turun menuju bumi dengan arah berubah.

Gambar 3b Kanal muatan positif menyambut turunnya sambaran petir.

Gambar 3c Gelombang muatan positif dari bumi menuju pusat muatan diawan.

Gambar 3d Setelah pelepasan muatan pertama, kanal muatan positif bergerak menuju pusat muatan berikutnya.

Gambar 3e Pelepasan muatan antar pusat muatan di awan, diikuti oleh pelopor kedua bergerak menuju bumi.

Gambar 3f Terjadi sambaran balik kedua.

B. Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir

Surja petir dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tegangan rendah dan peralatan elektrik tegangan rendah dengan beberapa mekanisme. Mekanisme pertama melalui sambaran langsung petir pada jaringan tegangan rendah. Hal ini jarang terjadi karena biasanya terlindung oleh pohon atau bangunan di sekitarnya. Mekanisme kedua adalah sambaran petir yang tidak langsung mengenai jaringan tegangan rendah tapi petir menyambar pohon ataupun tanah di sekitar jaringan tegangan rendah. Sambaran tidak langsung ini menyebabkan kopling elektromagnetik antara jaringan dan sambaran petir sehingga mengakibatkan tegangan induksi pada jaringan.



Gambar 4. Proses gelombang elektromagnetik akibat sambaran petir

Pada jaringan tegangan rendah, penyebab terbesar tegangan lebih adalah sambaran tidak langsung petir. Hal ini disebabkan pada jaringan tegangan rendah memiliki tingkat dasar isolasi (*basic insulation level*) yang relatif rendah. Mekanisme sambaran tidak langsung ini juga dapat menimbulkan kerusakan pada *arrester*, peralatan elektronik tegangan rendah, dan gangguan operasi sistem tenaga listrik. Mekanisme sambaran langsung petir pada jaringan jarang terjadi, tapi dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada jaringan dan instalasi peralatan listrik.

Induksi Petir pada saluran Jaringan Tegangan Rendah. Sambaran tidak langsung, terjadi karena induksi elektromagnetik akibat sambaran petir di dekat saluran udara atau induksi elektrostatik akibat awan bermuatan di atas saluran udara. Sambaran tidak langsung selanjutnya adalah sambaran petir ke tanah di dekat saluran udara. Sambaran induksi merupakan fungsi jarak dimana petir tersebut menyambar di dekat saluran. Tegangan lebih induksi tidak begitu berpengaruh pada saluran transmisi tetapi menyebabkan gangguan pada saluran distribusi, karena menurut penelitian tegangan yang diinduksikan sedikit lebih kecil dari tegangan transmisi sehingga efeknya akan terasa pada level saluran tegangan yang lebih rendah.

C. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara :

1. Metode tiga titik (*three-point methode*).
2. Metode empat titik (*four electrode methode*)

1. Metode Tiga Titik

Metode tiga titik (*three-point methode*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar 5.

Bila tahanan diantara tiap – tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_{1-2} = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} + R_{22} - 2R_{12}$$

$$R_{1-3} = \frac{V_{1-3}}{I} = R_{11} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$R_{2-3} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{23}$$

$$\frac{V_{1-2} + V_{1-3} - V_{2-3}}{I} = 2R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} + 2R_{23}$$

Tetapi,

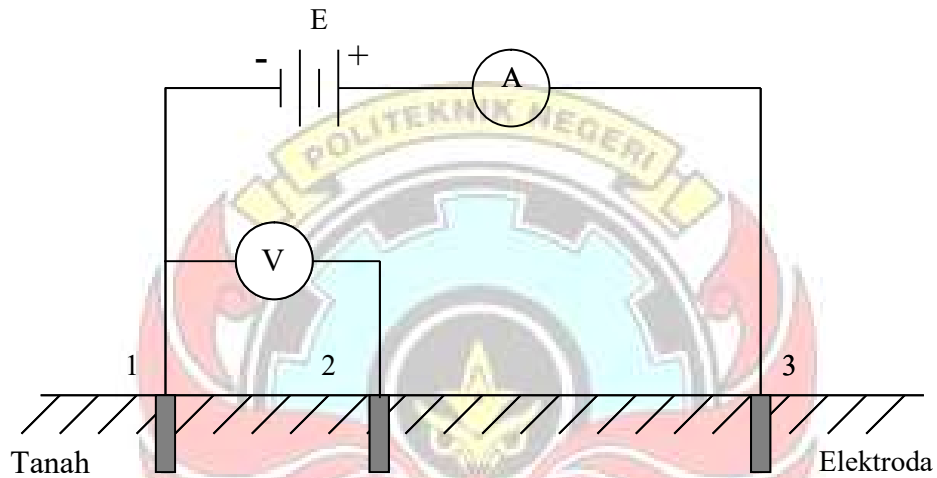
$$V_{1-3} = V_{1-2} + V_{2-3}$$

Jadi :

$$R = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} + R_{23}$$

Akhirnya :

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} - R_{23}$$



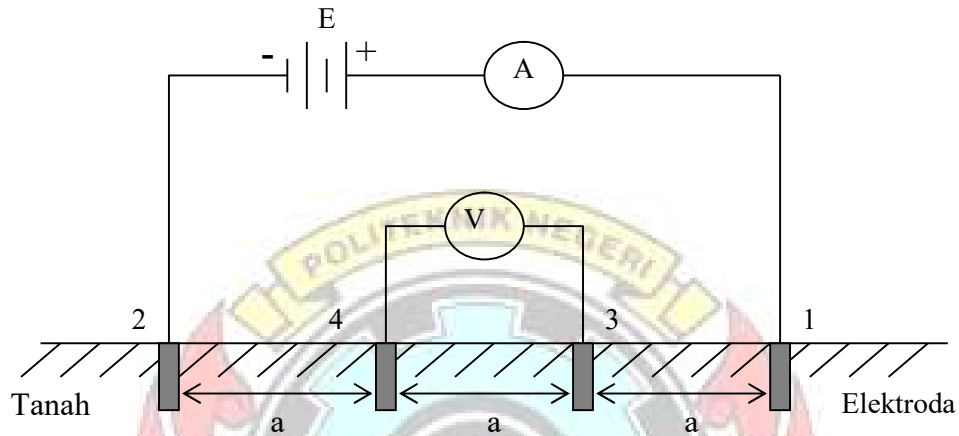
Gambar 5. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode tiga titik.

Tahanan batang pentanahan dari elektroda 1 dapat dibuat :

$$R_{12} + R_{13} - R_{23} = 0$$

2. Metode Empat Titik

Metode pengukuran yang dipergunakan adalah metode empat titik seperti gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat titik.

Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\rho r^2$, dan rapat arus adalah :

$$J = \frac{I}{2.\pi.r^2}$$

dimana :

$J =$ kerapatan arus [A/m^2]

$r =$ jari-jari [m]

$I =$ arus yang mengalir dalam tanah [A]

jika ρ adalah tahanan jenis tanah, maka medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak r adalah :

$$E_{(r)} = J \rho \quad [V/m]$$

Sehingga menjadi

$$E_{(r)} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \rho \quad [V/m]$$

Potensial pada jarak r dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak r ke titik tak berhingga :

$$V = \int_r^{\infty} E(r) \cdot dr$$

$$V_3 = \int_a^{2a} \frac{I \rho}{2 \pi r^2} dr$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_a^{2a} \frac{1}{r^2} dr = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_a^{2a} r^{-2} dr$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-r^{-1} \right) \Big|_a^{2a}$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_a^{2a}$$

$$V_3 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)$$

$$V_3 = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(-\frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right)$$

$$V_4 = \int_{2a}^a \frac{I \rho}{2 \pi r^2} dr$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_{2a}^a \frac{1}{r^2} dr = \frac{I \rho}{2 \pi} \int_{2a}^a r^{-2} dr$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-r^{-1} \right) \Big|_{2a}^a$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_{2a}^a$$

$$V_4 = \frac{I \rho}{2 \pi} \left(-\frac{1}{a} + \frac{1}{2a} \right)$$

$$V_4 = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(-\frac{1}{a} + \frac{1}{2a} \right) = \rho \frac{I}{2 \pi} \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right)$$

Karena $V_{34} = V_3 - V_4$, maka

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right)$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right]$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{2}{a} - \frac{1}{a} \right)$$

$$V_{34} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{a} \right)$$

$$V_{34} = I \frac{\rho}{2\pi a}$$

Dan,

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I} = \frac{\rho}{2\pi a}$$

Sehingga :

$$\rho = R_{34} (2\pi a)$$

dimana :

a = jarak antara elektroda [m]

R_{34} = tahanan antara elektroda 3 dan 4 [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [Ω -m]

Dengan alat ukur yang dibuat khusus untuk ini yang terdiri-dari generator yang diputar dengan tangan dan *ohm-meter*, dapat dibaca langsung tahanan antara elektroda arus dan elektroda tegangan.

D. Struktur Perangkat Sistem Peralatan

Secara struktural perangkat sistem peralatan ini akan diuraikan sebagai berikut. Dengan berkembangnya teknologi yang sangat pesat hingga kini, maka pelepasan muatan petir dapat merusak jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif. Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi seperti PABX, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka perlindungan yang sesuai harus diberikan dan dipasang pada peralatan atau instalasi terhadap bahaya sambaran petir langsung maupun induksinya atau biasa dinamakan sebagai sambaran petir secara tidak langsung. Salah satu penyebab semakin tingginya kerusakan peralatan elektronika karena induksi sambaran petir tersebut adalah karena sangat sedikitnya informasi mengenai petir dan masalah yang dapat ditimbulkannya.

- **Kerusakan Akibat Sambaran Langsung**

Kerusakan ini biasanya langsung mudah diketahui sebabnya, karena jelas petir menyambar sebuah gedung dan sekaligus peralatan listrik/elektronik yang ada di dalamnya ikut rusak (kemungkinan mengakibatkan kebakaran gedung, PABX, kontrol AC, komputer, alat pemancar, dan lain-lain. hancur total).

- **Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung**

Kerusakan ini sulit diidentifikasi dengan jelas karena petir yang menyambar pada satu titik lokasi sehingga hantaran induksi melalui aliran listrik/kabel distribusi PLN, telekomunikasi, pipa PDAM dan peralatan besi lainnya dapat mencapai 1 km dari tempat petir tadi terjadi. Sehingga tanpa disadari dengan tiba-tiba peralatan komputer, pemancar TV, radio, PABX terbakar tanpa sebab yang jelas.

Contoh : Petir menyambar tiang PLN lokasi A sehingga tegangan/arusnya mencapai dan merusak peralatan rumah sakit dan peralatan telekomunikasi di lokasi B karena jarak tiang PLN (A) ke rumah sakit dan peralatan telekomunikasi tersebut (B) adalah kurang atau sama dengan 1 km .

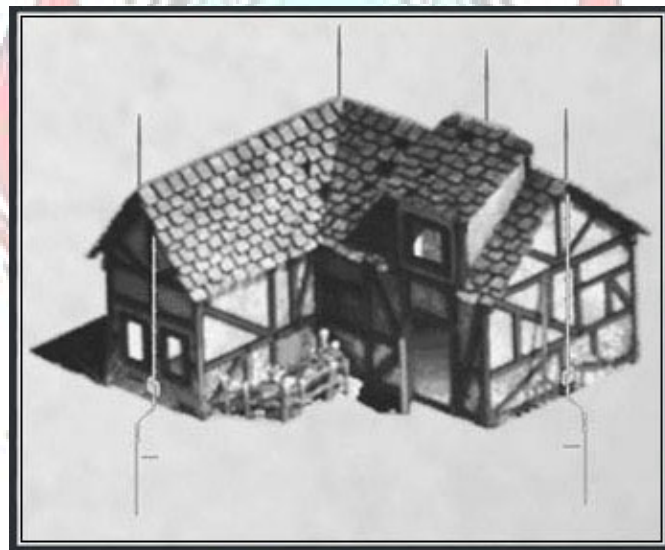
Untuk mengatasi permasalahan diatas maka dipasanglah Penangkal petir Eksternal dan Internal.

1. Penangkal Petir Eksternal

Penangkalan Petir Eksternal ditujukan untuk menghindari terjadinya bahaya langsung maupun tidak langsung akibat suatu sambaran petir secara langsung, pada

instalansi-instalansi, peralatan-peralatan yang terpasang di luar gedung\bangunan, di menara dan bagian-bagian luar bangunan. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada di luar gedung. Proteksi Eksternal pada dasarnya terdiri dari :

- Finial penangkap petir.
- Lightning Surge Counter
- Konduktor penyalur arus petir.
- Pentanahan.



Gambar 7. Penangkal Petir Eksternal pada suatu Bangunan

2. Penangkal Petir Internal

Petir selain bisa menyambar lewat gedung sudah dilengkapi penyalur petir jenis elektrostatik atau radius, petir bisa juga menyambar lewat jaringan listrik PLN yang terbuka, umumnya jaringan listrik terbuka masih banyak digunakan negara tertentu seperti di Indonesia. Arus petir yang merusak perangkat panel (saklar tukar otomatis) bukan menyambar pada bangunan yang sudah dipasang penangkal petir, melainkan mengenai jaringan listrik PLN dan arus petir ini masuk ke bangunan mengikuti kabel listrik dan merusak panel listrik tersebut.

Jadi biasanya sambaran petir mengenai jauh dari bangunan yang terlindungi oleh penangkal petir elektrostatik maupun radius yang terpasang di gedung tersebut. Hal ini sudah biasa terjadi karena kabel distribusi PLN memakai kabel distribusi terbuka/telanjang dan letaknya tinggi, seperti yang terpasang di jaringan listrik tegangan tinggi di kota-kota di Indonesia.

Untuk penanganan agar tidak terulang kembali maka perlu sekali jaringan listrik yang ada di dalam gedung dilengkapi oleh perangkat arrester (penahan surja) (pelepas tegangan lebih).

Implementasi konsepsi penangkal petir internal pada dasarnya adalah upaya menghindari terjadinya beda potensial pada semua titik di instalasi atau peralatan yang diproteksi di dalam bangunan.

Proteksi Internal pada dasarnya terdiri dari :

- MCB 3 Phasa.
- PEB (Peralatan Penyama Potensial).
- Lightning Arrester.

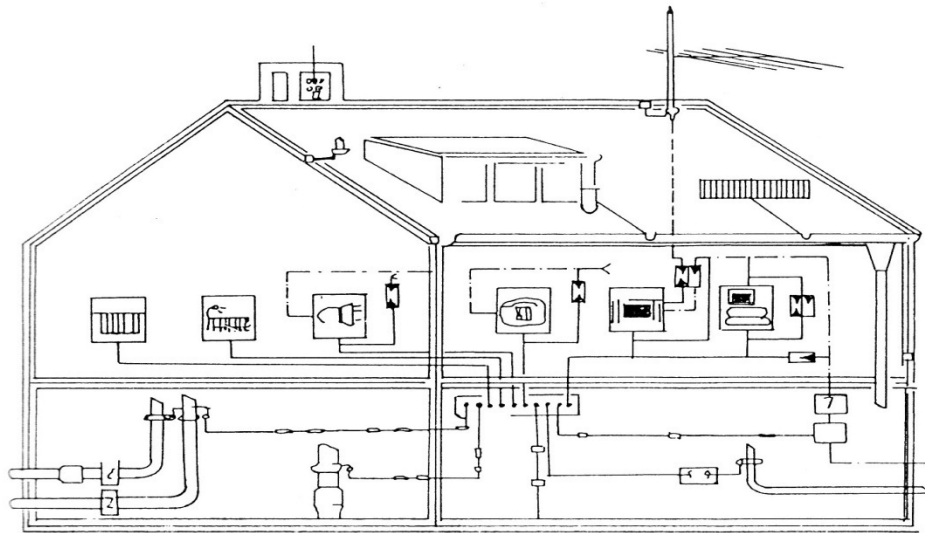
Biaya investasi yang diperlukan untuk pengadaan penangkal petir internal adalah sangat besar karena berbagai mekanisme dapat menyebabkan terjadinya beda potensial di dalam peralatan yang diproteksi yang dapat berupa propagasi tegangan lebih melalui saluran telepon, antena, supply daya listrik, pentanahan dan berbagai induksi elektromagnetik. Upaya meminimalisasi biaya dapat dilakukan dengan langkah pendefinisian Zoning Area proteksi dan terutama dengan upaya mengurangi menjadi sekecil mungkin semua arus atau tegangan impuls petir yang menjalar ke dalam bangunan dan instalasi. Pengalaman menunjukkan bahwa dengan upaya maksimal dalam penyempurnaan penangkal petir eksternal dan penerapan perisai akan dapat memperkecil biaya penangkal petir internal. Khusus pengadaan sistem proteksi petir untuk instalasi eksplosif, mudah meledak, terdapat tiga utama yang harus diperhatikan sebagai berikut :

- Aspek pengaruh luar dalam hal ini adalah aspek kejadian sambaran petir. Upaya pengamanan yang harus dilakukan adalah mencegah terjadinya percikan busur listrik, di dekat atap bangunan, di dalam bangunan yang dilindungi dan di sistem pentanahannya. Cara yang dapat diterapkan adalah

pembenaran susunan finial, penyaluran arus petir dan pentanahan dan penghubungannya serta mencegah terjadinya mekanisme "*Faraday Hole*".

- Aspek operasional, yang dalam hal ini menyangkut masalah mixture bahan-bahan gas yang sangat menentukan temperatur, tegangan dan energi penyaluannya.
- Aspek Kemampuan Internal, yang dalam hal ini upaya meningkatkan kemampuan internal instalasi, misalnya tanki, yang memiliki ketahanan lebih tinggi dan mampu mengeliminasi akibat yang terjadi jika ternyata ada kegagalan dari upaya dua aspek di atas.

Penangkal Petir Internal ditujukan menghindari terjadinya bahaya langsung maupun tidak langsung akibat suatu sambaran petir di suatu tempat, pada peralatan-peralatan elektronik, telekomunikasi, komputer dan instalasi lain yang berada di dalam bangunan/gedung. Penangkal petir internal merupakan upaya penyamanan potensial sehingga dihindarinya terjadi beda potensial atau tegangan pada peralatan yang dapat rusak. Upaya ini meliputi pengadaan PEB (*Potential Equalizing Bonding*) dengan pentanahan satu titik (*One Point Earthing*) dengan Zonifikasi daerah perlindungan, pengadaan Arrester kaskade terintegrasi, perisian, filtering dan routing penempatan kabel.



Gambar 8. Penangkal petir Internal pada suatu bangunan Laboratorium

E. Sistem Pentanahan

Pada dasarnya sistem pentanahan adalah peralatan yang terdiri dari elektroda pentanahan yang dibutuhkan bersama hantaran pentanahan. Elektroda pentanahan dapat berupa batang yang ditanam tegak lurus atau ditanam sejajar permukaan tanah, dan berupa lempeng atau plat, yang kesemuanya ini dirancang untuk memperkecil tahanan pentanahan. Untuk hal tersebut terlebih dahulu harus ditentukan bahan maupun sifat elektrodanya, yang terutama harus mempunyai konduktivitas yang tinggi serta resistivitas yang rendah, agar arus yang mengalir cepat ke dalam tanah. Perlu diperhatikan bahwa elektroda harus tahan terhadap korosi.

