



**ANALISIS SISTEM PENTANAHAN DI BALAI YASA TEGAL
MENGUNAKAN APLIKASI MATLAB**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh
Saras Dwi Oktora
NIM. 5301412041

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. (QS. Ar Ra'd 13:11).
- Tidak ada kata terlambat untuk perbaikan (H.M.Kodrat Samadikoen)
- Tuntutlah ilmu, tetapi tidak melupakan ibadah, dan kerjakanlah ibadah, tetapi tidak melupakan ilmu (Hasan al-Bashri).
- Orang tidak akan mengingat hari, tetapi yang diingat adalah momen penting dan berkesan.
- Hidup adalah suatu tantangan yang harus dihadapi dan Perjuangan yang harus dimenangkan.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

- Ayah saya Bapak Guntoro Alm. Yang dulu selalu mendoakan, menyemangati dan berusaha untuk memberikan yang terbaik untuk anaknya.
- Ibu saya Ibu Romiatun yang selalu mendoakan saya dan tidak lupa selalu mengingatkan saya untuk terus bimbingan dan terus semangat untuk mengerjakan skripsi
- Kakak saya tersayang, Harum Wahyu Adi Pradana yang selalu memberi dukungan untuk selalu berjuang.
- Pakde Mul, Bude Yet, Mbak Putri dan Mas Zul yang telah memberi doa dan semangat.
- Sahabat seperjuangan yang selalu menemani.
- Teman-teman seperjuangan PTE 2012 UNNES.

ABSTRAK

Oktora, Saras Dwi. 2016. “*Analisis Sistem Pentanahan di Balai Yasa Tegal Menggunakan Aplikasi Matlab*”. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Drs. Said Sunardiyo, M.T., Drs. Agus Suryanto, M.T.

Pada zaman modern listrik termasuk kebutuhan pokok, hampir semua peralatan menggunakan listrik, termasuk di Balai Yasa Tegal. Pemasangan instalasi listrik di Indonesia diatur sesuai Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000). Sistem pentanahan adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga. Sistem pentanahan sangat mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi. Dalam penelitian ini akan membahas analisis sistem pentanahan menggunakan Matlab dan akurasi dari hasil analisis menggunakan Matlab. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui cara menganalisis sistem pentanahan menggunakan Matlab dan mengetahui tingkat akurasi dari hasil analisis menggunakan Matlab.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Teknik pengumpulan data menggunakan observasi, studi pustaka, teknik pengukuran langsung, dan analisis. Pengambilan data dilakukan di tiga lokasi yaitu Fasilitas Kerja, Panel Utama PLN, dan bagian Listrik dan AC.

Hasil analisis di Balai Yasa Tegal setelah menggunakan Matlab yaitu di bagian Fasilitas Kerja $81,4115\Omega$, bagian Panel Utama PLN $32,0751\Omega$, bagian Listrik dan AC $32,0751\Omega$. Hasil perhitungan manual di bagian Fasilitas Kerja $81,305\Omega$, bagian Panel Utama $32,0859\Omega$, dan untuk bagian Listrik dan AC $32,0859\Omega$. Tingkat akurasi antara perhitungan manual dengan perhitungan Matlab yaitu $15,28\%$ dan $5,415\%$.

Analisis sistem pentanahan menggunakan *software* aplikasi Matlab didapatkan nilai resistansi untuk perhitungan menggunakan *software* aplikasi Matlab adalah $81,4115\Omega$ untuk bagian Fasilitas Kerja, $32,0751\Omega$ untuk bagian Panel Utama PLN, dan untuk bagian Listrik dan AC nilai resistansinya adalah $32,0751\Omega$. Sedangkan perhitungan manual adalah $81,305\Omega$ untuk bagian Fasilitas Kerja, $32,0859\Omega$ untuk daerah Panel Utama PLN, dan $32,0859\Omega$ untuk bagian Listrik dan AC. Berdasarkan hasil antara perhitungan manual dan perhitungan Matlab selisihnya hanya $0,1065$ dan $0,0108$. Berdasarkan hasil analisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab, tingkat akurasi untuk perhitungan menggunakan *software* aplikasi Matlab adalah $15,28\%$ dan $5,415\%$. Sedangkan tingkat akurasi untuk perhitungan manual adalah $15,26\%$ dan $5,417\%$. Persentase kriteria nilai resistansi yang ada di Balai Yasa Tegal yaitu 66% standar dan 34% kurang standar untuk nilai resistansi di Balai Yasa Tegal.

Kata Kunci: **Sistem Pentanahan, Balai Yasa Tegal, Matlab, PUIL 2000.**

KATA PENGANTAR

Puji syukur hanya kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahNya penyusunan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun dalam rangka penyelesaian studi Strata 1 untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan. Penulisan Skripsi ini selesai berkat bantuan berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih tersampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Nur Qudus, M. T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi izin dalam penyusunan skripsi.
2. Bapak Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kaprodi Pendidikan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Said Sunardiyo, M.T., dan Bapak Drs. Agus Suryanto, M.T., sebagai dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memberi masukan saran, bimbingan dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Roppiq Lutzfi Azharsebagai Pimpinan UPT. Balai Yasa Tegal yang telah memberi izin penelitian di UPT. Balai Yasa Tegal.
5. Bapak Akhmad Rosidik yang telah membantu dan menemani dalam pengambilan data dari awal hingga selesai.
6. Ibu, Mas Adip, Mbak Putri, Mas Zul, serta keluarga yang selalu menyayangiku, memberi nasihat, memberi semangat dan selalu mengiringi langkahku dengan doa.

7. Mur, Mitha, Debus, Samsul, Kamal, Deny, Tika teman seperjuangan selama sekolah dulu yang selalu menyemangati, menghibur, dan memberikan saran untuk tidak putus asa.
8. Erika, Sutris, Hafid, Riris, Afi Lathifa, Hisman, Ninis, Azizah teman seperjuangan ketika menunggu antrian untuk bimbingan dosen.
9. Riyanti, Zain, Ardian, Toni, Riris, Alif yang sudah membantu dalam proses penelitian.
10. Mbak Ani, Mbak Puji Mbak Unyu, Afi, Farida, Ila, Nia yang sudah mengisi hari-hariku dan meramaikan suasana selama di kos.
11. Ardian Dwi Handoko yang selalu menemani dalam senang maupun susah dan memberi semangat serta memberi doa.
12. Teman-teman PTE 2012 yang sudah membantu selama kuliah dan penyusunan skripsi.
13. Semua pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuannya.

Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan.



Semarang, 5 Juli 2016

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR DIAGRAM.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Batasan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	5
G. Penegasan Istilah	7
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
A. Kajian Teori.....	9
1. Sistem Pentanahan.....	9
2. Pembedaan	9
3. Tujuan Pembedaan.....	14
4. Resistansi Pembedaan.....	15
5. Resistansi Jenis Tanah.....	18
6. Elektroda Pentanahan.....	20
7. Pengukuran Resistansi dan Elektroda Bantu Pembedaan.....	29
a. Pengukuran Resistansi Pembedaan.....	29
b. Elektroda Bantu Pembedaan	33
8. Pengantar Pembedaan	34
9. Matlab.....	37
a. GUI.....	38
b. Mengenal Toolbar.....	39
B. Penelitian Yang Relevan	41
BAB III. METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	43
B. Tempat dan Waktu Penelitian	43
C. Desain Penelitian	44

D. Alat dan Bahan	44
E. Teknik Pengumpulan Data	45
F. Teknik Analisis Data	48
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil.....	51
1. Data Sistem Pentanahan di UPT. Balai Yasa Tegal.....	51
2. Analisis Sistem Pentanahan di UPT. Balai Yasa Tegal	52
3. Tingkat Akurasi Hasil Analisis Sistem Pentanahan di UPT. Balai Yasa Tegal.....	55
B. Pembahasan.....	55
1. Sistem Pentanahan di Balai Yasa Tegal.....	56
2. Akurasi Persentase Kesalahan.....	57
3. Persentase <i>Grounding</i> Semua Lokasi Menurut PUIL 2000.....	58
BAB V. PENUTUP	
A. Simpulan.....	61
B. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Besar dan Lama Tegangan Sentuh.....	12
Tabel 2.2 Tegangan langkah dan waktu pemutusan gangguan maksimum	13
Tabel 2.3 Resistansi pembumian pada resistansi jenis $\rho_1 = 100\Omega/\text{meter}$	18
Tabel 2.4 Resistansi jenis tanah	20
Tabel 2.5 Luas penampang minimum elektroda bumi.....	21
Tabel 2.6 Jarak elektroda bantu menggunakan metoda 62% (ft).....	34
Tabel 2.7 Luas penampang minimum hantaran pembumian	36
Tabel 2.8 Daftar Komponen.....	41
Tabel 3.1 Data yang didapat setelah melakukan pengambilan data.....	48
Tabel 4.1 Jenis dan Ukuran Elektroda	51
Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Berdasarkan Lokasi.....	51
Tabel 4.3 Persentase kriteria berdasarkan standar PUIL 2000	52
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Manual dan Perhitungan Matlab	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elektroda Pita	24
Gambar 2.2 Elektroda Batang	26
Gambar 2.3 Elektroda Pelat	27
Gambar 2.4 Pengukuran resistansi elektroda pentanahan metode 62%	31
Gambar 2.5 Pengukuran metoda normal (metoda 3 kutub)	32
Gambar 2.6 Pengukuran metoda praktis (metoda 2 kutub).....	33
Gambar 2.7 Tampilan awal Matlab.....	38
Gambar 2.8 Kotak Dialog Untuk Halaman GUI.....	39
Gambar 2.9 Toolbar berisi komponen-komponen yang bisa digunakan	40
Gambar 3.1 Pengukuran menggunakan <i>earthtester</i> dan elektroda bantu	46
Gambar 3.2 Guide pada <i>Command Window</i>	49
Gambar 3.3 Pilih OK	49
Gambar 3.4 <i>Edit Text</i> dan <i>Push Button</i>	49
Gambar 3.5 <i>Run</i>	49
Gambar 4.1 Analisis Sistem Pentanahan di Bagian Panel Utama PLN.....	53
Gambar 4.2 Analisis Sistem Pentanahan di Bagian Fasilitas Kerja.....	53
Gambar 4.3 Analisis Sistem Pentanahan di Bagian Listrik dan AC	54



DAFTAR DIAGRAM

Diagram 3.1 Diagram Alir Mekanisme Penelitian	44
Diagram 4.1 Diagram Perbandingan Hasil Manual dan Matlab	57
Diagram 4.1 Persentase Hasil Pengukuran	60



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Script Matlab
- Lampiran 2 Formulir Usulan Topik
- Lampiran 3 Surat usulan dosen pembimbing penulisan skripsi
- Lampiran 4 Surat tugas dosen pembimbing
- Lampiran 5 Surat permohonan izin penelitian
- Lampiran 6 Surat bukti selesai penelitian
- Lampiran 7 Dokumentasi penelitian
- Lampiran 8 Dokumentasi alat penelitian



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang modern seperti sekarang ini listrik termasuk dalam kebutuhan yang harus terpenuhi. Hampir semua peralatan yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari menggunakan energi listrik. Selain bermanfaat bagi kehidupan manusia listrik juga dapat mendatangkan bahaya jika tidak diperhatikan dengan baik dan pemasangannya tidak sesuai aturan. (Hasrul,2010). Pemasangan peralatan yang sudah dialiri arus listrik harus sesuai dengan standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). PUIL merupakan acuan dalam pemasangan instalasi listrik. Tujuan PUIL adalah agar perusahaan instalasi listrik terselenggara dengan baik, untuk menjamin keselamatan manusia dari bahaya kejut listrik, keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya, keamanan gedung serta isinya dari kebakaran akibat listrik, dan perlindungan lingkungan.

Sistem instalasi listrik yang meliputi pengaman, pelindung dan perlengkapan lainnya harus terpelihara dengan baik. Faktor usia pada instalasi akan menyebabkan keausan, penuaan dan pergeseran pengaturan pada instalasi listrik, maka dilakukan pengecekan dan pemeriksaan secara berkala pada instalasi listrik yang sudah lama. Jangka waktu pemeriksaan berkala pada instalasi rumah adalah 5 tahun (PUIL, 2000:451).

Pembumian adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu (PUIL,2000: 11). Sedangkan sistem pentanahan atau biasa disebut grounding adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga. Sistem pentanahan sangat mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi.

Sistem pentanahan dilakukan dengan cara menanamkan batang elektroda pentanahan tegak lurus, kemudian batang elektroda pentanahan itu di tanam kedalam tanah. Resistansi pentanahan yang terpasang dalam tanah semakin lama akan semakin mengalami penurunan kadar pada batang elektroda, sehingga aliran arus yang melalui elektroda yang seharusnya disalurkan ke tanah menjadi kurang sempurna.

Sistem pentanahan yang baik adalah sistem pentanahan yang memiliki resistansi tanah yang kecil. Semakin kecil nilai resistansi dari grounding tersebut maka kualitas grounding semakin baik, karena arus gangguan listrik akan lebih mudah mengalir ke tanah melalui tempat yang memiliki hambatan sekecil mungkin. Nilai standar yang sering dipakai adalah maksimal 5 Ohm dilakukan dengan menggunakan alat ukur *earth tester* dan daerah yang resistansi jenis tanahnya sangat tinggi, resistansi pembumian total seluruh sistem boleh mencapai 10 Ohm (PUIL, 2000: 68).