1. Elektroda Rod / Batang

Sistem elektroda rod/batang adalah suatu sistem pentanahan yang menggunakan batang-batang konduktor yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah. Beberapa batang elektroda yang ditanam bersama-sama ke dalam tanah dan kemudian dihubungkan dengan konduktor. Banyaknya elektroda yang ditanam disesuaikan dengan kebutuhan sistem pentanahan itu sendiri.

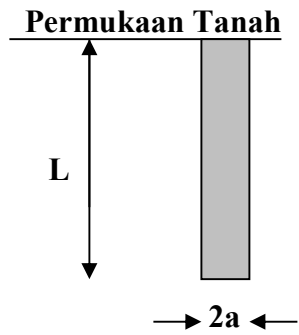
Untuk batang konduktor yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah, maka harus diperhitungkan pengaruh bayang-bayang konduktor tersebut, sehingga tahanan elektroda serta harga sama dengan sebuah konduktor yang ditanam seluruhnya dalam tanah. Tetapi arus yang melalui konduktor tersebut adalah setengah dari harga yang masuk pada konduktor yang ditanam seluruhnya. Jadi tahanan pentanahan untuk satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah seperti pada Gambar 9.



(a). Elektroda batang tunggal

(b). Elektroda batang dalam group

Gambar 9. Jenis-jenis elektroda bentuk batang



Gambar 10. Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus

Rumus yang biasa digunakan untuk pasak tunggal dikembangkan oleh Professor **H.B. Dwight** dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

dimana :

ρ = tahanan rata-rata tanah (ohm-cm)

L = panjang pasak tanah (cm)

a = jari-jari penampang pasak (cm)

R = tahanan pasak tanah (ohm)

2. Elektroda Plat

Pentanahan elektroda plat adalah suatu cara dengan mempergunakan elektroda berbentuk plat dengan ukuran minimum luas 0,5 m² dan tebal 2 mm, untuk tembaga. Kedalaman penanaman minimum 30 cm sampai dengan 2 m ke bawah permukaan tanah. Tahanan pentanahan untuk sistem plat adalah :

$$R = \frac{\rho}{4,2} \left(\frac{1}{WL} + \frac{0,16}{S} \right) \text{ ohm}$$

Di mana :

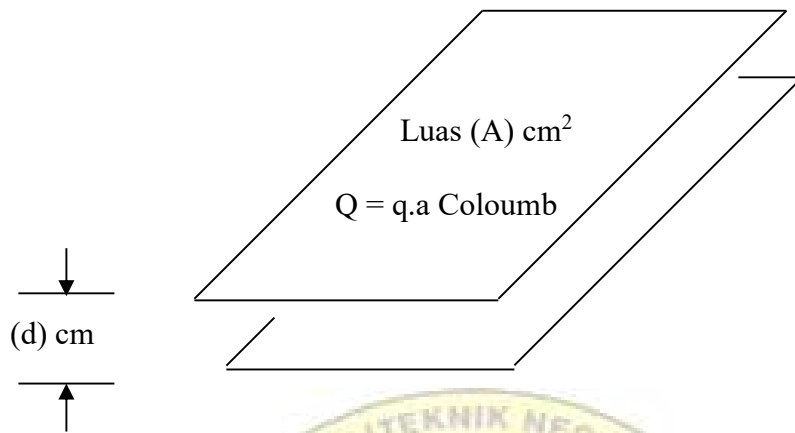
R = Tahanan pentanahan (ohm)

W = Lebar plat (cm)

L = Panjang plat (cm)

S = Kedalaman Penanaman (m)

Dasar perhitungan kapasitansi dari susunan plat-plat elektroda pentanahan dengan anggapan bahwa distribusi arus atau muatan seragam sepanjang batang elektroda. Misalkan dua plat konduktor dengan masing-masing q/cm², jarak antar plat adalah d (cm) seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Konduktor plat

F. PEB (Potential Equalizing Bar)

Penyamaan potensial listrik (PEB) adalah suatu usaha yang sangat penting untuk mengurangi bahaya kebakaran atau ledakan dalam lokasi yang diproteksi. Penyamaan potensial listrik ini dapat dilakukan antara lain dengan konduktor bonding pada struktur yang terbuat dari logam, instalasi dari bahan logam, bagian-bagian konduktif yang lain dan instalasi elektrik dan telekomunikasi dalam lokasi yang diproteksi. Suatu sistem penangkal petir adalah integrasi dari penangkal eksternal dengan penangkal petir internal. Suatu sistem penangkal petir internal terdiri dari sistem pentanahan internal (internal grounding) yang menggabungkan PEB (Potential Equalizing Bar) yang merupakan referensi pentanahan dan sistem arrester tegangan dan arrester arus.

Konsep dasar sistem penangkal petir internal adalah upaya pengamanan potensial di semua titik pada saat terjadi sambaran petir. Titik-titik yang disamakan potensialnya adalah titik-titik pentanahan, saluran daya listrik (electrical power supply), saluran telekomunikasi, instrumentasi, kontrol dan lainnya.

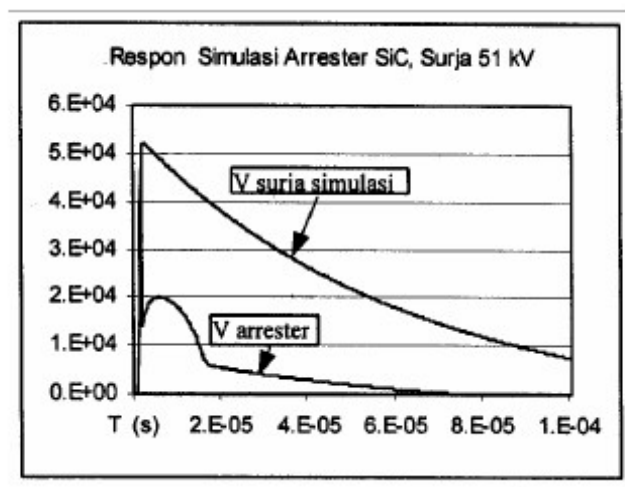
Penyamaan potensial di titik pentanahan adalah dengan pengadaan internal grounding yang menghubungkan PEB-PEB yang ada, dengan penerapan “One Point Earthing” atau “Multi Point Earthing” seperti disarankan dalam IEC-Giude Line. Untuk kemudahan operasi dan pengembangan di sini disarankan konsep “One Point Earthing” dengan satu saluran penghubungan internal grounding ke eksternal grounding.

Penyamaan potensial pada saluran daya listrik digunakan peralatan proteksi tegangan lebih (arrester tegangan) dan arrester arus, dan penyamaan potensial pada saluran komunikasi, instrumentasi dan kontrol digunakan arrester yang sesuai.

G. Arrester

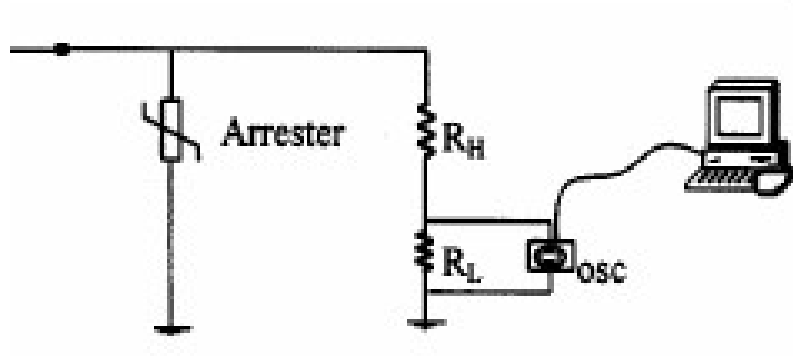
Gangguan surja petir merupakan salah satu gangguan alamiah yang akan dialami sistem tenaga listrik, dan salah satu metode untuk mengatasinya yaitu dengan menggunakan peralatan proteksi *arrester*. *Arrester* ini bekerja dengan mengimplementasikan resistor nonlinier yang mempunyai nilai yang besar untuk peralatan listrik dari tegangan yang berlebihan dari petir. Pada saat *sparkover* maka

tegangan akan turun dan tegangan *residu* arus *discharge*. Besarnya nilai *sparkover* dan tegangan *residu* arusnya tergantung dari karakteristik *arrester* yang digunakan. Seperti dalam gambar dibawah ini, pada saat tegangan surjanya 51 kV maka dalam waktu sepersekian detik nilai tegangannya akan turun sesuai dengan tegangan *residu* dari *arrester*.



Gambar 12. Contoh simulasi Arrester

Arrester ini sangat bermanfaat jika diaplikasikan pada peralatan-peralatan elektronika di suatu bangunan, mengingat efek yang ditimbulkan petir yang sangat besar terhadap peralatan elektronika.



Gambar 13. Contoh Appilasi Arrester



BAB III

METODE PENELITIAN

Peralatan Rancang Bangun Penangkal Petir dan Pentanahan Elektroda Rod dan Plat yang akan dirancang dan merupakan pengembangan dari Pentanahan Eksternal berfungsi menghasilkan suatu sistem penangkal petir dan pentanahan dengan berbagai bentuk elektroda yang kemudian dirancang menjadi sistem pentanahan internal. Kualitas sistem pentanahan eksternal sangat menentukan hasil rancangan sistem penangkal petir internal, semakin tinggi harga tahanan pentanahan akan semakin tinggi pula tegangan yang terdapat pada penyama potensial (*Potential Equalizing Bar*), sehingga upaya proteksi internalnya akan lebih berat atau proses pentanahan lambat yang dikarenakan adanya nilai tahanan yang besar pada kawat penyaluran ke tanah. Oleh karena itu, pada tahap pengembangan ini akan diusahakan memaksimalkan kerja dari alat penangkal petir tersebut.

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Tugas akhir ini dikerjakan di Laboratorium Teknik Konversi Energi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu penelitian dimulai dari minggu keempat bulan juni sampai dengan minggu empat bulan Agustus 2010.

B. Struktur Perangkat

Secara struktural perangkat sistem peralatan ini akan diuraikan sebagai berikut.

1. Penangkal Petir Eksternal

Penangkalan Petir Eksternal ditujukan untuk menghindari terjadinya bahaya langsung maupun tidak langsung akibat suatu sambaran petir, pada instalansi-instalansi, peralatan-peralatan yang terpasang di luar gedung\bangunan, dimenara dan bagian-bagian luar bangunan. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada di luar gedung. Proteksi Eksternal pada dasarnya terdiri dari:

- Finial penangkap petir.
- Lightning Surge Counter (Recorder Petir).
- Penampung Petir (Pentanahan).

a. Penangkap Petir (Finial)

Fungsi finial penangkalan petir adalah "menangkap petir" atau merupakan "obyek sambaran petir" sehingga petir tidak menyambar atau mengenai tempat lain. Finial penangkal petir berada di bagian teratas dari penangkal petir, dari logam dan bentuk tegak maupun mendatar. Finial-finial petir ditempatkan dengan susunan tertentu sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin semua petir dapat ditangkanya tanpa mengenai bagian-bagian lain yang dilindunginya, dalam penelitian ini akan dirancang penangkap petir

(Finial) yang dapat dengan cepat menyambut luncuran arus petir dalam hal ini mampu untuk lebih cepat dari sekelilingnya. Untuk memasang finial ini akan dibuat menara yang lebih tinggi dari gedung laboratorium Teknik Konversi Energi.



Gambar 14. Penangkap Petir (Finial)

b. Lightning Surge Counter (Recorder Petir)

Lightning Surge Counter secara khusus dirancang untuk memantau struktur dan peralatan outdoor ketika terjadi sambaran petir. Lightning Surge Counter menyimpan hitungan berapa kali struktur atau peralatan telah mengalami sambaran petir langsung.

Lightning Surge Counter ini dapat digunakan untuk seluruh jenis penangkal petir dengan seluruh tipe kabel (Coaxial 2 x 35 mm, NYY/NYA 1 x 70 mm). Cara kerja dan desain dari sirkuit Lightning Surge Counter memastikan

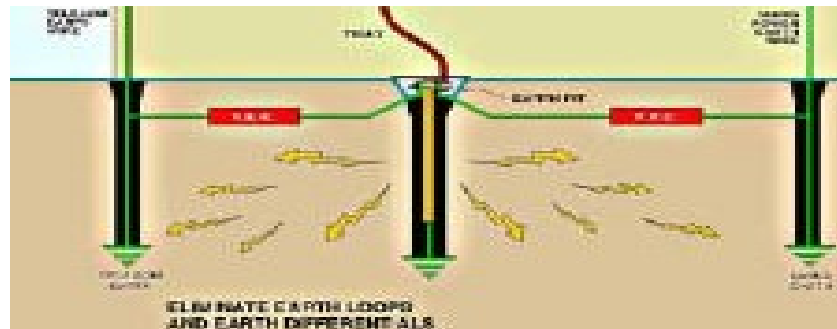
bahwa penghitungan relay tidak bekerja untuk tingkat rendah impuls saat ini dan catatan hanya impuls petir aktual langsung ke system yang dapat dihitung.



Gambar 15. Lightning Surge Counter (Recorder Petir)

c. Penampung Petir (Pentanahan)

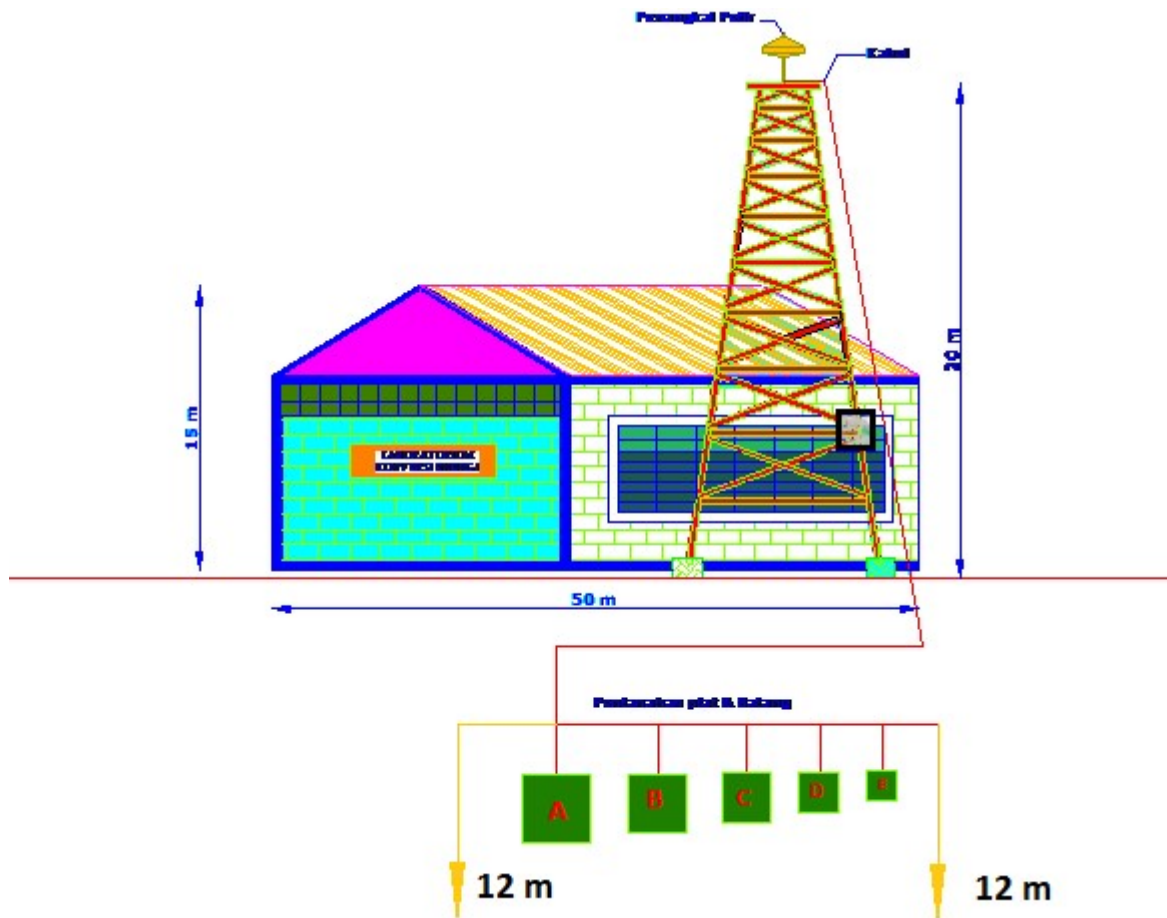
Manfaat perlindungan dari suatu instalasi petir sangat tergantung pada perencanaan dan penentuan ukuran-ukuran yang tepat dari sistem pentanahan terutama pada elektrodanya, sistem pentanahan harus dirancang dan diinstalasikan sedemikian rupa sehingga tahanan instalasi penangkal petir serendah mungkin. Pada penelitian ini akan dirancang model pentanahan dari beberapa jenis elektroda, namun yang digunakan pada pentanahan eksternal hanyalah sistem pentanahan model plat.



Gambar 16. Penampung Petir (Elektroda batang)

d. Elektroda Plat

Dalam perancangan elektroda plat, digunakan elektroda berbentuk plat dengan ukuran tebal plat 10 mm dengan 5 variasi ukuran plat masing adalah 1 x 1 meter, 0.75 x 0.75 meter, 0.5x0,5 meter , 0.35 x 0.35 meter dan 0.25 x 0.25 meter terbuat dari tembaga dengan masing-masing kedalaman 2 meter di bawah permukaan tanah. Selain menggunakan 5 buah elektroda plat pada pentanahan aksternal ini juga menggunakan 2 buah elektroda batang/rod yang sudah ada dengan kedalaman masing-masing 12 meter, yang semuanya ini dihubungkan secara paralel. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tahanan pentanahan dibawah 5 ohm sesuai dengan PUIL 2000 dan IEC (International Elektronical Commision).



Gambar 17. Diagram Rangkaian Pengembangan Pentanahan Eksternal

2. Penangkal Petir Internal

Implementasi konsepsi penangkal petir internal pada dasarnya adalah upaya menghindari terjadinya beda potensial pada semua titik di instalasi atau peralatan yang diproteksi di dalam bangunan.