Perkembangan teknologi sangat berguna untuk memudahkan perhitungan resistansi pentanahan. Kesiapan penggunaan komputer memungkinkan penelitian kembali dilakukan secara terus menerus dalam penampilan sistem tersebut. Komputer digital yang disertai program perhitungan resistansi pentanahan dapat melakukan perhitungan dengan cepat. Dalam penelitian ini akan membahas analisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab. *Software* Matlab ini hanya digunakan untuk proses perhitungan.

Perhitungan resistansi pentanahan secara manual sangat rumit sehingga sebaiknya dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* aplikasi komputer, *software* aplikasi Matlab merupakan salah satu *software* komputer yang digunakan untuk mempermudah perhitungan secara kompleks. Oleh karena itu pada penelitian ini *software* Matlab digunakan untuk perhitungan sistem pentanahan. Fungsi dari Matlab pada analisis ini digunakan untuk mempermudah perhitungan yang ditujukan kepada user atau operator di Balai Yasa Tegal. Keunggulan yang dimiliki oleh Matlab adalah MATLAB sangat handal untuk komputasi yang terkait dengan array atau matriks. Kehandalan ini bisa terlihat mulai dari proses assignment variabel terhadap nilai bertipe array atau matriks yang sederhana, sampai dengan operasi perhitungannya yang cepat. Kesederhanaan dalam proses assignment variabel terhadap nilai bertipe array atau matriks ini disebabkan tidak diperlukannya pendefinisian ukuran (size) array atau matriks pada variabel tersebut. Secara otomatis,

size atau dimensi dari variabel bertipe array ini akan menyesuaikan dengan array yang diassign atau dengan kata lain size untuk variabel bertipe array ini bersifat dinamis. Dengan demikian, tidak perlu pusing memikirkan size variabel yang diperlukan untuk suatu proses perhitungan.

Nilai resistansi di Balai Yasa Tegal sudah tua dan belum dicek kembali. Sedangkan jenis tanah yang terdapat di Balai Yasa Tegal yaitu tanah liat dan pasir batu untuk tanah liat sendiri tekstur tanah memiliki warna coklat dan kehitaman berstruktur maasif dan tekstur klasik, sedangkan untuk pasir batu tekstur tanah berupa bentuk batu yang membulat berupa krakal, kerikil, dan pasir pada satu tempat yang sama masing-masing butir penyusun butir masa sirtu berupa bahan bertekstur porfiritik dan berstruktur masif (Usmanto:2005) untuk perhitungan resistansi masih menggunakan manual sehingga perlu dikenalkan dengan bantuan software Matlab, dan jenis tanah yang terdapat di Balai Yasa Tegal yaitu tanah liat berpasir. Oleh karena itu, peneliti memilih judul “ANALISIS SISTEM PENTANAHAN DI BALAI YASA TEGAL MENGGUNAKAN APLIKASI MATLAB.”

1.2 Identifikasi Permasalahan

Identifikasi masalah dari latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Nilai resistansi pentanahan yang ada di Balai Yasa Tegal masih belum jelas.
2. Usia *grounding* atau pentanahan di Balai Yasa Tegal sudah tua.

3. Jenis tanah yang ada di Balai Yasa Tegal adalah jenis tanah liat berpasir
4. Perhitungan nilai resistansi tanah masih menggunakan hitung manual

1.3 Rumusan Masalah

Sistem pentanahan merupakan hal yang penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik. perencanaan sistem pentanahan yang sangat matang adalah sebagai modal pembangunan suatu sistem kelistrikan. Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas maka dapat ditentukan rumusan permasalahan dalam skripsi ini yaitu :

1. Bagaimana cara menganalisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab?
2. Bagaimana tingkat akurasi dari hasil analisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Jenis tanah yang digunakan hanya pada tanah liat berpasir
2. Pentanahan yang dinilai hanya untuk usia tanah 10 tahun terakhir
3. Tempat yang dianalisis hanya untuk sekitar bagian Fasilitas Kerja, Listrik dan AC, dan Logam yang berada di Balai Yasa Tegal.
4. Jenis *software* yang digunakan adalah Matlab R2013a
5. Penggunaan *software* Matlab R2013a hanya digunakan sebagai perhitungan untuk jenis elektrodanya.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara menganalisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal dengan elektroda batang menggunakan aplikasi Matlab.
2. Mengetahui tingkat akurasi dari hasil analisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal antarahitung manual dan aplikasi Matlab.

1.6 Manfaat Penelitian:

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Manfaat dibidang keilmuan: hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dan acuan dalam penelitian selanjutnya.
2. Manfaat untuk Balai Yasa Tegal: memberi masukan tentang nilai optimal tahanan pentanahan untuk Balai Yasa Tegal.

1.7 Penegasan Istilah

1. Pengertian Analisis

Menurut Wiradi analisis merupakan sebuah aktivitas yang memuat kegiatan memilah, mengurai, membedakan sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokkan menurut kriteria tertentu lalu dicari ditaksir makna dan kaitannya.

Sedangkan menurut KBBI analisis merupakan penyelidikan terhadap sesuatu peristiwa (karangan, perbuatan, dan sebagainya) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya.

2. Pengertian Sistem

Sistem adalah sekumpulan objek-objek yang saling berelasi dan berinteraksi serta hubungan antar objek bisa dilihat sebagai satu

kesatuan yang dirancang untuk mencapai satu tujuan. (Hanif Al Fatta : 2007 : 3)

3. Analisis Sistem

Analisis sistem adalah teknik pemecahan masalah yang menguraikan bagian-bagian komponen dengan mempelajari seberapa bagus bagian-bagian komponen tersebut bekerja dan berinteraksi untuk mencapai tujuan mereka. Analisis sistem merupakan tahapan paling awal dari pengembangan sistem yang harus dibangun. (Hanif Al Hatta : 2007 : 44)

4. Pentanahan atau pembumian

Pembumian adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu (PUIL, 2000 : 11). Pembumian mempunyai hubungan erat dengan perlindungan suatu sistem beserta dengan perlengkapannya.

5. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan suatu sistem yang dimana adanya sambungan antara suatu peralatan listrik atau netral dengan bumi, baik secara langsung maupun melalui impedansi. Pada sistem pentanahan yang sangat penting diperhatikan adalah nilai dari resistansi pentanahan di sekitar elektroda pentanahan dibumikan, karena resistansi pentanahan yang rendah sebagai penunjang sistem pentanahan dimana arus gangguan nantinya dialirkan menuju tanah.