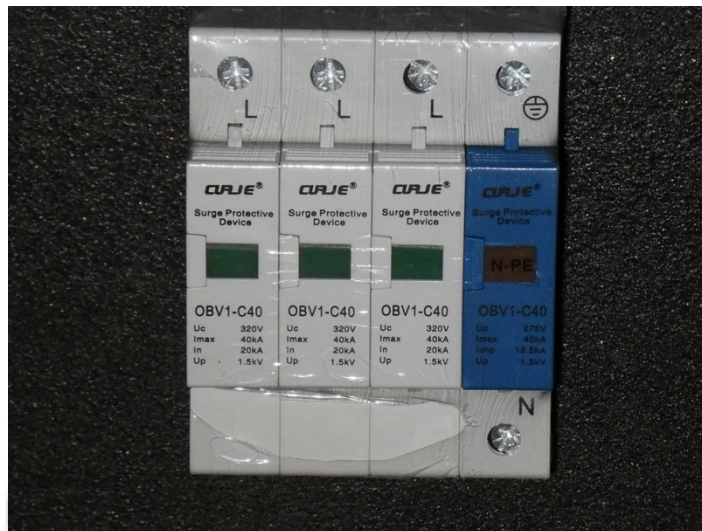
Proteksi Internal pada dasarnya terdiri dari :

- Lightning Arrester.
- PEB (Peralatan Penyama Potensial).
- Pentanahan.

1) *Arrester*

Sistem proteksi internal (Internal Protection) adalah system proteksi terhadap sambaran petir secara tidak langsung, misalnya imbas melalui grounding listrik, menyambar jaringan listrik sehingga jaringan listrik bertegangan petir. Metode pengamanan terhadap sambaran tidak langsung dengan prinsip memotong arus dan menyamakan tegangan dengan memasang arrester. Arester yang dipasang digunakan untuk membatasi tegangan lebih, dan pada prinsipnya terdiri atas rangkaian seri. Dengan pemasangan arrester maka teganga lebih impuls akibat petir secara aman akan disalurkan ke bumi. Pada sistem penangkal petir internal Arrester ini sangat bermanfaat jika diaplikasikan pada peralatan-peralatan elektronika di suatu bangunan, mengingat efek yang ditimbulkan petir yang sangat besar terhadap peralatan

elektronika, arrester ini bekerja hingga tegangan 2,0 kV, max discharge current 40 kA, dengan respon alat hingga $<25\text{ns}$.



Gambar 18. Arrester

2) *PEB (Potential Equalizing Bar)*

Konsep dasar sistem penangkal petir internal adalah upaya pengamanan potensial di semua titik pada saat terjadi sambaran petir. Titik-titik yang disamakan potensialnya adalah titik-titik pentanahan, saluran daya listrik (electrical power supply), saluran telekomunikasi, instrumentasi, kontrol dan lainnya. PEB ini dibuat dengan bahan tembaga agar supaya alat ini dapat.

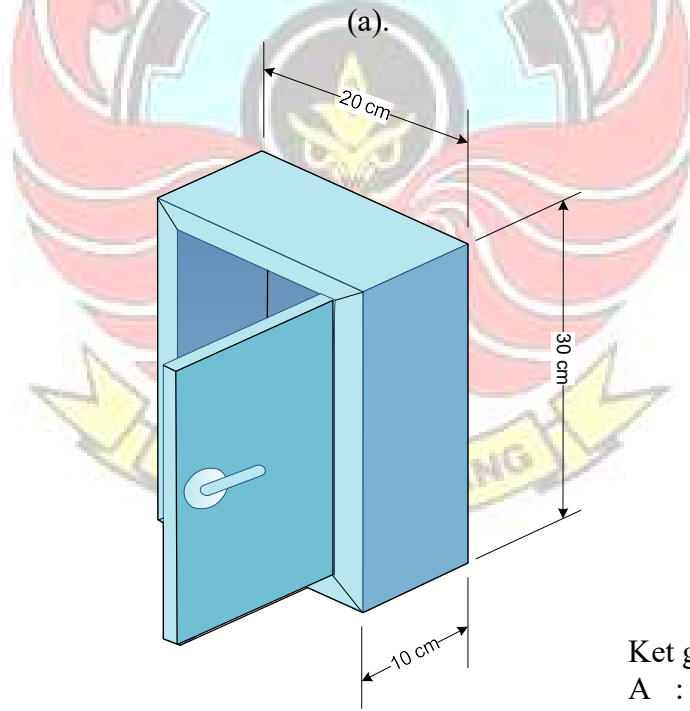
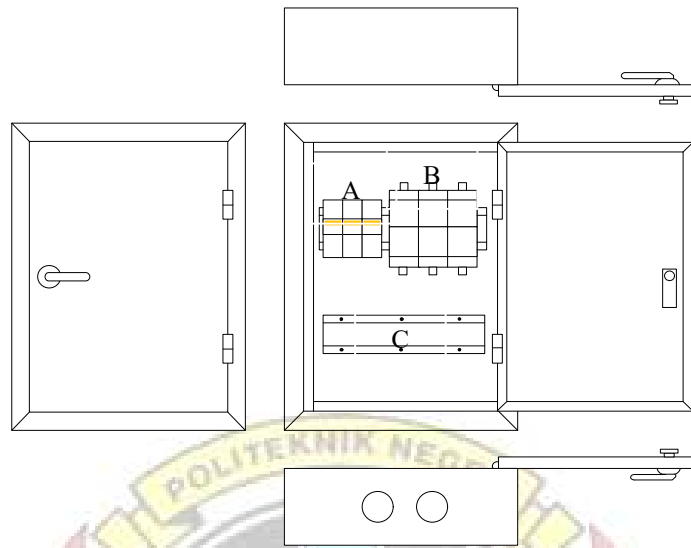
Penyamaan potensial pada saluran daya listrik digunakan peralatan proteksi tegangan lebih (arrester tegangan) dan arrester arus, dan penyamaan potensial pada saluran komunikasi, instrumentasi dan kontrol digunakan arrester yang sesuai.



Gambar 19. *PEB (Potential Equalizing Bar)*

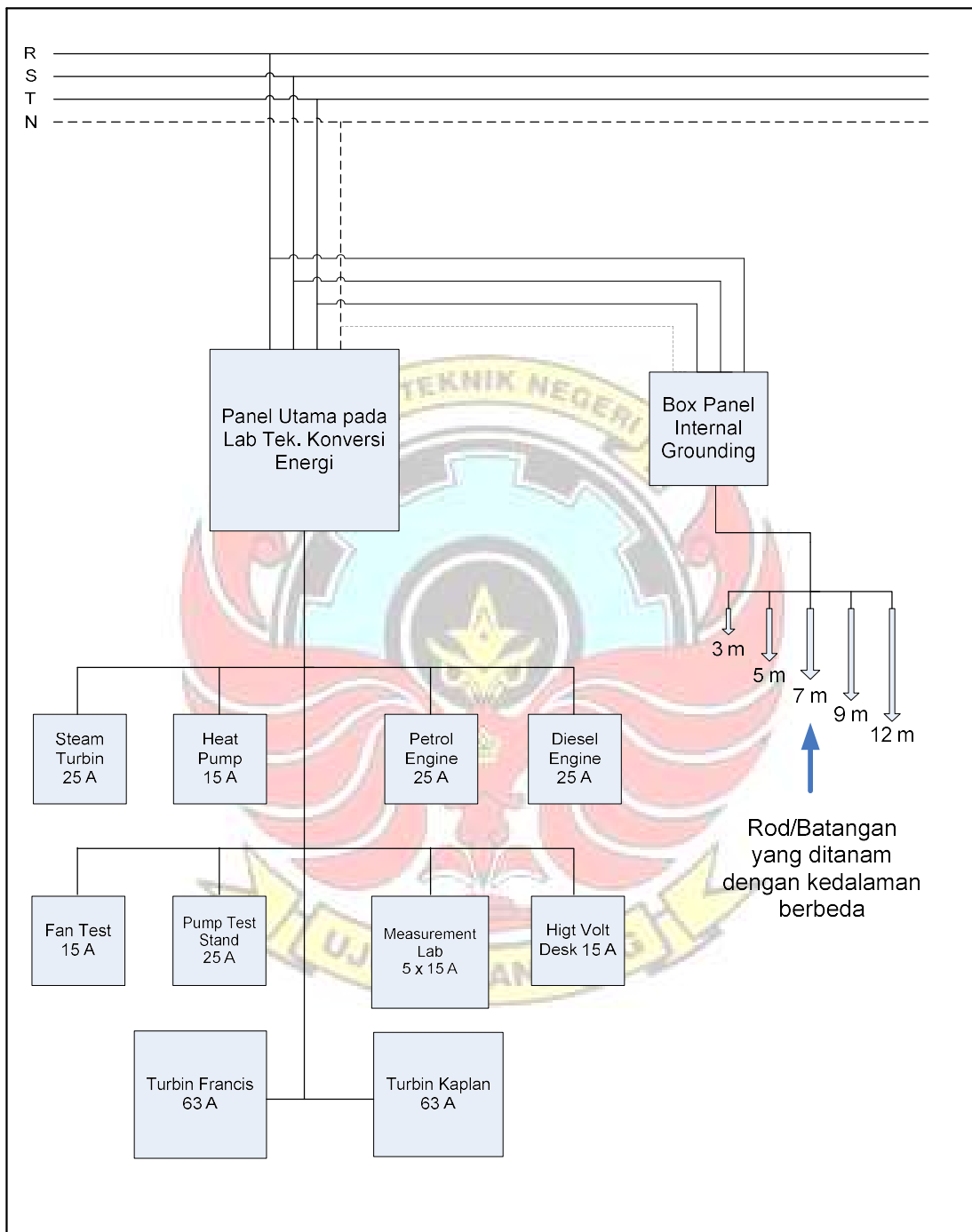
3) *Elektroda Batang (Rod)*

Dalam perancangan elektroda batang (rod) terbuat dari bahan tembaga tujuannya untuk mengurangi faktor korosi, dimensi elektroda yang dirancang berdiameter 1 inci dengan 5 variasi kedalaman masing-masing pasak adalah 12 meter, 9 meter, 7 meter, 5 meter dan 3 meter sehingga nantinya dapat digunakan oleh mahasiswa sebagai praktikum pentanahan pada laboratorium distribusi dan proteksi dengan banyak variasi.

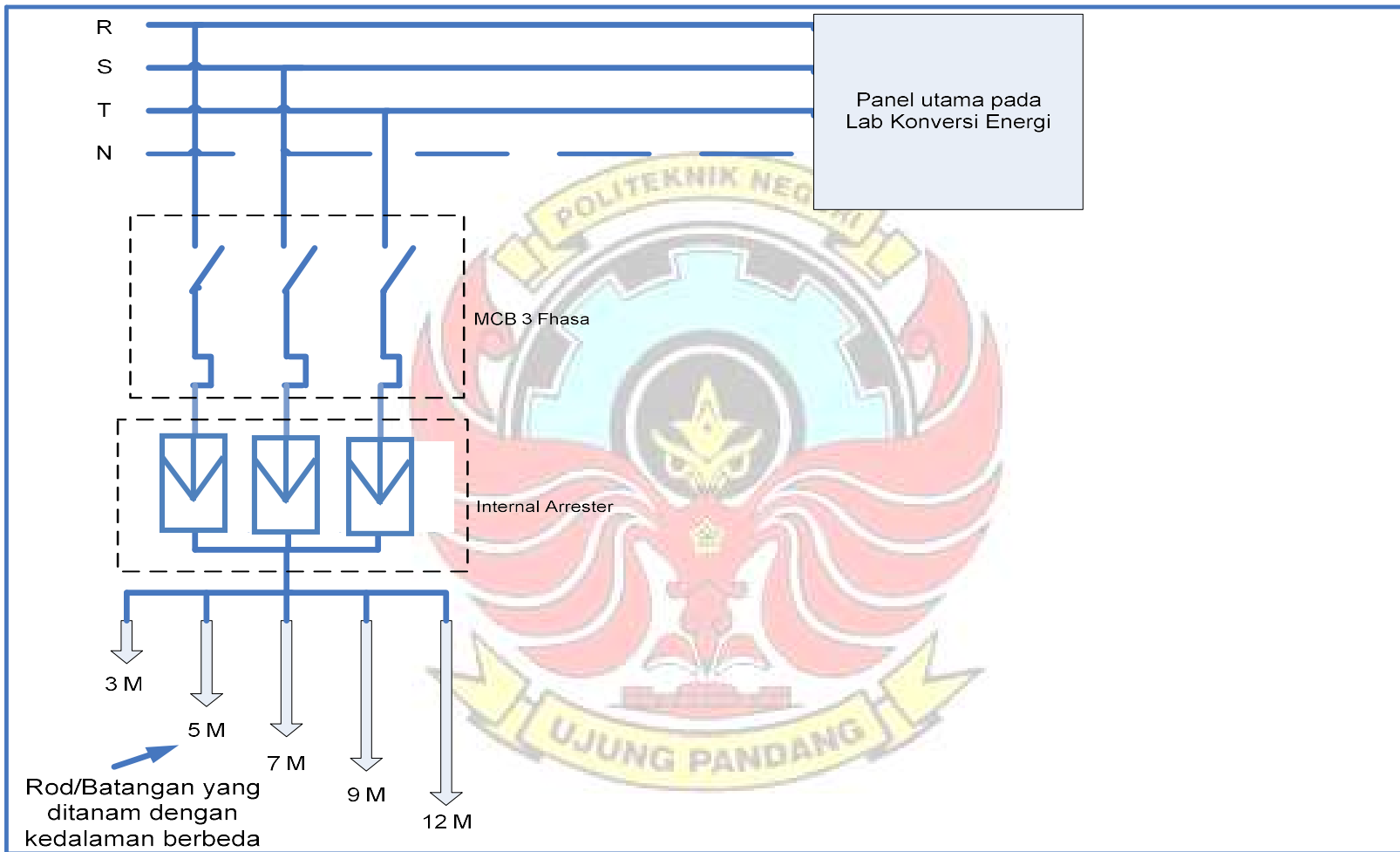


Ket gambar :
 A : MCB 3 Fhasa
 B : Errester
 C : Bar Tembaga

Gambar 20. : (a). Gambar konstruksi panel box
 (b). Desain grafis 3 dimensi panel box



Gambar 21. Diagram Rangkaian Rancangan Pentanahan Internal
pada Laboratorium Konversi Energi



Gambar 22. Diagram Rangkaian Pentanahan Internal pada Laboratorium Konversi Energi

C. Metode Perancangan

1. Penangkal Petir Eksternal

Penangkal petir eksternal menghindari bahaya langsung maupun tidak langsung suatu sambaran petir pada bangunan laboratorium teknik konversi energi termasuk juga menghindari bahaya terhadap manusia yang berada di luar laboratorium. Penangkal eksternal ini terdiri dari :

- Finial penangkal petir.
- Konduktor penyalur arus petir.
- Lightning Surge Counter (Recorder Petir)
- Pentanahan.

Untuk penangkal petir eksternal ini hanya dilakukan pengembangan yang dimana akan ditambahkan dua pentanahan dengan model batang yang sebelumnya menggunakan model plat sebanyak lima buah. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil dari 5 ohm.

a. Finial Penangkal Petir

Finial penangkal petir ini sudah ada yang dibuat oleh mahasiswa sebelumnya, dalam penentuan sistem disini adalah berdasarkan pada hasil penelitian pendahuluan yang sudah ada. Hasil penentuan sistem ini adalah menyangkut susunan finial penangkal petir dapat berupa Finial Batang Tegak susunan Finial Mendatar dan Finial-finial lain dengan memanfaatkan benda logam yang terpasang di atas bangunan seperti atap logam, menara logam, dll. Tingkat

perlindungan yang diinginkan menentukan susunan dan jumlah finial, Finial yang sudah ada ini tidak mengalami perubahan.

b. Sistem Penyaluran Arus Petir

Arus sambaran petir yang mengenai finial harus secara cepat dialirkan ke tanah dengan sistem penyaluran arus petir melalui jalan terpendek. Dimensi atau luas penampang, jumlah dan rute penghantar ditentukan oleh kuadrat arus impuls sesuai dengan tingkat perlindungan yang ditentukan serta tingginya arus puncak petir. Resiko bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ini terutama adalah adanya induksi elektromagnetik pada peralatan elektronik di dalam bangunan.

c. Pemasangan Lightning Surge Counter (Recorder Petir)

Pemasangan lightning surge counter / recorder petir ini adalah salah satu pengembangan yang dilakukan. Lightning surge counter ini diharapkan dapat memberikan data-data tentang jumlah petir yang menyambar alat penangkal petir ini. Lightning Surge Counter terdiri dari sirkuit yang mengandung penyearah, kapasitor, dan elektronik sistem switching yang terhubung ke relay menghitung mekanik. Alat ini dibuat khusus dengan konstruksi yang tahan air untuk penggunaan didalam ruangan maupun diluar ruangan. Pemasangannya didesain sangat mudah karna hanya dipasang pada penghantar sistem penyalur arus petir.

d. Pembuatan Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan berfungsi sebagai sarana mengalirkan arus petir yang menyebar ke segala arah ke dalam tanah. Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahan adalah tidak timbulnya bahaya tegangan langkah dan tegangan sentuh. Kriteria yang dituju dalam pembuatan sistem pentanahan adalah bukan rendahnya harga tahanan tanah akan tetapi dapat dihindarinya bahaya seperti tersebut di depan. Pada penelitian ini dibuat pentanahan elektroda batang dengan 5 variasi kedalaman dan pentanahan elektroda plat juga 5 variasi luas plat dengan kedalaman 2 meter selain itu disini dilakukan pengembangan yaitu menambahkan 2 buah elektroda batang dengan kedalaman 9 meter dan dihubung paralel dengan pentanahan elektroda plat yang sudah ada. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tahanan pentanahan dibawah 5 ohm sesuai dengan PUIL 2000 dan IEC Internasional Elektronical Commision .

e. Penentuan Besaran Listrik dan Pentanahan Yang akan diukur

Besaran listrik yang akan diukur menyangkut:

- Tegangan
- Tahanan jenis pentanahan

2. Pentanahan Internal

a. Pemasangan Arrester

Arrester CUAJE merupakan penangkal petir internal untuk melindungi peralatan elektronik dari sambaran petir secara tidak langsung. Arrester CUAJE dibuat mengikuti standard internasional seperti IEC61643-1 dan GB18802.1. Sistem proteksi internal (Internal Protection) adalah system proteksi terhadap sambaran petir secara tidak langsung, misalnya imbas melalui grounding listrik, menyambar jaringan listrik sehingga jaringan listrik bertegangan petir. Metode pengamanan terhadap sambaran tidak langsung dengan prinsip memotong arus dan menyamakan tegangan dengan memasang arrester. Arrester yang dipasang digunakan untuk membatasi tegangan lebih, dan pada prinsipnya terdiri atas rangkaian seri. Dengan pemasangan arrester maka tegangan lebih impuls akibat petir secara aman akan disalurkan ke bumi.

b. PEB (*Poptential Equalizing Bar*)

Konsep dasar sistem penangkal petir internal adalah upaya pengamanan potensial di semua titik pada saat terjadi sambaran petir. Titik-titik yang disamakan potensialnya adalah titik-titik pentanahan, saluran daya listrik (electrical power supply), saluran telekomunikasi, instrumentasi, kontrol dan lainnya.

Penyamaan potensial di titik pentanahan adalah dengan pengadaan internal grounding yang menghubungkan PEB-PEB yang ada, dengan penerapan “One Point Earthing” atau “Multi Point Earthing” seperti disarankan dalam IEC. Untuk kemudahan operasi dan pengembangan di sini disarankan konsep “One Point Earthing” dengan satu saluran penghubungan internal grounding ke eksternal grounding.

c. Elektroda Batang (Rod)

Sistem pentanahan berfungsi sebagai sarana mengalirkan arus petir yang menyebar ke segala arah ke dalam tanah. Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahan adalah tidak timbulnya bahaya tegangan langkah dan tegangan sentuh. Kriteria yang dituju dalam pembuatan sistem pentanahan adalah bukan rendahnya harga tahanan tanah akan tetapi dapat dihindarinya bahaya seperti tersebut di depan. Pada penelitian ini dibuat pentanahan model plat dengan diameter plat yang berbeda-beda dengan 5 variasi kedalaman yaitu 3 m, 5 m, 7 m, 9 m dan 12 m dan semua elektroda ini dihubung secara paralel. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tahanan pentanahan dibawah 5 ohm sesuai dengan PUIL 2000 dan IEC Internasional Elektronical Commision .

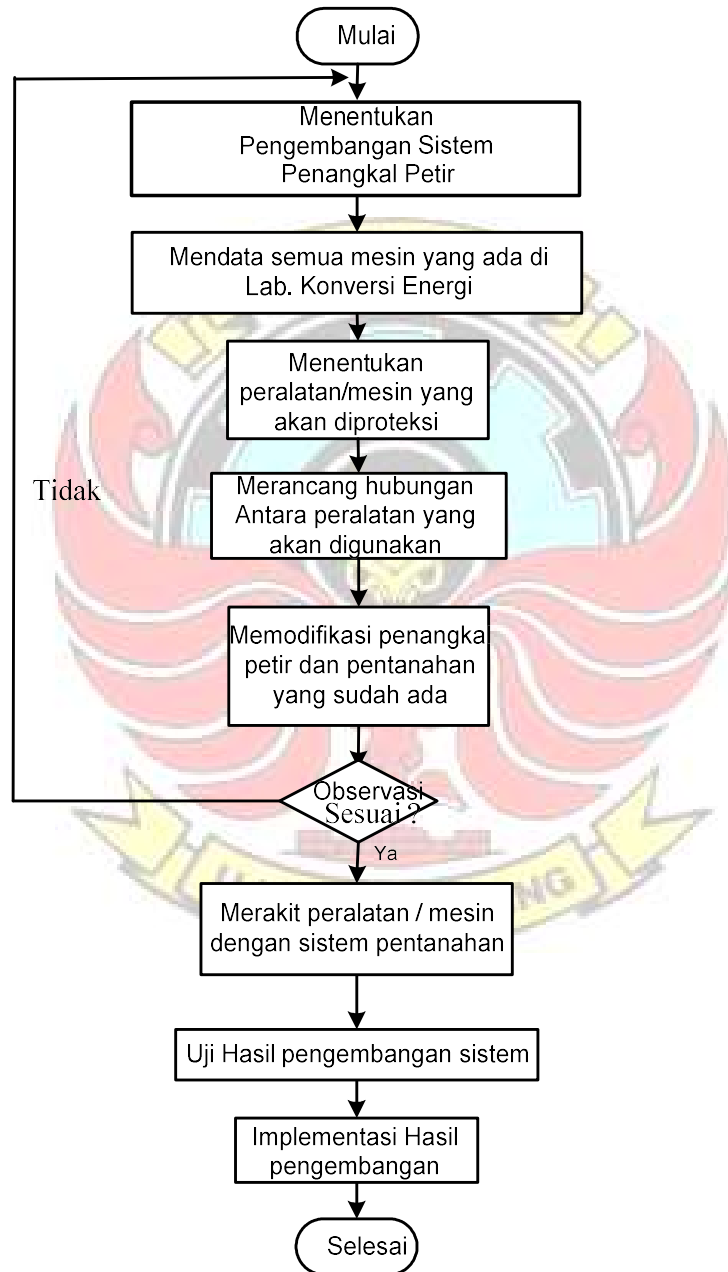
d. Penentuan Besaran Listrik dan Pentanahan Yang akan diukur

Besaran listrik yang akan diukur menyangkut:

- Tegangan
- Tahanan Jenis pentanahan

D. Prosedur penelitian

Diagram-diagram alir langkah-langkah perancangan dan pengujian dapat dilihat sebagai berikut.



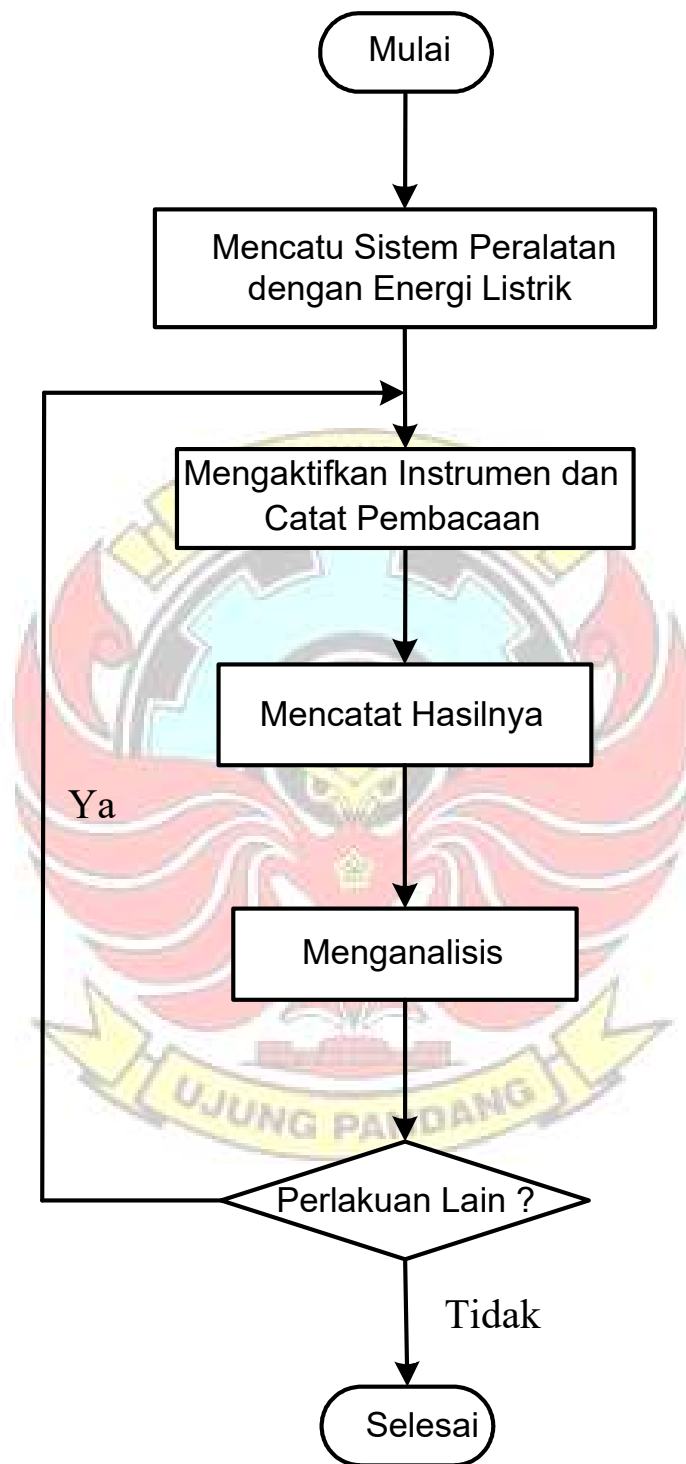
Gambar 23. Diagram alir prosedur penelitian

E. Metode Pengujian

Dalam melakukan pengujian terhadap sistem peralatan yang dibuat maka akan diterapkan metode pengujian sebagai berikut :

- a. Metode analitis-komparatif : yaitu menganalisa hasil pengujian dengan aturan-aturan listrik yang baku dalam hal ini PUIL 2000 dan IEC (International Elektronical Commision) kemudian membandingkan antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan secara teoritis.
- b. Metode deskriptif : yaitu melakukan pengamatan terhadap suatu perubahan yang diakibatkan oleh perlakuan terhadap obyek atau sistem dan melukiskannya dalam suatu simpulan.





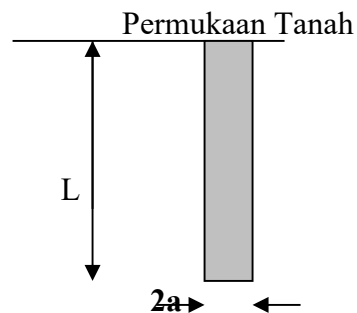
Gambar 24. Diagram alir prosedur pengujian

F. Metode Analisa Data

Setelah melakukan proses pengujian, maka diperoleh data yang akan dianalisis secara deskriptif, yaitu data yang telah terkumpul dianalisis dengan melihat rumus dan teori-teori yang ada. Kemudian membandingkan hasil pengukuran secara langsung dengan hasil perhitungan secara teoritis. Maka, dapat diketahui kemampuan kerja dari alat pengembangan penangkal petir Eksternal dan Internal tersebut dengan demikian untuk membandingkan hasil yang diperoleh antara pengukuran langsung dengan pengukuran secara teoritis maka digunakan rumus sebagai berikut.

1. Elektroda Rod / Batang

Untuk batang konduktor yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah, maka harus diperhitungkan pengaruh bayang-bayang konduktor tersebut, sehingga tahanan elektroda serta harga sama dengan sebuah konduktor yang ditanam seluruhnya dalam tanah. Tetapi arus yang melalui konduktor tersebut adalah setengah dari harga yang masuk pada konduktor yang ditanam seluruhnya. Jadi tahanan pentanahan untuk satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus pada permukaan tanah .



Gambar 25. Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus

Rumus yang biasa digunakan untuk pasak tunggal dikembangkan oleh Professor **H.B. Dwight** dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

dimana :

ρ = tahanan rata-rata tanah (ohm-cm)

L = panjang pasak tanah (cm)

a = jari-jari penampang pasak (cm)

R = tahanan pasak tanah (ohm)

2. Elektroda Plat

Pentanahan elektroda plat adalah suatu cara dengan mempergunakan elektroda berbentuk plat dengan ukuran minimum luas 0,5 m² dan tebal 0.5 mm, untuk tembaga. Kedalaman penanaman minimum 30 cm sampai dengan 1,5 m kebawah permukaan tanah. Tahanan pentanahan untuk sistem plat adalah :

$$R = \frac{\rho}{4,2} \left(\frac{1}{WL} + \frac{0,16}{S} \right) \text{ ohm}$$

Di mana :

R = Tahanan pentanahan (ohm)

W = Lebar plat (m)

L = Panjang plat (m)

S = Kedalaman Penanaman (m)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran

1. Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang

a. *Kondisi Basah*

Tabel 1. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 15 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	300,80	6,70	4,0	2,97	1,89	2,04
2	5	6	303,90	6,80	4,1	2,97	2,01	2,22
3	6	7	303,40	6,90	4,2	2,94	1,95	2,33
4	7	8	303,50	6,90	4,2	3,01	1,96	2,28
5	8	9	303,80	6,90	4,3	3,08	2,01	2,24

Tabel 2. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 18 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	259,00	6,50	3,50	2,87	1,71	1,97
2	5	6	259,30	6,70	3,70	2,91	1,78	2,17
3	6	7	260,00	6,80	3,60	2,94	1,82	2,21
4	7	8	260,60	6,90	3,90	2,97	1,88	2,29
5	8	9	261,30	6,80	4,10	2,94	1,94	2,23

Tabel 3. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 19 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	259,00	6,60	3,90	2,94	1,87	2,03
2	5	6	260,10	6,70	3,70	2,91	1,78	2,09
3	6	7	260,30	6,90	3,90	2,98	1,95	2,21
4	7	8	261,00	6,90	4,30	3,01	1,97	2,27
5	8	9	263,80	7,20	4,70	3,12	2,30	2,34

b. Kondisi Lembab

Tabel 4. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 2 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	349,00	6,90	4,10	3,87	2,41	2,33
2	5	6	344,00	7,16	3,84	3,46	2,40	2,41
3	6	7	342,00	7,13	4,18	3,40	2,31	2,49
4	7	8	345,00	7,14	4,17	3,39	2,25	2,55
5	8	9	345,00	7,19	4,20	3,32	2,23	2,62

Tabel 5. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 3 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	350,00	6,90	3,70	3,23	2,12	2,21
2	5	6	349,00	7,13	3,70	3,34	2,19	2,27
3	6	7	356,00	7,15	4,10	3,45	2,23	2,33
4	7	8	361,00	7,19	3,90	3,57	2,27	2,39
5	8	9	369,00	7,24	4,10	3,39	2,31	2,42

Tabel 6. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 4 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

_No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	367,00	7,11	3,80	3,25	2,24	2,23
2	5	6	371,00	7,19	3,70	3,34	2,27	2,41
3	6	7	375,00	7,23	4,10	3,43	2,29	2,49
4	7	8	379,00	7,34	3,90	3,39	2,33	2,56
5	8	9	383,00	7,24	4,10	3,47	2,35	2,60

c. *Kondisi Kering*

Tabel 7. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering (tanggal 26 Juli 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	392,80	7,22	4,37	3,09	2,15	1,82
2	5	6	395,50	7,38	4,48	3,22	2,09	1,89
3	6	7	396,40	7,49	4,57	3,09	2,21	1,93
4	7	8	397,20	7,50	4,62	3,17	2,26	1,98
5	8	9	397,80	7,52	4,73	3,31	2,31	2,03

Tabel 8. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering (tanggal 27 Juli 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	390,00	7,28	4,45	3,62	2,34	1,77
2	5	6	391,20	7,37	4,56	3,78	2,45	1,82
3	6	7	394,70	7,55	4,64	3,82	2,49	1,89
4	7	8	397,00	7,72	4,70	3,89	2,53	1,93
5	8	9	399,40	7,89	6,75	3,95	2,58	2,05

Tabel 9. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering (tanggal 29 Juli 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	397,30	7,39	4,48	3,63	2,56	1,55
2	5	6	398,70	7,51	4,56	3,74	2,59	1,77
3	6	7	401,20	7,63	4,63	3,65	2,62	1,87
4	7	8	401,90	7,72	4,69	3,82	2,65	1,92
5	8	9	402,00	7,78	6,75	3,91	2,63	2,03

2. Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂

a. Kondisi Basah

Tabel 10. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah (tanggal 15 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,19	6,2	36,74	9,97	12,29	2,03	3,64	5,23	1,76
2.	5	6	5,38	6,59	37,15	10,33	12,37	2,07	3,69	5,04	1,82
3.	6	7	5,48	6,93	37,29	10,44	12,49	2,25	3,84	6,29	1,91
4.	7	8	5,58	7,23	37,36	10,53	12,65	2,21	3,86	6,35	1,97
5.	8	9	5,69	7,33	37,44	10,6	12,67	2,2	4,1	6,37	2,03

Tabel 11. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah (tanggal 18 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,11	5,82	31,11	9,82	10,87	1,89	2,2	4,98	1,55
2.	5	6	5,23	6,12	31,42	9,9	10,92	1,94	2,3	5,11	1,62
3.	6	7	5,32	6,25	31,62	9,93	10,99	1,99	2,5	5,23	1,68
4.	7	8	5,41	6,39	31,69	9,98	11,15	2,02	2,6	5,19	1,71
5.	8	9	5,49	6,55	31,78	10,13	11,28	2,11	2,6	5,29	1,89

Tabel 12. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Basah (tanggal 19 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,43	6,11	31,23	9,97	11,59	2,01	2,65	5,13	1,73
2.	5	6	5,47	6,18	31,35	10,11	11,55	2,09	2,73	5,21	1,81
3.	6	7	5,51	6,25	31,48	10,34	11,73	2,19	2,81	5,36	1,93
4.	7	8	5,57	6,33	31,59	10,42	11,96	2,26	2,89	5,59	1,99
5.	8	9	5,6	6,55	31,66	10,52	12,13	2,31	2,95	6,05	2,06

b. *Kondisi Lembab*

Tabel 13. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab (tanggal 2 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,76	6,53	31,20	10,95	11,99	2,54	2,21	5,30	1,97
2.	5	6	5,71	7,04	31,41	10,68	10,94	2,74	2,27	6,05	2,03
3.	6	7	5,73	7,15	32,15	10,70	11,98	2,91	2,33	6,35	2,09
4.	7	8	5,76	7,14	32,72	10,74	12,06	2,30	2,40	6,31	2,14
5.	8	9	5,67	7,19	32,57	10,79	11,81	2,45	2,45	5,50	2,18

Tabel 14. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Lembab (tanggal 3 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,61	6,67	32,77	10,54	12,71	2,23	2,50	5,87	1,98
2.	5	6	5,58	6,82	32,84	10,62	12,79	2,28	2,60	6,23	2,03
3.	6	7	5,67	7,07	32,92	10,97	12,84	2,34	2,70	6,45	2,09
4.	7	8	5,73	7,11	33,21	10,78	12,98	2,40	2,70	6,55	2,15
5.	8	9	5,78	7,23	33,34	10,53	13,12	2,48	2,60	6,76	2,18

Tabel 15. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab (tanggal 4 Agustus 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,58	6,77	32,78	10,62	12,78	2,20	2,40	5,51	1,88
2.	5	6	5,63	6,82	32,75	10,68	12,82	2,25	2,60	5,62	1,94
3.	6	7	5,67	7,11	32,83	10,94	12,86	2,31	2,60	5,69	2,00
4.	7	8	5,73	7,11	33,12	11,07	12,98	2,40	2,70	6,71	2,14
5.	8	9	5,77	7,33	33,31	11,13	13,16	2,49	2,80	6,79	2,18

c. Kondisi Kering

Tabel 16. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering (tanggal 26 Juli 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,42	7,08	31,17	10,74	14,58	3,91	2,74	6,52	2,08
2.	5	6	5,59	7,24	31,62	11,08	14,78	4,11	2,91	6,67	2,13
3.	6	7	5,67	7,26	31,68	11,09	14,88	4,15	2,30	6,86	2,22
4.	7	8	5,75	7,31	31,65	11,10	14,91	4,23	2,20	6,89	2,29
5.	8	9	5,80	7,34	31,71	11,14	14,93	4,55	2,35	6,92	2,35

Tabel 17. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Kering (tanggal 27 Juli, dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,69	7,12	26,87	10,55	14,33	4,13	2,70	6,77	2,11
2.	5	6	5,77	7,23	26,98	10,69	14,41	4,19	2,70	6,84	2,17
3.	6	7	5,82	7,36	37,12	10,87	14,48	4,21	2,80	6,91	2,26
4.	7	8	5,81	7,42	37,29	10,94	14,57	4,27	3,00	6,95	2,32
5.	8	9	5,89	7,51	37,41	11,13	14,62	4,55	3,30	6,98	2,39

Tabel 18. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat, R_{11} dan R_{12} dalam kondisi Kering (tanggal 29 Juli 2010), dengan tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m ²)					Paralel Plat	Ukuran Kedalaman (m)		Paralel Total
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25		R 11	R 12	Plat + R11 & R12
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)		R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,73	7,24	36,91	10,68	14,35	4,17	2,60	6,81	2,15
2.	5	6	5,79	7,28	36,97	10,79	14,47	4,23	2,70	6,87	2,23
3.	6	7	5,82	7,33	37,12	10,96	14,59	4,34	2,90	6,91	2,35
4.	7	8	5,81	7,41	37,34	11,12	14,81	4,48	2,90	6,94	2,41
5.	8	9	5,86	7,46	37,56	11,19	14,93	4,56	3,10	6,98	2,45

Sumber : “Hasil Pengukuran”

Keterangan : R_{11} dan R_{12} merupakan elektroda batang dengan kedalaman masing-masing 12 meter.