6. Balai Yasa Tegal

Balai Yasa merupakan perusahaan BUMN yang bergerak dibidang perkeretaapian yang fungsinya untuk perbaikan dan perawatan kereta maupun gerbong. Balai Yasa sendiri terdapat di beberapa tempat di Indonesia yaitu Balai Yasa Manggarai yang beroperasi di DAOP 1 Jakarta, Balai Yasa Kiaracondong beroperasi di DAOP 2 Bandung, Balai Yasa Yogyakarta beroperasi di DAOP 6 Jogja, Balai Yasa Surabaya beroperasi di DAOP 8 Surabaya, dan salah satunya bertempat di Tegal beroperasi di DAOP 4 Semarang. Balai Yasa Tegal ini dikhususkan untuk mengerjakan kereta kelas ekonomi, kereta makan, dan kereta pembangkit. Perbaikan dan perawatan total di Balai Yasa Tegal dilakukan selama 2 tahun sekali. Apabila terjadi suatu kecelakaan kereta ekonomi dan memerlukan perbaikan, maka kereta tersebut dibawa ke Balai Yasa Tegal untuk mendapatkan tindakan lanjut. Dalam penelitian ini lokasi yang akan diteliti adalah bagian Fasilitas Kerja, Listrik dan AC, serta bagian Logam.

7. Matlab

Matrix Laboratory atau biasa disebut Matlab yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan Matlab juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan sudah mulai dikenal sejak tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak terlalu membahayakan. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan, dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal (Prih Sumardjati, 2008: 159).

Sistem pentanahan merupakan suatu sistem yang dimana adanya sambungan antara suatu peralatan listrik atau netral dengan bumi, baik secara langsung maupun melalui impedansi. Pada sistem pentanahan yang sangat penting diperhatikan adalah nilai dari resistansi pentanahan di sekitar elektroda pentanahan dibumikan, karena resistansi pentanahan yang rendah sebagai penunjang sistem pentanahan dimana arus gangguan nantiya dialirkan menuju tanah.

2.1.1 Pembumian

Pembumian adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut

cara tertentu (PUIL,2000:11). Pembumian mempunyai hubungan erat dengan perlindungan suatu sistem beserta dengan perlengkapannya.

Terdapat dua jenis pembumian pada sistem tenaga listrik (Media Elektrik, 2010: Volume 5, Nomor 1), yaitu:

1. Pembumian Sistem

Pembumian sistem adalah pembumian pada sistem tenaga listrik ke bumi dengan cara tertentu. Pembumian sistem ini dilakukan pada transformator pada Gardu Induk (GI) dan transformator pada Gardu Distribusi (GD) di saluran distribusi. Umumnya pembumian sistem dilakukan pada titik netral sistem tenaga. Tujuan dari pembumian sistem adalah:

- a. Mengurangi tegangan lebih *transient* yang tinggi yang disebabkan oleh arus gangguan relatif besar ($<5A$).
- b. Membatasi tegangan-tegangan pada fase-fase yang tidak terganggu.

2. Pembumian Peralatan

Pembumian peralatan adalah pembumian bagian konduktif terbuka (BKT) peralatan yang pada waktu normal tidak bertegangan. Secara umum tujuan pembumian peralatan adalah:

- a. Membatasi tegangan antara bagian-bagian yang tidak dilalui arus dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman.
- b. Memperoleh impedansi yang rendah atau kecil dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Sedangkan secara khusus pembumian sistem bertujuan untuk:

- 1) Mencegah terjadinya kejut listrik pada sentuhan tak langsung BKT peralatan akibat bekerjanya gawai arus lebih instalasi listrik.
- 2) Memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya, dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan beserta isinya.
- 3) Memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

Pembumian merupakan salah satu cara konvensional untuk mengatasi bahaya tegangan sentuh tidak langsung yang dimungkinkan terjadi pada bagian peralatan yang terbuat dari logam. Untuk peralatan yang mempunyai selungkup/rumah yang terbuat dari non logam tidak memerlukan sistem ini. Pembumian dapat bekerja secara efektif apabila dalam pembuatannya sesuai dengan standar. Ada dua hal yang dilakukan oleh sistem pembumian, yaitu:

- 1) Menyalurkan arus dari bagian-bagian logam peralatan yang teraliri arus listrik ke tanah melalui saluran pembumian.
- 2) Menghilangkan beda potensial antara bagian logam peralatan dan tanah sehingga tidak membahayakan bagi yang menyentuhnya.

Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut yang berbahaya (diatas 50V), kerangka logam dari peralatan harus dihubungkan ke tanah melalui

impedansi rendah. Impedansi pembumian ini harus sangat kecil sehingga tegangan sentuh yang timbul pada kerangka peralatan harus cukup kecil dan tidak berbahaya.

Tabel 2.1 Besar dan Lama Tegangan Sentuh

Tegangan Sentuh (Volt)	Waktu Pemutusan Maksimum (detik)
<50	-
50	5,0
75	1,0
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

International Electrotechnical Commission (IEC) merekomendasikan tegangan sentuh yang diizinkan sebagai fungsi dari lama gangguan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 umumnya digunakan untuk sistem tegangan pentanahan. Untuk dapat memenuhi syarat tersebut maka tahanan pentanahan sebesar:

$$R_B < \frac{50}{kI_n} \Omega$$

Keterangan :

R_B = Resistansi grounding (Ω)

I_n = Arus nominal alat pengaman arus lebih (A)

k = Bilangan bergantung pada karakteristik alat pengaman

= 2,5 – 5 untuk pengaman lebur (sekering)

= 1,25 – 3,5 untuk pengaman jenis lainnya

Terdapat juga adanya tegangan langkah. Tegangan langkah adalah tegangan yang terjadi akibat arus gangguan yang melewati tanah. Arus gangguan ini relatif besar dan apabila mengalir dari tempat terjadinya gangguan kembali ke sumber (titik netral) melalui tanah yang mempunyai resistansi besar maka tegangan di permukaan tanah menjadi tinggi. *Rural Electrification Administration (REA), AS.* (dalam Prih Sumardjati, 2008), merekomendasikan tegangan langkah dan waktu pemutusan maksimum yang diperbolehkan adalah:

Tabel 2.2 Tegangan langkah dan waktu pemutusan gangguan maksimum

Tegangan Langkah yang Diizinkan (Volt)	Lama Gangguan (Detik)
7.000	0,1
4.950	0,2
4.040	0,3
3.500	0,4
3.140	0,5
2.216	1,0
1.560	2,0
1.280	3,0

Secara singkat, pentanahan peralatan ini dimaksudkan untuk:

1. Mengamankan manusia dari sengatan listrik baik tegangan sentuh maupun tegangan langkah.
2. Mencegah timbulnya kebakaran atau ledakan pada bangunan akibat busur api ketika terjadi gangguan tanah.
3. Memperbaiki kinerja sistem.

2.1.2 Tujuan Pentanahan

Tujuan utama pentanahan adalah menciptakan jalur *low-impedance* resistansi rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum adanya sentakan listrik atau *transient voltage*. Sistem pentanahan yang efektif akan meminimalkan efek yang ada tersebut.