- **Menghitung Nilai Tahanan Elektroda Batang**

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data no. 1 Pada tabel 1 untuk kondisi tanah basah dengan kedalaman 3 meter pada hari Minggu tanggal 15 Agustus 2010 dengan data sebagai berikut :

Dari data no.1 pada tabel 1 diketahui bahwa :

- a. $L = 3 \text{ m}$
- b. $R_p = 300,8 \ \Omega$
- c. $a = 0,0254 \text{ m}$

Untuk Mendapatkan Nilai ρ , dan R_{th} digunakan Persamaan Sebagai Berikut :

$$\begin{aligned} \rho &= R_p \times L \\ &= 300,8 \times 3 \\ &= 902,4 \ \Omega\text{m} \end{aligned}$$

Tahanan Secara Teoritis (R_{th})

$$\begin{aligned} R_{th} &= \frac{\rho}{2\pi L} \left(Ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \\ &= \frac{902,4}{2\pi \cdot 3} \left(Ln \frac{4,3}{0,0254} - 1 \right) \\ &= 247,05 \ \Omega \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil analisa data yang lain selengkapnya dapat dilihat pada Tabel Hasil Analisa Data.

- **Menghitung Nilai Tahanan Pentanahan dengan Sistem Grid (Paralel)**

Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂

Sebagai contoh perhitungan diambil data no 1 Pada tabel 10 untuk kondisi tanah basah dengan Ukuran 1 x 1 meter², 0,75 x 0,75 meter², 0,5 x 0,5 meter², 0,35 x 0,35 meter², 0,25 x 0,25 meter² pada hari Minggu tanggal 15 Agustus 2010 dengan data sebagai berikut :

Untuk Mendapatkan Nilai R_{Pararel} digunakan Persamaan Sebagai Berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_{pararel}} &= \frac{1}{5,19} + \frac{1}{6,20} + \frac{1}{36,74} + \frac{1}{9,97} + \frac{1}{12,29} + \frac{1}{3,64} + \frac{1}{5,23} \\
 &= 0,19 + 0,16 + 0,027 + 0,100 + 0,081 + 0,27 + 0,19 \\
 &= 1,018 \ \Omega \\
 R_{pararel} &= \frac{1}{1,018} \\
 &= 0,92 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil analisa data yang lain selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 28.

B. Hasil Analisa Data

1. Perbandingan Tahanan Pentanahan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis

a. Untuk Elektroda Batang

1) *Kondisi Basah*

Tabel 19. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 15 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	300.8	6.7	4.0	2.97	1.89	247,1	6,05	3,82	2,96	1,97
2.	5	6	303.9	6.8	4.1	2.97	2.01	249,6	6,14	3,92	2,96	2,09
3.	6	7	303.4	6.9	4.2	2.94	1.95	249,2	6,23	4,02	2,93	2,03
4.	7	8	303.5	6.9	4.2	3.01	1.96	249,3	6,23	4,02	3	2,04
5.	8	9	303.8	6.9	4.3	3.08	2.01	249,5	6,23	4,11	3,07	2,09

Tabel 20. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 18 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	259	6,5	3,5	2,87	1,71	212,7	5,87	3,35	2,86	1,78
2.	5	6	259,3	6,7	3,7	2,91	1,78	213	6,05	3,54	2,9	1,85
3.	6	7	260	6,8	3,6	2,94	1,82	213,5	6,14	3,44	2,93	1,9
4.	7	8	260,6	6,9	3,9	2,97	1,88	214	6,23	3,73	2,96	1,96
5.	8	9	261,3	6,8	4,1	2,94	1,94	214,6	6,14	3,92	2,93	2,02

Tabel 21. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah (tanggal 19 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	259	6,6	3,9	2,94	1,87	212,7	5,96	3,73	2,93	1,95
2.	5	6	260,1	6,7	3,7	2,91	1,78	213,6	6,05	3,54	2,9	1,85
3.	6	7	260,3	6,9	3,9	2,98	1,95	213,8	6,23	3,73	2,97	2,03
4.	7	8	261	6,9	4,3	3,01	1,97	214,4	6,23	4,11	3	2,05
5.	8	9	263,8	7,2	4,7	3,12	2,3	216,7	6,5	4,49	3,11	2,4

2) Kondisi Lembab

Tabel 22. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 2 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	349	6.9	4.10	3.87	2.41	286,6	6,23	3,92	3,86	2,51
2.	5	6	344	7.16	3.84	3.46	2.40	282,5	6,46	3,67	3,45	2,5
3.	6	7	342	7.13	4.18	3.40	2.31	280,9	6,44	4	3,39	2,41
4.	7	8	345	7.14	4.17	3.39	2.25	283,4	6,45	3,99	3,38	2,34
5.	8	9	345	7.19	4.20	3.32	2.23	283,4	6,49	4,02	3,31	2,32

Tabel 23. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 3 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	350	6,9	3,7	3,23	2,12	287,5	6,23	3,54	3,22	2,21
2.	5	6	349	7,13	3,7	3,34	2,19	286,6	6,44	3,54	3,33	2,28
3.	6	7	356	7,15	4,1	3,45	2,23	292,4	6,45	3,92	3,44	2,32
4.	7	8	361	7,19	3,9	3,57	2,27	296,5	6,49	3,73	3,56	2,37
5.	8	9	369	7,24	4,1	3,39	2,31	303,1	6,54	3,92	3,38	2,41

Tabel 24. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab (tanggal 4 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	367	7,11	3,8	3,25	2,24	301,4	6,42	3,63	3,24	2,33
2.	5	6	371	7,19	3,7	3,34	2,27	304,7	6,49	3,54	3,33	2,37
3.	6	7	375	7,23	4,1	3,43	2,29	308	6,53	3,92	3,42	2,39
4.	7	8	379	7,34	3,9	3,39	2,33	311,3	6,63	3,73	3,38	2,43
5.	8	9	383	7,24	4,1	3,47	2,35	314,6	6,54	3,92	3,46	2,45

3) *Kondisi Kering*

Tabel 25. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi kering (tanggal 26 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	392.8	7.22	4.37	3.09	2.15	322,6	6,52	4,18	3,08	2,24
2.	5	6	395.5	7.38	4.48	3.22	2.09	324,8	6,66	4,28	3,21	2,18
3.	6	7	396.4	7.49	4.57	3.09	2.21	325,6	6,76	4,37	3,08	2,3
4.	7	8	397.2	7.5	4.62	3.17	2.26	326,2	6,77	4,42	3,16	2,36
5.	8	9	397.8	7.52	4.73	3.31	2.31	326,7	6,79	4,52	3,3	2,41

Tabel 26. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi kering (tanggal 27 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	390	7,28	4,45	3,62	2,34	320,3	6,57	4,26	3,61	2,44
2.	5	6	391,2	7,37	4,56	3,78	2,45	321,3	6,65	4,36	3,77	2,55
3.	6	7	394,7	7,55	4,64	3,82	2,49	324,2	6,82	4,44	3,81	2,59
4.	7	8	397	7,72	4,7	3,89	2,53	326,1	6,97	4,49	3,88	2,64
5.	8	9	399,4	7,89	6,75	3,95	2,58	328	7,12	6,45	3,94	2,69

Tabel 27. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi kering (tanggal 29 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	397,3	7,39	4,48	3,63	2,56	326,3	6,67	4,28	3,62	2,67
2.	5	6	398,7	7,51	4,56	3,74	2,59	327,5	6,78	4,36	3,73	2,7
3.	6	7	401,2	7,63	4,63	3,65	2,62	329,5	6,89	4,43	3,64	2,73
4.	7	8	401,9	7,72	4,69	3,82	2,65	330,1	6,97	4,48	3,81	2,76
5.	8	9	402	7,78	6,75	3,91	2,63	330,2	7,02	6,45	3,9	2,74

b.



c. Untuk Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂

i. Kondisi Basah

Tabel 28. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah (tanggal 15 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)						Teoritis (Ω)							
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5.19	6.20	36.74	9.97	12.29	3.64	5.23	2,67	3,19	18,89	5,13	6,32	3,79	5,45
2.	5	6	5.38	6.59	37.15	10.33	12.37	3.69	5.04	2,77	3,39	19,11	5,31	6,36	3,85	5,25
3.	6	7	5.48	6.93	37.29	10.44	12.49	3.84	6.29	2,82	3,56	19,18	5,37	6,42	4	6,55
4.	7	8	5.58	7.23	37.36	10.53	12.65	3.86	6.35	2,87	3,72	19,21	5,42	6,51	4,02	6,62
5.	8	9	5.69	7.33	37.44	10.60	12.67	4.10	6.37	2,93	3,77	19,25	5,45	6,52	4,27	6,64

Tabel 29. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ g dalam kondisi Basah (tanggal 18 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,11	5,82	31,11	9,82	10,87	2,2	4,98	2,63	2,99	16,00	5,05	5,59	2,29	5,19
2.	5	6	5,23	6,12	31,42	9,9	10,92	2,3	5,11	2,69	3,15	16,16	5,09	5,62	2,4	5,32
3.	6	7	5,32	6,25	31,62	9,93	10,99	2,5	5,23	2,74	3,21	16,26	5,11	5,65	2,61	5,45
4.	7	8	5,41	6,39	31,69	9,98	11,15	2,6	5,19	2,78	3,29	16,30	5,13	5,73	2,71	5,41
5.	8	9	5,49	6,55	31,78	10,13	11,28	2,6	5,29	2,82	3,37	16,34	5,21	5,80	2,71	5,51

Tabel 30. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah (tanggal 19 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,43	6,11	31,23	9,97	11,59	2,65	5,13	2,79	3,14	16,06	5,13	5,96	2,76	5,35
2.	5	6	5,47	6,18	31,35	10,11	11,55	2,73	5,21	2,81	3,18	16,12	5,20	5,94	2,84	5,43
3.	6	7	5,51	6,25	31,48	10,34	11,73	2,81	5,36	2,83	3,21	16,19	5,32	6,03	2,93	5,59
4.	7	8	5,57	6,33	31,59	10,42	11,96	2,89	5,59	2,86	3,26	16,25	5,36	6,15	3,01	5,83
5.	8	9	5,6	6,55	31,66	10,52	12,13	2,95	6,05	2,88	3,37	16,28	5,41	6,24	3,07	6,3

ii. Kondisi Lembab

Tabel 31. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab (tanggal 2 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5.76	6.53	31.2	10.95	11.99	2.54	5.30	2,96	3,36	16,05	5,63	6,17	2,65	5,52
2.	5	6	5.71	7.04	31.41	10.68	10.94	2.74	6.05	2,94	3,62	16,15	5,49	5,63	2,86	6,3
3.	6	7	5.73	7.15	32.15	10.70	11.98	2.91	6.35	2,95	3,68	16,53	5,50	6,16	3,03	6,62
4.	7	8	5.76	7.14	32.72	10.74	12.06	2.30	6.31	2,96	3,67	16,83	5,52	6,20	2,4	6,58
5.	8	9	5.67	7.19	32.57	10.79	11.81	2.45	5.50	2,92	3,70	16,75	5,55	6,07	2,55	5,73

Tabel 32. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab (tanggal 3 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,61	6,67	32,77	10,54	12,71	2,5	5,87	2,89	3,43	16,85	5,42	6,54	2,61	6,12
2.	5	6	5,58	6,82	32,84	10,62	12,79	2,6	6,23	2,87	3,51	16,89	5,46	6,58	2,71	6,49
3.	6	7	5,67	7,07	32,92	10,97	12,84	2,7	6,45	2,92	3,64	16,93	5,64	6,60	2,81	6,72
4.	7	8	5,73	7,11	33,21	10,78	12,98	2,7	6,55	2,95	3,66	17,08	5,54	6,68	2,81	6,83
5.	8	9	5,78	7,23	33,34	10,53	13,12	2,6	6,76	2,97	3,72	17,15	5,42	6,75	2,71	7,04

Tabel 33. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab (tanggal 4 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,58	6,77	32,78	10,62	12,78	2,4	5,51	2,87	3,48	16,86	5,46	6,57	2,5	5,74
2.	5	6	5,63	6,82	32,75	10,68	12,82	2,6	5,62	2,90	3,51	16,84	5,49	6,59	2,71	5,86
3.	6	7	5,67	7,11	32,83	10,94	12,86	2,6	5,69	2,92	3,66	16,88	5,63	6,61	2,71	5,93
4.	7	8	5,73	7,11	33,12	11,07	12,98	2,7	6,71	2,95	3,66	17,03	5,69	6,68	2,81	6,99
5.	8	9	5,77	7,33	33,31	11,13	13,16	2,8	6,79	2,97	3,77	17,13	5,72	6,77	2,92	7,08

iii. Kondisi Kering

Tabel 34. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering (tanggal 26 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5.42	7.08	31.17	10.74	14.58	2.74	6.52	2.79	3.64	16.03	5.52	7.50	2.86	6.79
2.	5	6	5.59	7.24	31.62	11.08	14.78	2.91	6.67	2.87	3.72	16.26	5.70	7.60	3.03	6.95
3.	6	7	5.67	7.26	31.68	11.09	14.88	2.30	6.86	2.92	3.73	16.29	5.70	7.65	2.4	7.15
4.	7	8	5.75	7.31	31.65	11.10	14.91	2.20	6.89	2.96	3.76	16.28	5.71	7.67	2.29	7.18
5.	8	9	5.8	7.34	31.71	11.14	14.93	2.35	6.92	2.98	3.77	16.31	5.73	7.68	2.45	7.21

Tabel 35. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering (tanggal 27 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,69	7,12	26,87	10,55	14,33	2,7	6,77	2,93	3,66	13,82	5,43	7,37	2,81	7,05
2.	5	6	5,77	7,23	26,98	10,69	14,41	2,7	6,84	2,97	3,72	13,88	5,50	7,41	2,81	7,13
3.	6	7	5,82	7,36	37,12	10,87	14,48	2,8	6,91	2,99	3,79	19,09	5,59	7,45	2,92	7,2
4.	7	8	5,81	7,42	37,29	10,94	14,57	3	6,95	2,99	3,82	19,18	5,63	7,49	3,13	7,24
5.	8	9	5,89	7,51	37,41	11,13	14,62	3,3	6,98	3,03	3,86	19,24	5,72	7,52	3,44	7,27

Tabel 36. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering (tanggal 29 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan													
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)							Teoritis (Ω)						
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	R 11	R 12
1.	4	5	5,73	7,24	36,91	10,68	14,35	2,6	6,81	2,95	3,72	18,98	5,49	7,38	2,71	7,1
2.	5	6	5,79	7,28	36,97	10,79	14,47	2,7	6,87	2,98	3,74	19,01	5,55	7,44	2,81	7,16
3.	6	7	5,82	7,33	37,12	10,96	14,59	2,9	6,91	2,99	3,77	19,09	5,64	7,50	3,02	7,2
4.	7	8	5,81	7,41	37,34	11,12	14,81	2,9	6,94	2,99	3,81	19,20	5,72	7,62	3,02	7,23
5.	8	9	5,86	7,46	37,56	11,19	14,93	3,1	6,98	3,01	3,84	19,32	5,75	7,68	3,23	7,27

Sumber : “Hasil Pengolahan Data”

2. Perbandingan Tahanan Pentanahan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis secara sistem Grid (Paralel)

a. Untuk Elektroda Batang

1) *Kondisi Basah*

Tabel 37. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 15 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,04	0,79
2.	5	6	2,22	0,81
3.	6	7	2,33	0,81
4.	7	8	2,28	0,81
5.	8	9	2,24	0,83

Tabel 38. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 18 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,97	0,73
2.	5	6	2,17	0,75
3.	6	7	2,21	0,76
4.	7	8	2,29	0,79
5.	8	9	2,23	0,80

Tabel 39. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 19 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,03	0,78
2.	5	6	2,09	0,75
3.	6	7	2,21	0,80
4.	7	8	2,27	0,82
5.	8	9	2,34	0,90

2) *Kondisi Lembab*

Tabel 40. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 2 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,33	0,94
2.	5	6	2,41	0,90
3.	6	7	2,49	0,90
4.	7	8	2,55	0,89
5.	8	9	2,62	0,89

Tabel 41. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 3 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,21	0,83
2.	5	6	2,27	0,86
3.	6	7	2,33	0,89
4.	7	8	2,39	0,89
5.	8	9	2,42	0,90

Tabel 42. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 4 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,23	0,86
2.	5	6	2,41	0,87
3.	6	7	2,49	0,90
4.	7	8	2,56	0,89
5.	8	9	2,60	0,91

3) *Kondisi Kering*

Tabel 43. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 26 Juli 2010)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,82	0,86
2.	5	6	1,89	0,87
3.	6	7	1,93	0,88
4.	7	8	1,98	0,90
5.	8	9	2,03	0,92

Tabel 44. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering (tanggal 27 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,77	0,94
2.	5	6	1,82	0,97
3.	6	7	1,89	0,99
4.	7	8	1,93	1,00
5.	8	9	2,05	1,09

Tabel 45. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Batang dalam kondisi Kering secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 29 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,55	0,97
2.	5	6	1,77	0,99
3.	6	7	1,87	0,99
4.	7	8	1,92	1,02
5.	8	9	2,03	1,09

b. Untuk Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂

1) Kondisi Basah

Tabel 46. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 15 Agustus 2010).

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R ₁₁ & R ₁₂	Paralel Plat	Paralel total Plat, R ₁₁ & R ₁₂
1.	4	5	2,03	1,76	1,78	0,97
2.	5	6	2,07	1,82	1,84	0,99
3.	6	7	2,25	1,91	1,89	1,05
4.	7	8	2,21	1,97	1,93	1,07
5.	8	9	2,2	2,03	1,95	1,10

Tabel 47. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 18 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	1,89	1,55	1,68	0,80
2.	5	6	1,94	1,62	1,73	0,83
3.	6	7	1,99	1,68	1,75	0,86
4.	7	8	2,02	1,71	1,78	0,88
5.	8	9	2,11	1,89	1,81	0,89

Tabel 48. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Basah secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 19 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	2,01	1,73	1,77	0,88
2.	5	6	2,09	1,81	1,78	0,89
3.	6	7	2,19	1,93	1,80	0,91
4.	7	8	2,26	1,99	1,82	0,93
5.	8	9	2,31	2,06	1,85	0,96

2) Kondisi Lembab

Tabel 49. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 2 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	2,21	1,97	1,87	0,90
2.	5	6	2,27	2,03	1,87	0,94
3.	6	7	2,33	2,09	1,91	0,98
4.	7	8	2,40	2,14	1,92	0,90
5.	8	9	2,45	2,18	1,91	0,90

Tabel 50. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 3 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	2,23	1,98	1,88	0,91
2.	5	6	2,28	2,03	1,89	0,93
3.	6	7	2,34	2,09	1,93	0,96
4.	7	8	2,40	2,15	1,94	0,96
5.	8	9	2,48	2,18	1,95	0,96

Tabel 51. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Lembab secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 4 Agustus 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	2,20	1,88	1,89	0,89
2.	5	6	2,25	1,94	1,90	0,92
3.	6	7	2,31	2,00	1,94	0,93
4.	7	8	2,40	2,14	1,95	0,97
5.	8	9	2,49	2,18	1,98	0,99

3) *Kondisi Kering*

Tabel 52. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 26 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	3,91	2,08	1,92	0,96
2.	5	6	4,11	2,13	1,97	1,00
3.	6	7	4,15	2,22	1,99	0,92
4.	7	8	4,23	2,29	2,00	0,91
5.	8	9	4,55	2,35	2,01	0,94

Tabel 53. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 27 Juli 2010)

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	4,13	2,11	1,93	0,97
2.	5	6	4,19	2,17	1,95	0,97
3.	6	7	4,21	2,26	2,02	1,00
4.	7	8	4,27	2,32	2,03	1,03
5.	8	9	4,55	2,39	2,05	1,07

Tabel 54. Hasil Analisa Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dengan Teoritis pada Elektroda Plat, R₁₁ dan R₁₂ dalam kondisi Kering secara Sistem Grid/Paralel (tanggal 29 Juli 2010).

No.	Terminal		Tahanan			
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)		Teoritis (Ω)	
			Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12	Paralel Plat	Paralel total Plat, R11 & R12
1.	4	5	4,17	2,15	1,99	0,97
2.	5	6	4,23	2,23	2,00	0,99
3.	6	7	4,34	2,35	2,02	1,02
4.	7	8	4,48	2,41	2,04	1,02
5.	8	9	4,56	2,45	2,05	1,05

C. Pembahasan

Dari hasil pengujian sistem pentanahan yang terpakai pada lokasi laboratorium energi dan lokasi laboratorium tegangan tinggi dan pentanahan elektroda pasak yang ditanam masing-masing sedalam 3 meter, 5 meter, 7 meter, 9 meter, 12 meter dan elektroda plat dengan ukuran 1 x 1 meter², 0,75x0,75 meter², 0,5x0,5 meter², 0,35x0,35 meter², 0,25x0,25 meter² yang umumnya layak terpakai didapat nilai tahanan pentanahan berkisar antara 1,71 – 402 Ohm.

Dari data diperoleh untuk pentanahan elektroda batang untuk kedalaman 3 meter diperoleh tahanan pantanahan pada kondisi tanah kering berkisar 390 - 402 Ohm , Untuk kondisi tanah lembab berkisar 342 – 383 Ohm, untuk kondisi tanah basah berkisar 259 – 303,9 Ohm. untuk elektroda batang yang ditanam sedalam 5 meter diperoleh tahanan pantanahan pada kondisi tanah kering berkisar 7,08 – 7,89 Ohm, untuk kondisi tanah lembab berkisar 6,53 – 7,34 Ohm, untuk kondisi tanah basah berkisar 6,11 – 7,2 Ohm. untuk elektroda batang yang ditanam sedalam 7 meter diperoleh tahanan pantanahan pada kondisi tanah kering berkisar 4,37 – 6,75 Ohm, untuk kondisi tanah lembab berkisar 3,70 – 4,20 Ohm, untuk kondisi tanah basah berkisar 3,5 – 4,7 Ohm, untuk elektroda batang yang ditanam sedalam 9 meter diperoleh tahanan pantanahan pada kondisi tanah kering berkisar 3,09 – 3,95 Ohm, untuk kondisi tanah lembab berkisar 3,23 – 3,87 Ohm, untuk kondisi tanah basah berkisar 2,87 – 3,12 Ohm, untuk elektroda batang yang ditanam sedalam 12 meter diperoleh tahanan pantanahan pada kondisi tanah kering berkisar 2,09 – 2,65 Ohm,

untuk kondisi tanah lembab berkisar 2,12 – 2,41 Ohm, untuk kondisi tanah basah berkisar 1,71 – 2,3 Ohm.

Untuk elektroda Plat dengan ukuran 1 x 1 meter² diperoleh nilai tahanan untuk tanah kering berkisar antara 5,42 – 5,89 Ohm, untuk tanah lembab berkisar 5,58 – 5,78 Ohm, untuk tanah basah berkisar 5,11 – 5,69 Ohm, pada elektroda plat ukuran 0,75 x 0,75 meter² didapat nilai tahanan untuk tanah kering berkisar antara 7,08 – 7,51 Ohm, untuk tanah lembab berkisar 6,53 – 7,33 Ohm, untuk tanah basah berkisar 5,82 – 7,33 Ohm, pada elektroda plat ukuran 0,5 x 0,5 meter² didapat nilai tahanan untuk tanah kering berkisar antara 26,87 – 37,56 Ohm, untuk tanah lembab berkisar 31,20 – 33,34 Ohm, untuk tanah basah berkisar 31,11 – 37,44 Ohm, pada elektroda plat ukuran 0,35 x 0,35 meter² didapat nilai tahanan untuk tanah kering berkisar antara 10,55 – 11,19 Ohm, untuk tanah lembab berkisar 10,54 – 11,13 Ohm, untuk tanah basah berkisar 9,82 – 10,6 Ohm, pada elektroda plat ukuran 0,25 x 0,25 meter² didapat nilai tahanan untuk tanah kering berkisar antara 14,33 – 14,93 Ohm, untuk tanah lembab berkisar 10,94 – 11,13 Ohm, untuk tanah basah berkisar 10,87 – 12,67 Ohm.

Pada pengembangan alat penangkal petir eksternal ini juga di paralelkan dengan 2 buah elektroda batang yang diberi kode R₁₁ dan R₁₂. Untuk R₁₁ diperoleh nilai tahanan untuk tanah basah berkisar 2,2 – 3,86 Ohm, Untuk tanah lembab berkisar 2,10 – 2,80 Ohm dan untuk tanah kering berkisar 2,20 – 3,30 Ohm, pada R₁₂ diperoleh nilai tahanan untuk tanah basah berkisar 4,98 – 6,37 Ohm, Untuk tanah lembab berkisar 5,30 – 6,79 Ohm dan untuk tanah kering berkisar 6,52 – 6,98 Ohm.

Dari data yang telah ada terlihat perbedaan nilai pengukuran yang diperoleh antara R_{11} dan R_{12} pada setiap kondisi tanah, hal ini dikarenakan terdapatnya gangguan pada R_{12} sehingga nilai tahanan yang didapat lebih besar dibanding R_{11} , namun R_{12} ini tetap dipergunakan untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan total yang sangat kecil.

Berdasarkan pembahasan di atas, perbedaan nilai tahanan pentanahan yang didapatkan pada masing-masing ukuran untuk elektroda batang dan plat berbeda. Untuk elektroda batang dan plat perbedaan nilai didapatkan karena adanya perbedaan panjang dan luas yang dimana ukuran tersebut juga menjadi dasar nilai tahanan yang didapatkan karena semakin panjang atau luas elektroda yang ditanam maka luas penampang yang bersentuhan dengan tanah semakin banyak sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin luas penampang elektroda yang bersentuhan dengan tanah maka semakin kecil nilai tahanan pentanahan yang didapatkan.

Dari hasil pengamatan pun ditemukan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sistem pentanahan yang senantiasa dapat menentukan baik tidaknya sistem pentanahan. Faktor – faktor tersebut antara lain : perubahan iklim, kandungan air dan zat elektrolit yang didalamnya terdapat mineral-mineral dan garam-garam.

Dari hasil data yang diperoleh terdapat perbedaan nilai hasil yang diperoleh antara hasil pengukuran yang sebenarnya dengan hasil perhitungan secara teoritis, perbedaan yang diperoleh tidak terlalu signifikan, masih dalam batas toleransi. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kenapa perbedaan nilai yang diperoleh bisa terjadi, diantaranya keadaan sambungan pada saat pemasangan elektroda dengan

kabel penghantar, sambungannya kurang rapat, atau sudah mengalami korosi karena sambungan ini berada di dalam tanah. Kemudian bisa juga alat ukur yang digunakan pada saat pengambilan data sudah tidak dapat membaca hasil pengukuran secara benar dan tepat.

Metode – metode Pentanahan yang Baik :

Metode yang paling sederhana dan biasa digunakan adalah metode merger tanah, metode ini menggunakan elektroda tanah (batang pasak).

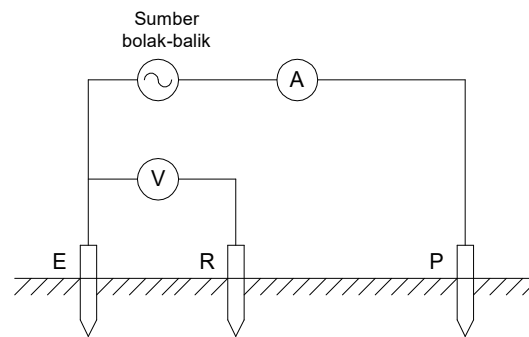
Metode merger menjelaskan bahwa elektroda tanah dari pasak E yang ditanam, dan diandaikan ada potensial antara pasak E dan pasak R yang ditanam pada jarak tertentu . Arus yang mengalir diukur dengan amperemeter, pada potensial antara pasak E dengan pasak P akan terukur oleh voltmeter. Menurut hukum Ohm, beda potensial ini berbanding lurus dengan tahanan-tahanan yang dirumuskan dengan :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana : V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)



Gambar 4. Metode Merger Tanah

Berdasarkan pada waktu pengambilan data kondisi tanah bermacam-macam yang merupakan salah satu factor yang menjadikan data hasil pengukuran berbeda-beda.

Di bawah ini dijelaskan keterangan tentang keadaan tanah tersebut:

- Keadaan tanah kering : 1. Warnanya coklat kemerah-merahan.
2. Temperaturnya 29°C (kondisi cerah).
- Keadaan tanah basah : 1. Warnanya coklat kehitam-hitaman.
2. Temperaturnya 20°C- 25°C.
3. Terdapat genangan air (kondisi hujan).
- Keadaan tanah lembab : 1. Warnanya coklat kekuningan.
2. Temperaturnya 25°C- 28°C.
3. Kondisi berawan (setelah/sebelum hujan).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

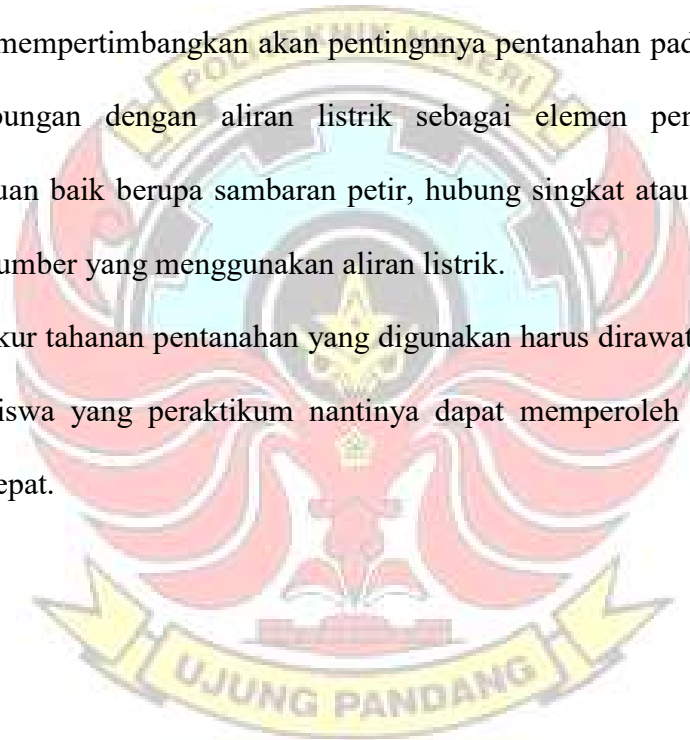
Setelah melakukan Pengembangan terhadap penangkal petir yang sudah ada dengan menambahkan penangkal petir internal dan memaksimalkan alat yang sudah ada, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Sistem penangkal petir yang ada di Laboratorium dapat dikembangkan dengan membaginya menjadi 2 yaitu *Penangkal Petir Internal* dan *Penangkal Petir Eksternal*.
- 2) Kondisi tanah dan tahanan tanah yang ada disekitar Laboratorium Basah dan lembab dan rata-rata tahanan tanah pada elektroda Batang bernilai 1,55 – 2,62 Ohm, sedangkan untuk elektroda plat, R_{11} dan R_{12} rata-rata tahanan tanahnya bernilai 1,55 – 2,45 Ohm.
- 3) Jenis Arrester yang digunakan Tipe OBV1-C40 yang sudah mengikuti standar internasional IEC 61643-1 dan GB18802.1 dimana kemampuan kerjanya yaitu mampu mengamankan peralatan sampai tegangan 2,2 kV dan arus maksimum sampai 40 kA dengan respon alat <25 ns, dan digunakan untuk mengamankan sistem jaringan tegangan listrik pada laboratorium konversi energi dari sambaran petir secara tidak langsung.
- 4) Pada penangkal petir eksternal ditambahkan Lightning counter untuk mengetahui berapa kali sistem penangkal petir ini mendapat sambaran petir.

- 5) Sistem pentanahan yang digunakan adalah sistem grid yakni dengan cara menyambungkan secara paralel macam-macam ukuran elektroda untuk mendapatkan nilai tahanan terkecil.

B. Saran

1. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini maka disarankan supaya dapat mempertimbangkan akan pentingnya pentanahan pada semua hal yang berhubungan dengan aliran listrik sebagai elemen pengaman jika ada gangguan baik berupa sambaran petir, hubung singkat atau kerusakan isolasi pada sumber yang menggunakan aliran listrik.
2. Alat ukur tahanan pentanahan yang digunakan harus dirawat dengan baik agar mahasiswa yang peraktikum nantinya dapat memperoleh hasil pengukuran yang tepat.



DAFTAR PUSTAKA

Darwanto, Djoko, 1995. *Sistem Proteksi Petir dan Sistem Penangkal Petir*, PT. Tritech Consult'.

Garniwa, Iwa, 2003, *Dasar Perencanaan Instalasi Penangkal Petir*, Jurusan Elektro FTUI.

IEEE, 1995 *Application Guide for Surge Protection of Electric Generating Plants* dalam IEEE Std C62.23.

S.T Sirait. 1996. *Teknik Tegangan Tinggi*. Bandung.

Zoro, Reynald. 2009. *Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah*. Bandung.

<http://elektroindonesia.com/elektro/energi.html>/rabu 1 september 2010/23.00 WITA

http://digilib.petra.ac.id/viewer.php?page=3&submit.x=29&submit.y=19&submit=next&qual=high&submitval=next&fname=%2Fjünkpe%2Fs1%2Felkt%2F2003%2Fjünkpe-ns-s1-2003-23497091-1336-efek_petir-chapter2.pdf/kamis 2 september 2010 / 24.00 WITA.

<http://www.search-docs.com/download-buku-puil-2000.html>/kamis 2 september 2010/ 01.00 WITA.

<http://business.dinomarket.com/ads/757101/Jual-CUAJE-Surge-Arrester/jum>' at 3 september 2010/ 22.00 WITA.

<http://www.gratisiklan.com/electronics/electrics/penangkal-petir.html>/jum' at 3 september 2010/ 22.30 WITA.

Syamsul, Awaluddin. 2009. *Pembuatan Penangkal Petir dengan Menggunakan Sistem Pentanahan Batang dan Plat*, Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ujung Pandang.

LAMPIRAN TABEL

Percobaan I

Tabel 1. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	403	7,28	4,22	3,78	2,22	3,26
2	5	6	403	7,42	4,22	3,6	2,15	2,82
3	6	7	402	7,34	4,35	3,53	2,03	2,8
4	7	8	400	7,35	4,28	3,5	2	2,84
5	8	9	402	7,37	4,26	4,39	1,98	2,89

Tabel 2. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	403	7,28	4,22	3,78	2,22	330,99	6,57	4,04	3,77	2,31
2.	5	6	403	7,42	4,22	3,6	2,15	330,99	6,70	4,04	3,59	2,24
3.	6	7	402	7,34	4,35	3,53	2,03	330,17	6,63	4,16	3,52	2,12
4.	7	8	400	7,35	4,28	3,5	2	328,53	6,63	4,09	3,49	2,08
5.	8	9	402	7,37	4,26	4,39	1,98	330,17	6,65	4,07	4,37	2,06

Tabel 3. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,26	0,92
2.	5	6	2,82	0,90
3.	6	7	2,8	0,87
4.	7	8	2,84	0,86
5.	8	9	2,89	0,90

Tabel 4. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt).