Secara umum tujuan dari sistem pentanahan adalah (Prih Sumardjati, 2008: 159):

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik.
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover ketika terjadi *transient*.
6. Mengalihkan tegangan umpan balik (*Reverse Forward*) liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol dan komputer.

Sedangkan menurut IEEE Std 142TM-2007, tujuan sistem pentanahan adalah:

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

2.1.3 Resistansi Pembumian

Resistansi adalah jumlah dari resistansi elektroda atau resistansi hantaran. Resistansi pembumian dapat diartikan besarnya resistansi pada kontak atau hubungan antara elektroda pembumian dengan tanah.

Menurut Aslimeri (2008: 255), nilai resistansi pembumian semakin kecil maka akan semakin baik, untuk perlindungan personil dan peralatan perlu diusahakan resistansi pentanahan lebih kecil dari 1 Ohm. Syarat ini tidak praktis hanya untuk dilaksanakan dalam suatu sistem distribusi, saluran transmisi atau dalam substation distribusi, namun beberapa peralatan atau standar yang telah disepakati adalah bahwa saluran transmisi, cabang (*substation*) harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga resistansi pentanahan tidak melebihi 1 ohm. Gardu induk distribusi harga resistansi maksimum yang diperbolehkan adalah 5 Ohm, demikian juga halnya pada menara transmisi, untuk menghindari lompatan karena naiknya tegangan atau potensial pada waktu terjadi sambaran petir maka resistansi pentanahan pada kaki menara perlu dibuat sekecil mungkin (di Amerika kurang dari 10 Ohm).

Resistansi atau resistansi pembumian seperti yang telah dijelaskan di atas yaitu diharapkan bisa sekecil mungkin, namun untuk dapat mencapai nilai *grounding* yang diharapkan, tidak semua tempat bisa terpenuhi, karena disebabkan beberapa faktor yang mempengaruhinya.

Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya resistansi pembumian sebagaimana disebutkan oleh Prih Sumardjati (2008: 167) adalah sebagai berikut:

1. Bentuk elektroda.

Macam-macam bentuk elektroda sudah banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.

2. Jenis bahan dan ukuran elektroda.

Konsekwensi dari peletakan elektroda di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.

3. Jumlah atau konfigurasi elektroda.

Cara untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang dikehendaki dan apabila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya dalam tanah.

4. Kedalaman pemancangan di dalam tanah

Pemancangan ini bergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Beberapa pemasangan elektroda pentanahan ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.

5. Faktor alam

- a. Jenis tanah: tanah gembur, berpasir, berbatu, rawa, dan lain-lain.
- b. *Moisture* tanah: semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah resistansi jenis tanah.
- c. Kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam maka akan memperendah resistansi jenis tanah, namun meningkatkan sifat korosi.
- d. Suhu tanah: suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya.

Nilai resistansi *grounding* yang baik yaitu 5 Ohm yang umumnya di pakai tersebut bisa tercapai pada kondisi tanah yang normal. Tanah normal maksudnya adalah kondisi tanah sebagian besar terdiri dari tanah lanau (butiran tanah < 0.2 mm) bercampur dengan sedikit tanah liat (butiran tanah < 0.06 mm) atau sedikit kandungan pasir (butiran pasir < 2 mm) dengan sifat fisik sebagai berikut (SPLN 102, 1993 : pasal 2) :

1. Berat/isi : 1.4 – 1.7 ton/m³
2. Kadar Air : 20 – 30 % terhadap volume pori tanah

3. Pori Tanah : 15 – 20 % terhadap volume total

4. PH : 6 – 8

Tabel di bawah ini dapat digunakan sebagai acuan kasar harga resistansi pembumian pada tanah dengan resistansi jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda

Tabel 2.3 Resistansi pembumian

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah R_E	Tahanan Pentanahan					
		Kedalaman Electroda ke tanah (Meter)			Potongan Pentanahan (Meter)		
		MØ	3	6	10	5	10
Tanah lembab, seperti rawa	30	10	5	3	12	6	3
Tanah Pertanian, tanah liat	100	33	17	10	40	20	10
Tanah liat berpasir	150	50	25	15	60	30	15
Tanah lembab berpasir	300	66	33	20	80	40	20
Campuran 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Kerikil lembab	500	160	80	48	200	100	50
Tanah kering berpasir	1000	330	165	100	400	200	100
Kerikil kering	1000	330	165	100	400	200	100
Tanah berbatu	30.000	1000	500	300	1200	600	300
Batu karang	10^7	-	-	-	-	-	-

2.1.4 Resistansi Jenis Tanah

Resistansi tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu sehingga dapat diasumsikan bahwa resistansi suatu pembumian akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya. Suhu akan lebih stabil pada kedalaman yang lebih dalam untuk bekerja dengan efektif sepanjang waktu. Sistem pembumian dapat dikonstruksikan dengan pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam di bawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman pasak mencapai tingkat kedalaman air yang tetap.

Menurut Prih Sumardjati (2008: 200) resistansi jenis tanah sangat menentukan resistansi pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Resistansi jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang mempresentasikan resistansi tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang berisi 1 meter. Penentuan resistansi jenis tanah ini tidak hanya bergantung pada jenis tanah saja, melainkan dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kandungan mineral yang dimiliki tanah dan suhu (suhu tidak berpengaruh apabila di atas titik beku air), oleh karena itu resistansi jenis tanah bisa berbeda-beda dari satu tempat dengan tempat yang lain bergantung dengan sifat-sifat yang dimilikinya.

Sering dicoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan resistansi jenis tanah yang rendah, namun cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali. Pemberian air atau membasahi tanah juga dapat mengubah resistansi jenis tanah. Harga resistansi jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas bergantung dari beberapa faktor (Aslimeri, 2008: 262), yaitu:

1. Jenis tanah: tanah liat, berbatu, berpasir, dan lain-lain.
2. Lapisan tanah: berlapis-lapis dengan resistansi jenis berlainan atau *uniform*.
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur.

Secara umum harga-harga resistansi jenis ini diperlihatkan pada tabel berikut ini (PUIL, 2000):

Tabel 2.4 Resistansi jenis tanah

No	Jenis Tanah	Resistansi Jenis (Ω)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui resistansi jenis pentanahan. Perlu diketahui juga bahwa sifat-sifat tanah bisa berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain, hal ini harus benar-benar dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Apabila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi ketika resistansi jenis pentanahan yang tertinggi, ini sebagai antisipasi agar resistansi pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan resistansi jenis pentanahan tinggi, misalnya pada saat musim kemarau.

2.1.5 Elektroda Pentanahan

Menurut PUIL 2000, elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Penghantar bumi yang tidak berisolasi ditanam dalam tanah dianggap juga sebagai elektroda pentanahan.