No.	Terminal		Ukuran Plat (m^2)					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,72	6,97	16,29	11,84	11,5	4.1
2.	5	6	5,72	7,12	9,57	10,1	11,38	4.0
3.	6	7	5,71	7,15	9,21	9,85	11,19	4.2
4.	7	8	5,88	7,19	9,09	9,79	11,16	3.87
5.	8	9	5,88	7,22	9,02	9,7	11,25	4.06

Tabel 5. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,72	6,97	16,29	11,84	11,5	2,94	3,58	8,38	6,09	5,91
2.	5	6	5,72	7,12	9,57	10,1	11,38	2,94	3,66	4,92	5,19	5,85
3.	6	7	5,71	7,15	9,21	9,85	11,19	2,94	3,68	4,74	5,07	5,75
4.	7	8	5,88	7,19	9,09	9,79	11,16	3,02	3,70	4,67	5,03	5,74
5.	8	9	5,88	7,22	9,02	9,7	11,25	3,02	3,71	4,64	4,99	5,79

Tabel 6. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	4.1	1,81
2.	5	6	4.0	1,65
3.	6	7	4.2	1,63
4.	7	8	3.87	1,64
5.	8	9	4.06	1,64

Percobaan II

Tabel 7. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	281	7,16	3,48	3,26	2,22	3,1
2	5	6	233	7,08	3,35	3,1	2,07	3,09
3	6	7	269	7,05	3,28	3,07	2,04	3,07
4	7	8	333	7,04	3,25	3,05	2,02	3,02
5	8	9	209	7,09	3,24	3,11	1,96	2,56

Tabel 8. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	281	7,16	3,48	3,26	2,22	230,79	6,46	3,33	3,25	2,31
2.	5	6	233	7,08	3,35	3,1	2,07	191,37	6,39	3,20	3,09	2,16
3.	6	7	269	7,05	3,28	3,07	2,04	220,94	6,36	3,14	3,06	2,13
4.	7	8	333	7,04	3,25	3,05	2,02	273,50	6,35	3,11	3,04	2,10
5.	8	9	209	7,09	3,24	3,11	1,96	171,66	6,40	3,10	3,10	2,04

Tabel 9. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,1	0,84
2.	5	6	3,09	0,80
3.	6	7	3,07	0,79
4.	7	8	3,02	0,78
5.	8	9	2,56	0,78

Tabel 10. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,23	6,32	9,12	10,25	11,09	4,33
2.	5	6	5,28	6,54	9,28	10,46	11,38	4,34
3.	6	7	5,28	6,58	9,25	10,49	11,49	4,37
4.	7	8	5,27	6,55	9,24	10,52	11,51	4,34
5.	8	9	5,22	6,59	9,26	10,55	11,55	4,27

Tabel 11. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,23	6,32	9,12	10,25	11,09	2,69	3,25	4,69	5,27	5,70
2.	5	6	5,28	6,54	9,28	10,46	11,38	2,72	3,36	4,77	5,38	5,85
3.	6	7	5,28	6,58	9,25	10,49	11,49	2,72	3,38	4,76	5,39	5,91
4.	7	8	5,27	6,55	9,24	10,52	11,51	2,71	3,37	4,75	5,41	5,92
5.	8	9	5,22	6,59	9,26	10,55	11,55	2,68	3,39	4,76	5,43	5,94

Tabel 12. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	4,33	1,55
2.	5	6	4,34	1,58
3.	6	7	4,37	1,58
4.	7	8	4,34	1,58
5.	8	9	4,27	1,58

Percobaan III

Tabel 13. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	381,1	7,1	4,41	3,29	2,17	2,55
2	5	6	378,4	7,28	4,5	3,33	2,11	2,35
3	6	7	378,3	7,48	4,48	3,47	2,09	2,61
4	7	8	378,2	7,51	4,58	3,23	2,06	2,7
5	8	9	378,2	7,54	4,62	3,44	2,01	2,25

Tabel 14. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	381,1	7,1	4,41	3,29	2,17	313,01	6,41	4,22	3,28	2,26
2.	5	6	378,4	7,28	4,5	3,33	2,11	310,79	6,57	4,30	3,32	2,20
3.	6	7	378,3	7,48	4,48	3,47	2,09	310,71	6,75	4,28	3,46	2,18
4.	7	8	378,2	7,51	4,58	3,23	2,06	310,62	6,78	4,38	3,22	2,15
5.	8	9	378,2	7,54	4,62	3,44	2,01	310,62	6,81	4,42	3,43	2,09

Tabel 15. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,55	0,88
2.	5	6	2,35	0,88
3.	6	7	2,61	0,89
4.	7	8	2,7	0,87
5.	8	9	2,25	0,88

Tabel 16. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,25	6,64	9,06	10,48	11,78	3,98
2.	5	6	5,4	6,85	9,34	10,64	12,03	4,06
3.	6	7	5,53	6,93	9,36	10,69	12,05	4,05
4.	7	8	5,54	6,9	9,4	10,73	12,2	4,03
5.	8	9	5,59	6,93	9,41	10,73	12,23	4,07

Tabel 17. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,25	6,64	9,06	10,48	11,78	2,70	3,41	4,66	5,39	6,06
2.	5	6	5,4	6,85	9,34	10,64	12,03	2,78	3,52	4,80	5,47	6,19
3.	6	7	5,53	6,93	9,36	10,69	12,05	2,84	3,56	4,81	5,50	6,20
4.	7	8	5,54	6,9	9,4	10,73	12,2	2,85	3,55	4,83	5,52	6,27
5.	8	9	5,59	6,93	9,41	10,73	12,23	2,87	3,56	4,84	5,52	6,29

Tabel 18. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	1,58
2.	5	6	4,06	1,63
3.	6	7	4,05	1,64
4.	7	8	4,03	1,65
5.	8	9	4,07	1,65

Percobaan IV

Tabel 19. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	399,9	7,1	3,9	3,1	2,31	3,98
2	5	6	402	7,1	3,9	3,2	2,9	3,92
3	6	7	401	7,2	4,2	3,2	2,5	3,93
4	7	8	402	7,3	4,2	3,2	2,4	3,93
5	8	9	402	7,2	4,2	3,2	2,5	3,97

Tabel 20. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	399,9	7,1	3,9	3,1	2,31	328,45	6,41	3,73	3,09	2,41
2.	5	6	402	7,1	3,9	3,2	2,9	330,17	6,41	3,73	3,19	3,02
3.	6	7	401	7,2	4,2	3,2	2,5	329,35	6,50	4,02	3,19	2,61
4.	7	8	402	7,3	4,2	3,2	2,4	330,17	6,59	4,02	3,19	2,50
5.	8	9	402	7,2	4,2	3,2	2,5	330,17	6,50	4,02	3,19	2,61

Tabel 21. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	0,87
2.	5	6	3,92	0,95
3.	6	7	3,93	0,92
4.	7	8	3,93	0,90
5.	8	9	3,97	0,92

Tabel 22. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Plat dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	6,56	6,82	9,57	10,78	12,65	1,89
2.	5	6	6,25	7,45	9,32	10,71	12,21	1,91
3.	6	7	5,99	7,52	9,45	10,58	12,25	1,79
4.	7	8	5,82	7,42	9,41	10,5	12,01	1,78
5.	8	9	5,77	7,34	9,44	10,42	12	2,07

Tabel 23. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	6,56	6,82	9,57	10,78	12,65	3,37	3,51	4,92	5,54	6,51
2.	5	6	6,25	7,45	9,32	10,71	12,21	3,21	3,83	4,79	5,51	6,28
3.	6	7	5,99	7,52	9,45	10,58	12,25	3,08	3,87	4,86	5,44	6,30
4.	7	8	5,82	7,42	9,41	10,5	12,01	2,99	3,82	4,84	5,40	6,18
5.	8	9	5,77	7,34	9,44	10,42	12	2,97	3,77	4,85	5,36	6,17

Tabel 24. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,89	1,74
2.	5	6	1,91	1,73
3.	6	7	1,79	1,72
4.	7	8	1,78	1,69
5.	8	9	2,07	1,68

Percobaan V

Tabel 25. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	180,6	10,6	9,2	7	6,2	3,98
2	5	6	180,3	10,9	9,3	7,1	6,2	3,92
3	6	7	184	11,2	9,5	7,2	6,3	3,93
4	7	8	184,7	11,7	10	7,7	6,8	3,93
5	8	9	185	13,5	11,4	9	8,1	3,97

Tabel 26. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	180,6	10,6	9,2	7	6,2	148,33	9,57	8,80	6,97	6,46
2.	5	6	180,3	10,9	9,3	7,1	6,2	148,08	9,84	8,89	7,07	6,46
3.	6	7	184	11,2	9,5	7,2	6,3	151,12	10,11	9,08	7,17	6,57
4.	7	8	184,7	11,7	10	7,7	6,8	151,70	10,56	9,56	7,67	7,09
5.	8	9	185	13,5	11,4	9	8,1	151,94	12,19	10,90	8,97	8,44

Tabel 27. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	1,95
2.	5	6	3,92	1,97
3.	6	7	3,93	2,01
4.	7	8	3,93	2,14
5.	8	9	3,97	2,49

Tabel 28. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Plat dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,6	6,9	9,1	10,1	11,6	1,89
2.	5	6	5,8	7,2	9,3	10,3	11,9	1,91
3.	6	7	6	7,3	9,3	10,4	12	1,79
4.	7	8	6,2	7,4	9,4	10,7	12,4	1,78
5.	8	9	6,2	7,4	9,6	10,7	12,5	2,07

Tabel 29. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,6	6,9	9,1	10,1	11,6	2,88	3,55	4,68	5,19	5,97
2.	5	6	5,8	7,2	9,3	10,3	11,9	2,98	3,70	4,78	5,30	6,12
3.	6	7	6	7,3	9,3	10,4	12	3,09	3,75	4,78	5,35	6,17
4.	7	8	6,2	7,4	9,4	10,7	12,4	3,19	3,81	4,83	5,50	6,38
5.	8	9	6,2	7,4	9,6	10,7	12,5	3,19	3,81	4,94	5,50	6,43

Tabel 30. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,89	1,62
2.	5	6	1,91	1,67
3.	6	7	1,79	1,69
4.	7	8	1,78	1,73
5.	8	9	2,07	1,74

Percobaan VI

Tabel 31. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	208	7,6	5,4	3,7	2,5	3,98
2	5	6	208,4	8,3	5,9	3,8	2,6	3,92
3	6	7	177,4	8,6	6	3,9	2,7	3,93
4	7	8	208,1	8	6,1	3,9	2,8	3,93
5	8	9	208	8	6,3	4	2,8	3,97

Tabel 32. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	208	7,6	5,4	3,7	2,5	170,84	6,86	5,16	3,69	2,61
2.	5	6	208,4	8,3	5,9	3,8	2,6	171,16	7,49	5,64	3,79	2,71
3.	6	7	177,4	8,6	6	3,9	2,7	145,70	7,76	5,74	3,89	2,81
4.	7	8	208,1	8	6,1	3,9	2,8	170,92	7,22	5,83	3,89	2,92
5.	8	9	208	8	6,3	4	2,8	170,84	7,22	6,02	3,99	2,92

Tabel 33. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	1,01
2.	5	6	3,92	1,06
3.	6	7	3,93	1,09
4.	7	8	3,93	1,10
5.	8	9	3,97	1,12

Tabel 34. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,4	7,3	8,2	8,8	10,9	1,89
2.	5	6	5,6	7	8,5	9,4	11	1,91
3.	6	7	5,8	7,1	8,9	9,6	11,2	1,79
4.	7	8	5,8	7,1	8,9	9,8	11,3	1,78
5.	8	9	5,9	7,1	9,2	10	11,4	2,07

Tabel 35. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,4	7,3	8,2	8,8	10,9	2,78	3,75	4,22	4,53	5,61
2.	5	6	5,6	7	8,5	9,4	11	2,88	3,60	4,37	4,83	5,66
3.	6	7	5,8	7,1	8,9	9,6	11,2	2,98	3,65	4,58	4,94	5,76
4.	7	8	5,8	7,1	8,9	9,8	11,3	2,98	3,65	4,58	5,04	5,81
5.	8	9	5,9	7,1	9,2	10	11,4	3,03	3,65	4,73	5,14	5,86

Tabel 36. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,89	1,54
2.	5	6	1,91	1,57
3.	6	7	1,79	1,62
4.	7	8	1,78	1,62
5.	8	9	2,07	1,65

Percobaan VII

Tabel 37. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	204	7,1	5,3	3,2	2,5	3,98
2	5	6	204,2	7,1	5,1	3,2	2,5	3,92
3	6	7	204,3	7,1	5,1	3,2	2,4	3,93
4	7	8	204,3	7,1	5,1	3,2	2,4	3,93
5	8	9	2043	7,1	5,1	3,2	2,4	3,97

Tabel 38. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	204	7,1	5,3	3,2	2,5	167,55	6,41	5,07	3,19	2,61
2.	5	6	204,2	7,1	5,1	3,2	2,5	167,71	6,41	4,88	3,19	2,61
3.	6	7	204,3	7,1	5,1	3,2	2,4	167,80	6,41	4,88	3,19	2,50
4.	7	8	204,3	7,1	5,1	3,2	2,4	167,80	6,41	4,88	3,19	2,50
5.	8	9	2043	7,1	5,1	3,2	2,4	1677,96	6,41	4,88	3,19	2,50

Tabel 39. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	0,96
2.	5	6	3,92	0,95
3.	6	7	3,93	0,93
4.	7	8	3,93	0,93
5.	8	9	3,97	0,94

Tabel 40. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,1	6,1	8,4	8,8	11,2	1,89
2.	5	6	5,3	6,3	8,4	9	11,1	1,91
3.	6	7	5,3	6,3	8,4	9	11,2	1,79
4.	7	8	5,4	6,3	8,3	9	11,1	1,78
5.	8	9	5,3	6,3	8,4	9	11,2	2,07

Tabel 41. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,1	6,1	8,4	8,8	11,2	2,62	3,14	4,32	4,53	5,76
2.	5	6	5,3	6,3	8,4	9	11,1	2,73	3,24	4,32	4,63	5,71
3.	6	7	5,3	6,3	8,4	9	11,2	2,73	3,24	4,32	4,63	5,76
4.	7	8	5,4	6,3	8,3	9	11,1	2,78	3,24	4,27	4,63	5,71
5.	8	9	5,3	6,3	8,4	9	11,2	2,73	3,24	4,32	4,63	5,76

Tabel 42. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,89	1,47
2.	5	6	1,91	1,50
3.	6	7	1,79	1,50
4.	7	8	1,78	1,50
5.	8	9	2,07	1,50

Percobaan VIII

Tabel 43. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	180,6	10,6	9,2	7	7	3,98
2	5	6	180,3	10,9	9,3	7,1	7,1	3,92
3	6	7	184	11,2	9,5	7,2	7,2	3,93
4	7	8	184,7	11,7	10	7,7	7,7	3,93
5	8	9	185	13,5	11,4	9	9	3,97

Tabel 44. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	180,6	10,6	9,2	7	7	148,33	9,57	8,80	6,97	7,29
2.	5	6	180,3	10,9	9,3	7,1	7,1	148,08	9,84	8,89	7,07	7,40
3.	6	7	184	11,2	9,5	7,2	7,2	151,12	10,11	9,08	7,17	7,50
4.	7	8	184,7	11,7	10	7,7	7,7	151,70	10,56	9,56	7,67	8,02
5.	8	9	185	13,5	11,4	9	9	151,94	12,19	10,90	8,97	9,38

Tabel 45. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	2,02
2.	5	6	3,92	2,06
3.	6	7	3,93	2,09
4.	7	8	3,93	2,22
5.	8	9	3,97	2,57

Tabel 46. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,6	6,9	9,1	10,1	11,6	1,89
2.	5	6	5,8	7,2	9,3	10,3	11,9	1,91
3.	6	7	6	7,3	9,3	10,4	12	1,79
4.	7	8	6,2	7,4	9,4	10,7	12,4	1,78
5.	8	9	6,2	7,4	9,6	10,7	12,5	2,07

Tabel 47. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,6	6,9	9,1	10,1	11,6	2,88	3,55	4,68	5,19	5,97
2.	5	6	5,8	7,2	9,3	10,3	11,9	2,98	3,70	4,78	5,30	6,12
3.	6	7	6	7,3	9,3	10,4	12	3,09	3,75	4,78	5,35	6,17
4.	7	8	6,2	7,4	9,4	10,7	12,4	3,19	3,81	4,83	5,50	6,38
5.	8	9	6,2	7,4	9,6	10,7	12,5	3,19	3,81	4,94	5,50	6,43

Tabel 48. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,89	1,62
2.	5	6	1,91	1,67
3.	6	7	1,79	1,69
4.	7	8	1,78	1,73
5.	8	9	2,07	1,74

Percobaan IX

Tabel 49. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	120,1	7	6,3	3	2,2	3,98
2	5	6	120,5	7	6	3	2,2	3,92
3	6	7	120,5	7,1	6,4	3,1	2,4	3,93
4	7	8	120,1	7,2	6,6	3,2	2,3	3,93
5	8	9	120,3	7,2	6,17	3,4	2,5	3,97

Tabel 50. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	120,1	7	6,3	3	2,2	98,64	6,32	6,02	2,99	2,29
2.	5	6	120,5	7	6	3	2,2	98,97	6,32	5,74	2,99	2,29
3.	6	7	120,5	7,1	6,4	3,1	2,4	98,97	6,41	6,12	3,09	2,50
4.	7	8	120,1	7,2	6,6	3,2	2,3	98,64	6,50	6,31	3,19	2,40
5.	8	9	120,3	7,2	6,17	3,4	2,5	98,81	6,50	5,90	3,39	2,61

Tabel 51. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,98	0,91
2.	5	6	3,92	0,90
3.	6	7	3,93	0,96
4.	7	8	3,93	0,96
5.	8	9	3,97	1,00

Tabel 52. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,8	6,9	9	10	11,2	1,89
2.	5	6	5,6	6,9	9,1	10	11,3	1,91
3.	6	7	5,6	6,9	9,5	10,2	11,5	1,79
4.	7	8	5,4	7	9,8	10,1	11,2	1,78
5.	8	9	5,1	7,2	9,3	10,3	11,6	2,07

Tabel 53. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,8	6,9	9	10	11,2	2,98	3,55	4,63	5,14	5,76
2.	5	6	5,6	6,9	9,1	10	11,3	2,88	3,55	4,68	5,14	5,81
3.	6	7	5,6	6,9	9,5	10,2	11,5	2,88	3,55	4,89	5,25	5,91
4.	7	8	5,4	7	9,8	10,1	11,2	2,78	3,60	5,04	5,19	5,76
5.	8	9	5,1	7,2	9,3	10,3	11,6	2,62	3,70	4,78	5,30	5,97

Tabel 54. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,04	1,62
2.	5	6	2,22	1,61
3.	6	7	2,33	1,63
4.	7	8	2,28	1,62
5.	8	9	2,24	1,60

Percobaan X

Tabel 55. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	176,6	6,72	3,96	3,61	2,17	1,9
2	5	6	176,5	6,91	4,01	3,39	2,34	1,98
3	6	7	176,9	7,35	4,25	3,39	2,38	2,05
4	7	8	176,9	7,39	4,31	3,38	2,42	2,01
5	8	9	176,9	7,44	4,43	3,37	2,27	1,81

Tabel 56. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	176,6	6,72	3,96	3,61	2,17	145,05	6,07	3,79	3,60	2,26
2.	5	6	176,5	6,91	4,01	3,39	2,34	144,96	6,24	3,83	3,38	2,44
3.	6	7	176,9	7,35	4,25	3,39	2,38	145,29	6,63	4,06	3,38	2,48
4.	7	8	176,9	7,39	4,31	3,38	2,42	145,29	6,67	4,12	3,37	2,52
5.	8	9	176,9	7,44	4,43	3,37	2,27	145,29	6,72	4,24	3,36	2,37

Tabel 57. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	1,9	0,87
2.	5	6	1,98	0,89
3.	6	7	2,05	0,92
4.	7	8	2,01	0,92
5.	8	9	1,81	0,91