Bahan elektroda pentanahan yang sering digunakan adalah tembaga atau baja yang digalvanis atau dilapisi tembaga, sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain. Ukuran standar minimum elektroda bumi dapat dilihat pada tabel di bawah ini (PUIL, 2000):

Tabel 2.5 Luas penampang minimum elektroda bumi

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi Dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1.	Elektroda Pita	Pipa baja 100 mm ² setebal minimal 3 mm	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² tebal minimal 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2.	Elektroda Batang	<ul style="list-style-type: none"> • Pipa baja 25 mm • Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 • Batang profil lain yang setaraf 	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3.	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5 – 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2mm, luas 0,5 – 1 m ²

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar resistansi pentanahan nantinya. Tabel 2.5 memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan dan dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan yang akan dipakai.

Resistansi pembumian dari elektroda bumi bergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektroda yang akan di pakai (PUIL, 2000: 81). Resistansi pembumian suatu elektroda harus dapat diukur, untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektroda bumi atau susunan elektroda bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepaskan (PUIL, 2000: 81), maka pada penghantar bumi harus dipasang sambungan yang dapat dilepaskan untuk keperluan pengujian resistansi pembumian nantinya pada tempat yang mudah dicapai dan sedapat mungkin memanfaatkan sambungan yang susunan instalasinya memang ada (PUIL, 2000: 81).

Resistansi pentanahan total dari suatu rumah tangga belum dapat ditentukan dari hasil pengukuran suatu elektroda, nilai rata-rata dari resistansi pentanahan elektroda bumi dapat dilihat pada tabel 2.3. Cara untuk mencapai nilai resistansi pembumian sebesar 5Ω pada tanah liat atau tanah ladang dengan resistansi jenis $100\Omega/\text{meter}$ diperlukan sebuah elektroda pita yang panjangnya 50 meter atau empat buah elektroda batang yang panjangnya masing-masing 5 meter dan jarak antarelektroda-elektroda tersebut minimum harus dua kali dari panjangnya (PUIL, 2000:81). Apabila ingin mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang diizinkan, maka dalam pemasangan elektroda harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a. Permukaan elektroda harus dihubungkan baik dengan tanah sekitarnya.

- b. Sambungan antara penghantar tanah dengan elektroda tanah harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dalam keadaan baik, misalnya dengan menggunakan klem atau baut yang tidak mudah lepas dan tidak mudah terkena karat akibat terpendam dalam tanah.
- c. Sambungan antar penghantar tanah dengan elektroda tanah yang didalam tanah harus dilindungi dengan bahan anti korosi.

Indonesia mempunyai beberapa jenis elektroda pentanahan yang sering digunakan dalam sistem pentanahan, tujuan dari adanya peraturan mengenai jenis elektroda ini adalah untuk membatasi banyaknya jenis, dimensi dan mutu elektroda pentanahan serta memberikan pegangan yang terarah bagi pemesan, pembuat, maupun penguji pentanahan nantinya (SPLN 102, 1993 : pasal 1), di antaranya:

1. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang terbuat dari hantaran yang berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilit. Pemasangan elektroda pentanahan mempunyai kombinasi bentuk antara lain memanjang dengan cara radial, melingkar atau kombinasi dari bentuk tersebut. Apabila keadaan tanah mengizinkan, elektroda pita harus ditanam sedalam 0,5 sampai 1,0 m secara horisontal didalam tanah (PUIL, 2000: 83). Menurut Prih Sumardjati (2008 : 168), elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Pemasangan ini akan bermasalah apabila

mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit dalam pemasangannya, untuk mendapatkan nilai resistansi yang rendah juga akan bermasalah, sebagai pengganti untuk pemasangan secara vertikal ke dalam tanah dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horizontal) dan dangkal. Resistansi pentanahan yang dihasilkan juga sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.



Gambar 2.1 Elektroda Pita

Rumus perhitungan resistansi pentanahan (Prih Sumardjati, 2008: 169):

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right]$$

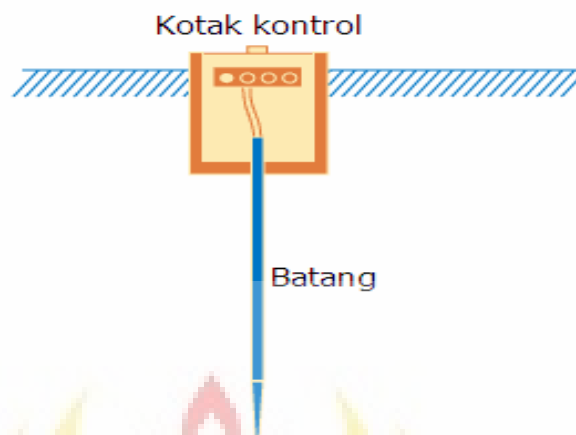
Keterangan:

- R_W = Resistansi dengan kisi-kisi grid kawat (Ohm)
- ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)
- L_W = Panjang total grid kawat (m)
- d_W = Diameter kawat (m^2)
- Z_W = Kedalaman penanaman (m)
- A_W = Luasan yang dicakup oleh grid (m^2)

2. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari besi atau baja profil yang dipasang tegak lurus ke dalam tanah. Umumnya digunakan batang tembaga dengan diameter 5/8 inc sampai 3/4 inc, panjang 4 m, atau bisa juga pipa galvanis dengan diameter 1 inc sampai 2 inc, panjang 6 m (PUIL, 2000: 80), sedangkan menurut Prih Sumardjati (2008 : 168), elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis elektroda batang ini mudah sekali pemasangannya, yaitu tinggal memancangkan ke dalam tanah, selain itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.

Elektroda batang harus dipasang secara tegak lurus ke dalam tanah, dengan bagian batang atas terletak 30 cm di bawah permukaan tanah. Panjang elektroda harus disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang diperlukan, untuk memperoleh nilai resistansi pentanahan yang kecil, maka diperlukan beberapa elektroda batang yang pemasangan jarak antar elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya.



Gambar 2.2 Elektroda Batang

Rumus resistansi pentanahan elektroda Batang-Tunggal (Prih Sumardjati, 2008: 168):

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln\left(\frac{4L_R}{A_R}\right) - 1 \right]$$

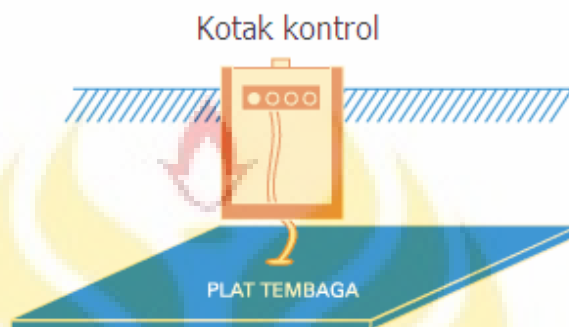
Keterangan:

- R_G = Resistansi pentanahan (Ohm)
- R_R = Resistansi pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)
- ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)
- L_R = Panjang elektroda (m)
- A_R = Diameter elektroda (m)

3. Elektroda Pelat

Elektroda pelat adalah elektroda yang terbuat dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau juga bisa dari kawat kasa. Elektroda pelat ditanam tegak lurus di dalam tanah dan umumnya cukup dengan plat ukuran 4m x 0,5m. Cara untuk memperoleh resistansi pentanahan yang lebih rendah, maka beberapa pelat dapat digunakan secara bersama dengan rangkaian paralel (PUIL, 2000: 80). Elektroda pelat adalah elektroda dari bahan pelat logam atau dari kawat kasa yang

umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan apabila diinginkan resistansi pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain (Prih Sumardjati, 2008: 169).