Tabel 58. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	4,93	6,21	8,74	10,04	11,8	3,25
2.	5	6	5,27	6,66	9,21	10,56	12,9	3,73
3.	6	7	5,38	6,9	9,46	10,76	12,27	3,87
4.	7	8	5,44	6,88	9,47	10,76	12,37	3,99
5.	8	9	5,58	6,93	9,48	10,92	12,55	4,23

Tabel 59. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	4,93	6,21	8,74	10,04	11,8	2,54	3,19	4,49	5,16	6,07
2.	5	6	5,27	6,66	9,21	10,56	12,9	2,71	3,43	4,74	5,43	6,63
3.	6	7	5,38	6,9	9,46	10,76	12,27	2,77	3,55	4,87	5,53	6,31
4.	7	8	5,44	6,88	9,47	10,76	12,37	2,80	3,54	4,87	5,53	6,36
5.	8	9	5,58	6,93	9,48	10,92	12,55	2,87	3,56	4,88	5,62	6,45

Tabel 60. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,25	1,51
2.	5	6	3,73	1,61
3.	6	7	3,87	1,64
4.	7	8	3,99	1,64
5.	8	9	4,23	1,67

Percobaan XI

Tabel 61. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Batang pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Kedalaman (m)					Paralel
	E-P	P-C	3 (m)	5 (m)	7 (m)	9 (m)	12 (m)	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1	4	5	2211	6,92	3,71	2,92	2,6	2,17
2	5	6	2228	6,97	3,73	3,08	2,14	2,04
3	6	7	419	6,86	3,97	3,06	1,92	1,93
4	7	8	2252	7,01	3,99	2,99	1,92	1,98
5	8	9	2262	6,84	3,95	3,01	1,9	1,96

Tabel 62. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			3	5	7	9	12	3	5	7	9	12
1.	4	5	2211	6,92	3,71	2,92	2,6	1815,95	6,25	3,55	2,91	2,71
2.	5	6	2228	6,97	3,73	3,08	2,14	1829,91	6,29	3,57	3,07	2,23
3.	6	7	419	6,86	3,97	3,06	1,92	344,13	6,19	3,80	3,05	2,00
4.	7	8	2252	7,01	3,99	2,99	1,92	1849,62	6,33	3,82	2,98	2,00
5.	8	9	2262	6,84	3,95	3,01	1,9	1857,83	6,17	3,78	3,00	1,98

Tabel 63. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Batang dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	2,17	0,88
2.	5	6	2,04	0,83
3.	6	7	1,93	0,80
4.	7	8	1,98	0,80
5.	8	9	1,96	0,79

Tabel 64. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan pada Elektroda Plat pada Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Ukuran Plat					Paralel
	E-P	P-C	1X1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	
			R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)	R (Ω)
1.	4	5	5,32	6,74	8,97	10,11	11,84	3,87
2.	5	6	5,3	6,81	9,19	10,29	11,88	3,97
3.	6	7	5,23	6,8	9,25	10,31	11,86	3,75
4.	7	8	5,34	6,81	9,32	10,33	11,91	3,75
5.	8	9	5,4	6,76	9,34	10,37	11,87	3,73

Tabel 65. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab dengan Tegangan (0,1 Volt)

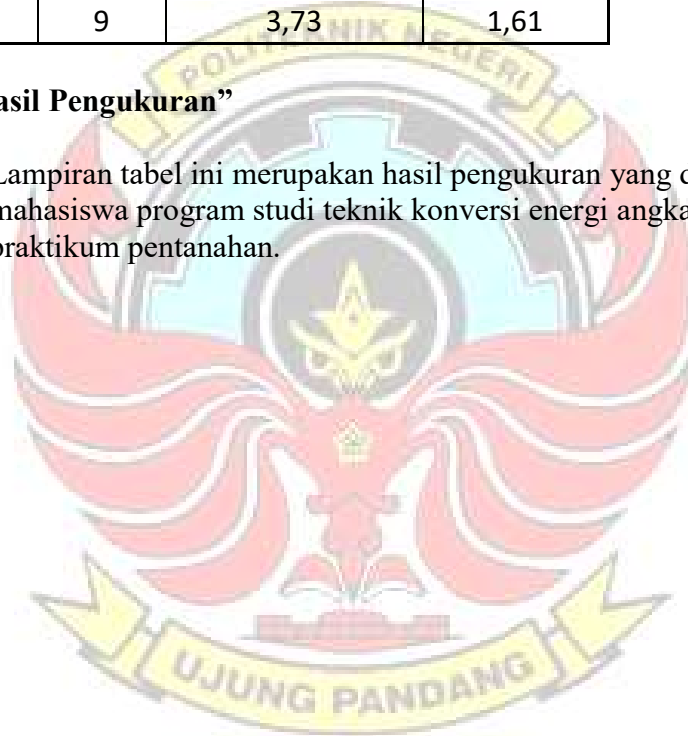
No.	Terminal		Tahanan									
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)					Teoritis (Ω)				
			1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25	1x1	0.75X0.75	0.5X0.5	0.35X0.35	0.25X0.25
1.	4	5	5,32	6,74	8,97	10,11	11,84	2,74	3,47	4,61	5,20	6,09
2.	5	6	5,3	6,81	9,19	10,29	11,88	2,73	3,50	4,73	5,29	6,11
3.	6	7	5,23	6,8	9,25	10,31	11,86	2,69	3,50	4,76	5,30	6,10
4.	7	8	5,34	6,81	9,32	10,33	11,91	2,75	3,50	4,79	5,31	6,13
5.	8	9	5,4	6,76	9,34	10,37	11,87	2,78	3,48	4,80	5,33	6,10

Tabel 66. Data Perbandingan antara Pengukuran Langsung dan Teoritis pada Elektroda Plat dalam Kondisi Lembab secara sistem Grid/Paralel dengan Tegangan (0,1 Volt)

No.	Terminal		Tahanan	
	E-P	P-C	Pengukuran (Ω)	Teoritis (Ω)
1.	4	5	3,87	1,58
2.	5	6	3,97	1,60
3.	6	7	3,75	1,59
4.	7	8	3,75	1,61
5.	8	9	3,73	1,61

Sumber : “Hasil Pengukuran”

Keterangan : Lampiran tabel ini merupakan hasil pengukuran yang dilakukan mahasiswa program studi teknik konversi energi angkatan 2007 pada praktikum pentanahan.



LAMPIRAN FOTO



Lampiran 1. Bahan-bahan yang akan digunakan pada pembuatan penangkal petir



Lampiran 2. Lightning Counter, Arrester dan MCB yang digunakan



Lampiran 3. Gambar kabel jenis BC 50 mm / Kabel Tembaga



Lampiran 4. Gambar kabel jenis NYY / Kabel Tembaga Serabut



Lampiran 5. Gambar kabel jenis NYA / Kabet Koaxial



Lampiran 6. Panel Box yang digunakan pada Penangkal Petir



Lampiran 7. Pembuatan Saluran Penghantar untuk Penangkal Petir Eksternal



Lampiran 8. Proses Pemasukkan Penghantar Tembaga kedalam Pipa



Lampiran 9. Proses penyambungan Penghantar Pentanahan



Lampiran 10. Proses Pemotongan Pipa untuk penghantar



Lampiran 11. Kabel penghantar dirapikan sebelum ditanam ditanah



Lampiran 12. Pipa Penghantar dirapikan sebelum ditanam ditanah



Lampiran 13. Proses penimbungan penghantar Pentanahan kedalam Tanah



Lampiran 14. Proses penimbungan penghantar Pentanahan kedalam Tanah



Lampiran 15 Proses Pembuatan Saluran Penghantar Untuk Penangkal Petir Eksternal



Lampiran 16. Proses Pembuatan Saluran Penghantar Untuk Penangkal Petir Eksternal



Lampiran 17 Proses Pemasangan Isolasi Pada Kabel Tembaga



Lampiran 18. Proses Pemasangan Isolasi Pada Kabel Tembaga



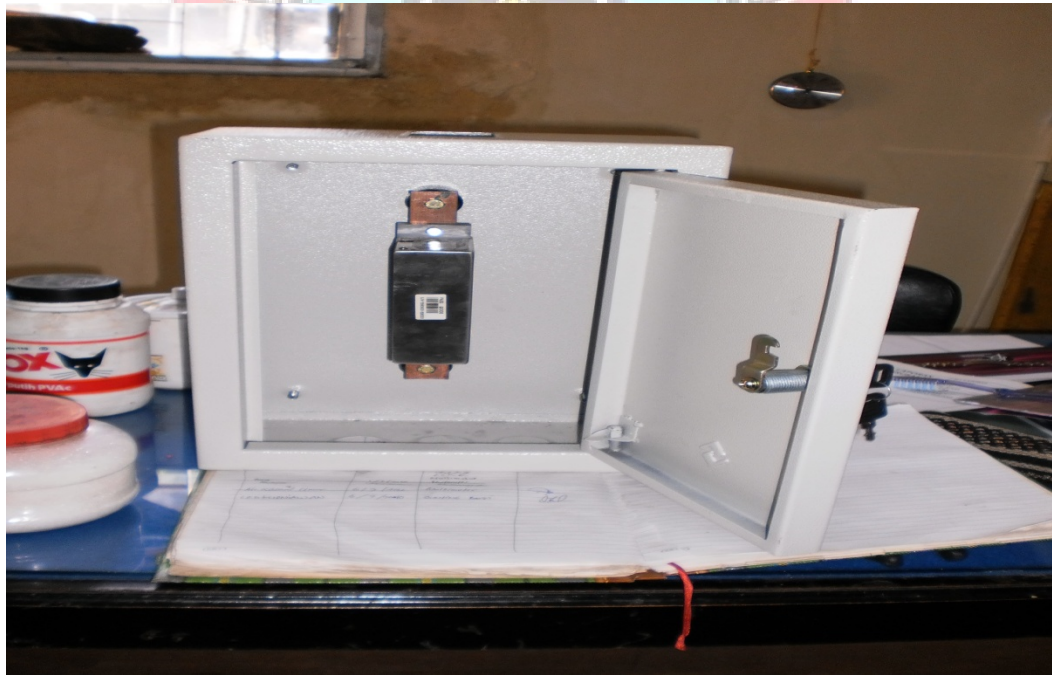
Lampiran 19. Gambar penghantar penangkal petir eksternal



Lampiran 20. Proses pengecoran pipa penghantar



Lampiran 21. Pengukuran untuk pemasangan Box Panel Laightning Counter



Lampiran 22. Box Panel Laightning Counter sebelum dipasang pada tiang/menara



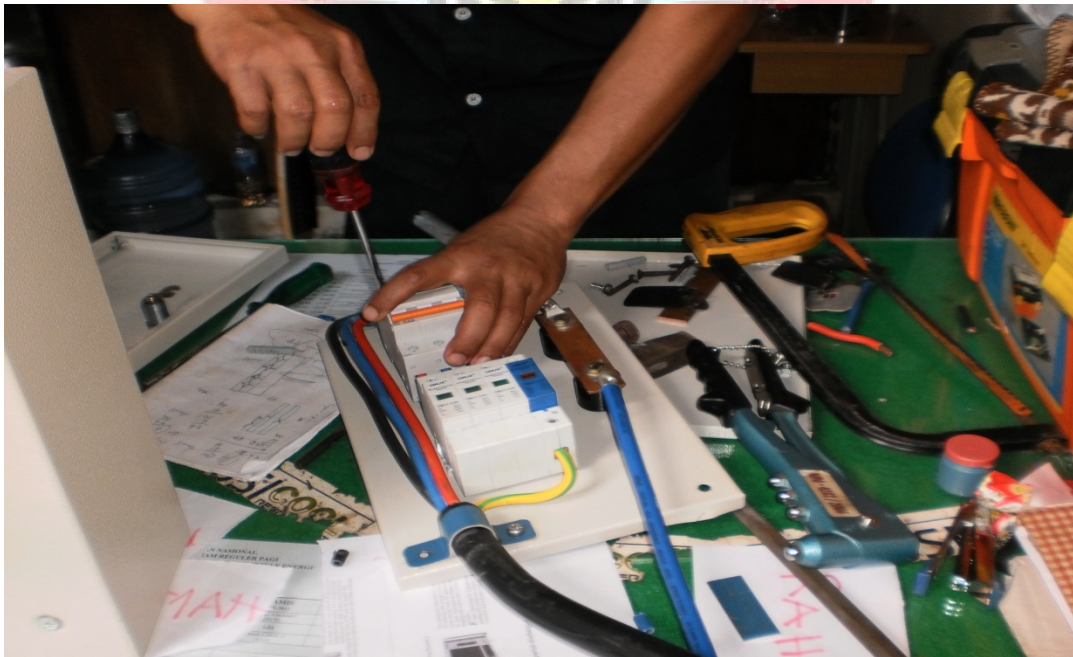
Lampiran 23. Pemasangan Box Panel Laightning Counter dibantu oleh Teknisi



Lampiran 24. Box Panel Laightning Counter setelah terpasang dimenara/tiang



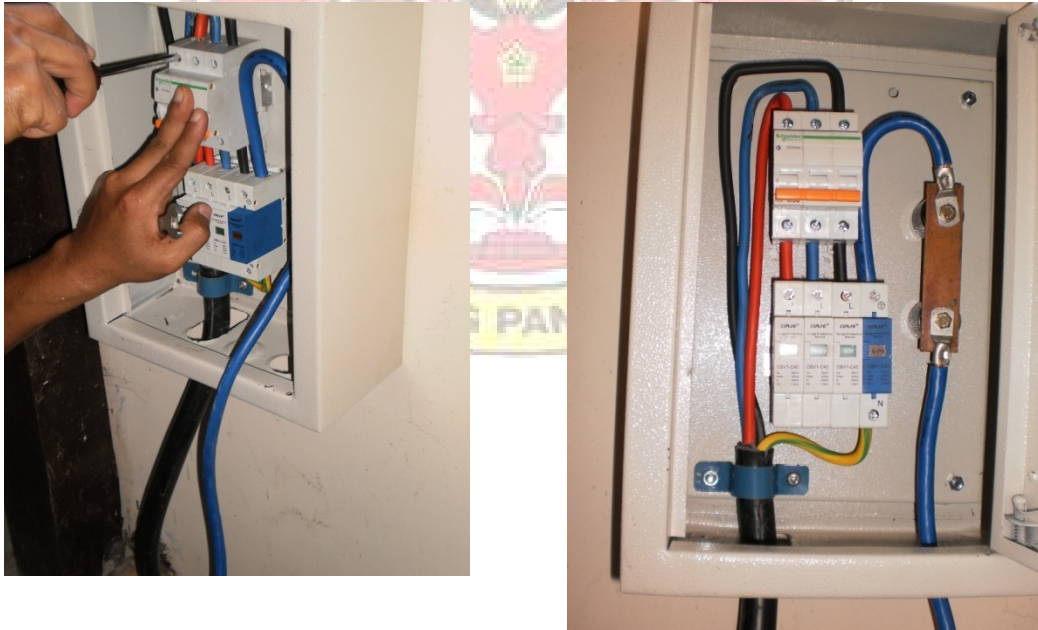
Lampiran 25. Tata Letak Komponen Penangkal Petir Internal Sebelum Dihubungkan



Lampiran 26. Gambar Arrester, MCB 3 Fhasa dan Bar Tembaga saat dihubungkan



Lampiran 27. Pengoboran untu membuat saluran kebel Pentanahan



Lampiran 28. Pemasangan Box Panel Pentanahan Internal



Lampiran 29. Pemasangan Skun Pada Kabel Pentanahan Internal Dibantu Teknisi



Lampiran 30. Pemasangan Skun Pada Kabel Pentanahan Eksternal



Lampiran 31. Nampak seorang mahasiswa membaca alat ukur pentanahan/earthtester



Lampiran 32. Pengukuran jarak E-P dan P-C



Lampiran 33. Proses penyambungan elektroda yang berbeda ukuran (paralel)



Lampiran 34. Proses pemasangan pasak sebagai alat bantu pengukuran



Lampiran 35. Pemasangan titik Earth (E) pada elektroda dari alat ukur.



Lampiran 36. Pengukuran ulang jarak elektroda bantu untuk data berikutnya.



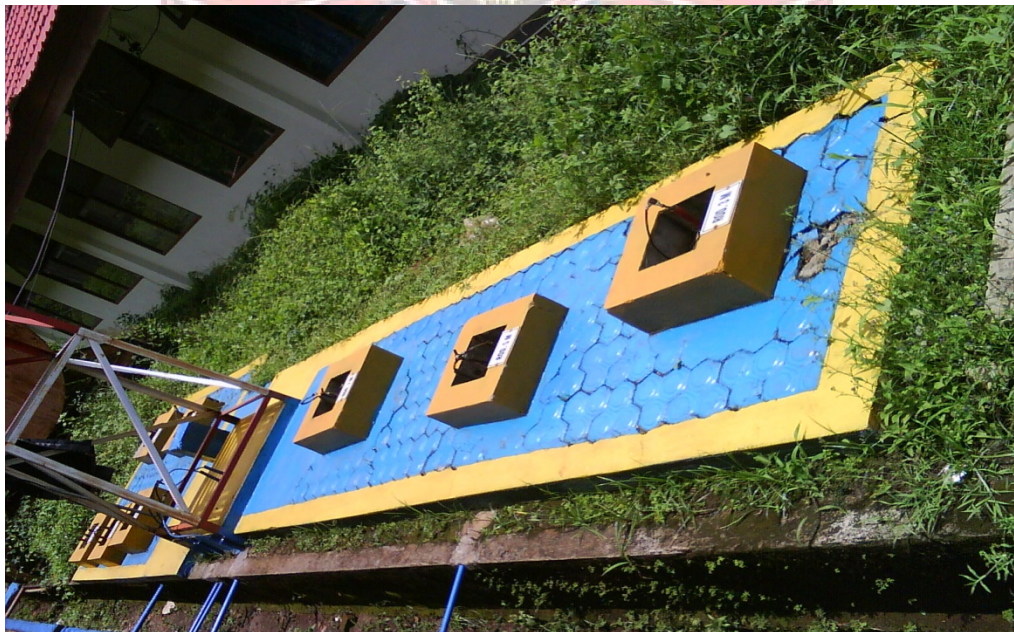
Lampiran 37. Pengamatan nilai tahanan yang didapatkan untuk pengukuran elektroda secara seri.



Lampiran 38. Alat yang digunakan dalam pengambilan data tahanan pentanahan yang dikenal dengan nama Earth tester.



Lampiran 39. Gambar elektroda batang dengan kedalaman 12 meter dan 9 meter



Lampiran 40. Gambar elektroda batang dengan kedalaman 7 meter, 5 meter dan 3 meter.



Lampiran 41. Gambar keseluruhan elektroda plat dengan 5 variasi ukuran luas yang berbeda.



Lampiran 42. Gambar elektroda batang yang digunakan sebagai elektroda tambahan untuk penangkal petir eksternal.



Lampiran 43. Gambar penutup elektroda batang yang digunakan sebagai elektroda tambahan



Lampiran 44. Gambar jalur penghantar elektroda tambahan yang dihubungkan secara paralel.