Gambar 2.3 Elektroda Pelat

Rumus perhitungan resistansi pentanahan elektroda pelat tunggal

(Prih Sumardjati, 2008:169):

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln\left(\frac{8W_P}{0,5W_P + T_P}\right) - 1 \right]$$

Keterangan:

R_p = Resistansi pentanahan (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm-meter)

L_p = Panjang pelat (m)

W_p = Lebar pelat (m)

T_p = Tebal pelat (m)

Elektroda pentanahan pada rumah tangga yang umum dipakai adalah elektroda batang bulat, syarat-syarat elektroda batang bulat sesuai dengan SPLN. 3: 1987 adalah:

a. Syarat Bahan:

1. Batang baja elektroda: Batang baja elektroda harus terbuat dari baja karbon tinggi dengan tarik minimum 51 kg/mm^2 , serta mempunyai kekerasan minimum 74 HrB.
2. Lapisan tembaga: Lapisan tembaga harus mempunyai kadar tembaga minimum 99,9 %.
3. Klem dan baut: Klem dan baut harus terbuat dari tembaga paduan dengan kadar tembaga minimum 60 %.

b. Syarat Mutu:

1. Sifat tampak: Elektroda bumi harus mempunyai permukaan yang halus, rata, bersih, tidak berpori dan harus terlihat lurus, sedangkan pada klem, tidak boleh terlihat cacat yang dapat mengganggu fungsi.
2. Sifat mekanis: Elektroda harus mampu ditancapkan tegak lurus ke dalam tanah normal, tidak boleh retak, pecah atau bengkok.
3. Korosi: Batas maksimum laju korosi yang terjadi pada batang elektroda bumi ini sebesar $50 \text{ mg/dm}^2/\text{hari}$.
4. Sifat listrik: Nilai resistansi elektroda pentanahan maksimum yang boleh dicapai adalah $5 \times 10^{-3} \text{ Ohm-meter}$ pada suhu 27°C .

2.1.6 Pengukuran Resistansi dan Elektroda Bantu Pembumian

2.1.6.1 Pengukuran Resistansi Pembumian

Pentingnya sistem pembumian listrik baik dalam sistem tenaga listrik AC (*Alternating Current*) maupun dalam sistem pembumian peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah ini, maka untuk menjamin sistem pembumian memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian atau pengukuran resistansi pembumian. Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan secara periodik yaitu setiap 5 tahun sekali, khususnya untuk rumah-rumah yang umurnya lebih dari 15 tahun. Berdasarkan pentingnya sistem pembumian tersebut, maka perlu dilakukan pengukuran atau pengujian untuk dapat memastikan resistansi pembumian yang telah ada tersebut masih memenuhi syarat yang telah ditentukan PUIL 2000 atau tidak.

Sekarang ini telah ada di pasaran alat ukur resistansi pembumian yang sering disebut dengan nama *Earthtester* atau *Groundtester*. Mulai dari yang untuk beberapa fungsi pengukuran saja sampai dengan yang memiliki fungsi pengukuran secara kompleks, penunjukan alat ukur ini ada yang analog dan digital dengan cara pengoperasian mudah serta aman.

Lingkungan kerja yang cukup luas saat ini, sangat diperlukan untuk menggunakan alat semacam ini. Berikut dijelaskan mengenai fungsi-fungsi pengujian atau pengukuran resistansi pembumian, teknik pengukuran yang presisi untuk elektroda tunggal maupun banyak.

a. Metode *Von Werner*

Metode ini disebut juga dengan metode empat batang, karena menggunakan empat buah elektroda dalam pengukurannya. Cara pengukuran dilakukan dengan terlebih dahulu mengatur jarak antar elektroda. Jarak antar elektroda adalah sejauh a meter, sehingga jarak antar terminal secara berurutan adalah sama. Alat ukur ini akan mengalirkan arus melalui terminal 1 dan 4 lalu susut tegangan pada terminal 2 dan 3 akan diukur. Jika beda tegangan antara terminal 2 dan 3 adalah ΔV , dan arus yang dialirkan melalui terminal 1 dan 4 adalah I , perbandingan ini adalah nilai resistansi pembumian yaitu sebesar R .

b. Pengukuran Menggunakan Voltmeter dan Amperemeter

Cara melakukan pengukuran ini adalah dengan cara penghantar pembumian dihubungkan dengan penghantar fasa instalasi melalui gawai proteksi arus lebih, saklar dan hambatan yang dapat diatur mulai 20Ω - 1000Ω pada amperemeter. Jarak antar elektroda disesuaikan dengan jenis elektroda yang digunakan, apabila elektroda batang atau pipa maka elektroda bantu harus berjarak sekurangnya 20 meter dari elektroda yang akan diukur. Apabila saklar dimasukkan (on), resistansi tersebut harus dalam keadaan maksimum dan resistansi diatur sedemikian rupa sehingga amperemeter dan voltmeter menunjukkan simpangan secukupnya yang sesuai dengan apa yang diharapkan oleh operator. Hasil pengukuran antara tegangan dan arus yang telah

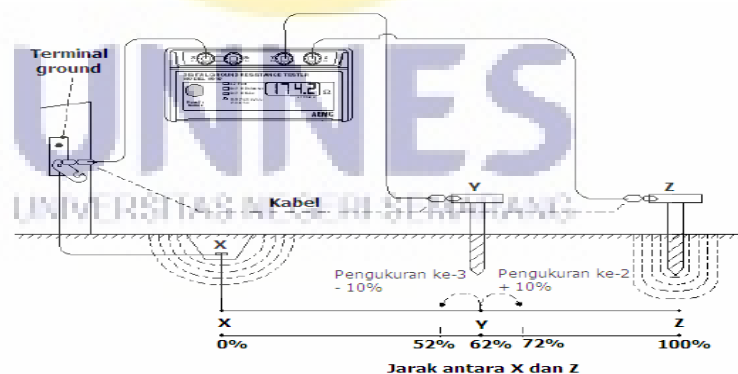
ditunjukkan oleh alat ukur tersebut adalah menunjukkan resistansi pembumian yang diukur.

- c. Pengukuran Resistansi Pembumian dengan Menggunakan *Earthtester* (Prih Sumardjati, 2008: 174)

Instrumen pengukuran resistansi pembumian yang digunakan ada berbagai macam, salah satunya adalah dengan menggunakan *Earth Hi tester*.

1. Pengukuran Resistansi Elektroda Pentanahan Menggunakan Metode 62 % (Prih Sumardjati, 2008: 178).

Metode 62 % digunakan setelah mempertimbangkan secara grafis dan setelah dilakukan pengujian. Metode ini merupakan yang paling akurat namun hanya terbatas pada elektroda tunggal. Metode ini hanya dapat digunakan untuk elektroda-elektroda yang tersusun berjajar secara garis lurus dan pentanahannya menggunakan elektroda pipa, tunggal atau pelat.

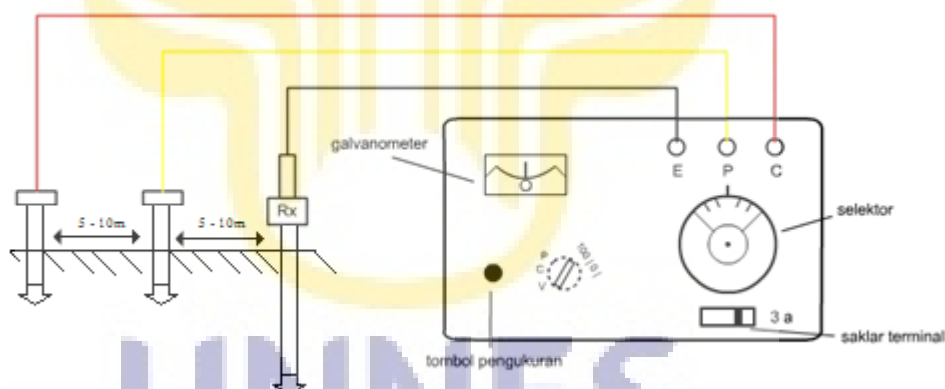


Gambar 2.4 Pengukuran resistansi elektroda pentanahan menggunakan metode 62%

2. Pengukuran Normal (Metode Tiga Kutub)

Langkah awal pengukuran adalah dengan cara memposisikan saklar terminal pada 3a, selanjutnya:

- a. Cek tegangan baterai (*Range* saklar: BATT, aktifkan saklar/*ON*). Jarum harus dalam *range* BATT.
- b. Cek tegangan pentanahan (*Range* saklar: $\sim V$, matikan saklar/*OFF*).
- c. Cek resistansi pentanahan bantu (*Range* saklar: C & P, matikan saklar/*OFF*). Jarum harus dalam *range* P/C (lebih baik posisi jarum pada saklar 0). Ukurlah resistansi pentanahan (*Range* saklar: $\times 1\Omega$ ke $\times 100\Omega$) dengan menekan tombol pengukuran dan memutar selektor, sehingga diperoleh jarum pada galvanometer seimbang atau menunjuk angka nol. Hasil pengukuran adalah angka yang telah ditunjukkan pada selektor dikalikan dengan posisi *range* saklar ($\times 1\Omega$) atau ($\times 100\Omega$).

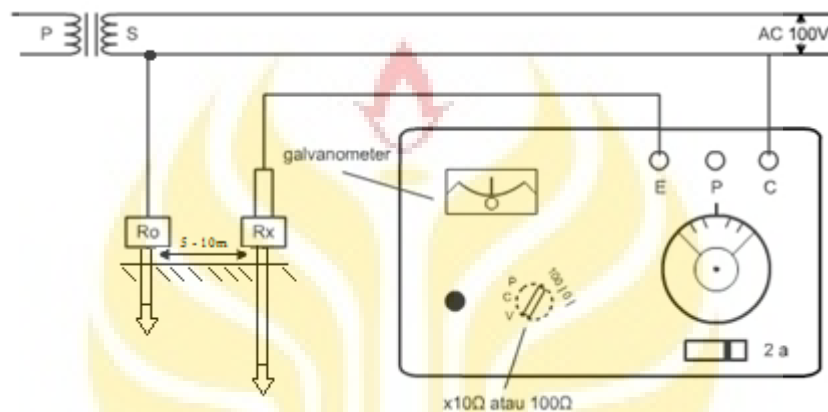


Gambar 2.5 Pengukuran metoda normal (metoda 3 kutub)

3. Pengukuran Praktis (Metoda Dua Kutub) SEMARANG

Langkah awal adalah dengan memosisikan saklar terminal pada 2a. Apabila jalur pembumian digunakan untuk titik referensi pengukuran bersama, maka sambungan yang terhubung dengan pentanahan itu harus selalu terhubung dengan tanah, kemudian jika terjadi bunyi bip, maka segera putuskan dan cek kembali.

- a. Cek tegangan baterai dan cek tegangan pentanahan dengan cara hampir sama dengan metode pengukuran normal, hanya pengecekan tekanan resistansi bantu tidak diperlukan.
- b. Ukur resistansi pentanahan (*Range* saklar: $\times 10\Omega$ atau $\times 100\Omega$), maka hasil pengukuran adalah $= R_x + R_o$.



Gambar 2.6 Pengukuran metoda praktis (Metoda 2 kutub)

2.1.6.2 Elektroda bantu pbumian

2.1.6.2.1 Jarak Peletakan Elektroda Bantu

Jarak antara X dan Y tidak ada ketentuan yang mengatur secara pasti, karena jarak tersebut relatif terhadap diameter dan panjang elektroda yang diuji, kondisi tanah dan daerah resistansi efektifnya. Terdapat beberapa hasil empiris yang dapat digunakan sebagai bantuan dalam penentuan jarak seperti yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini. Menurut Prih Sumardjati(2008: 180) dalam bukunya menyatakan bahwa harga jarak ini dibuat pada kondisi tanah homogen, diameter elektroda 1". (Untuk diameter ½", memendekkan jarak 10% dan untuk diameter 2" memanjangkan jarak 10%).

Tabel 2.6 Jarak elektroda-elektroda bantu menggunakan metoda 62% (ft)

Kedalaman Pemancangan (ft)	Jarak ke Y (ft)	Jarak ke Z (ft)
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

2.1.7 Penghantar Pembumian

Penghantar pembumian adalah penghantar pengaman yang digunakan pada sistem pembumian, yaitu untuk menghubungkan sistem pentanahan dari elektroda pentanahan ke terminal utama pentanahan dan dari terminal utama pentanahan sampai ke peralatan listrik yang dibumikan. Penghantar tanah ini harus dibuat dari bahan tembaga, aluminium, baja atau perpaduan dari bahan-bahan tersebut.

Berdasarkan kekuatan mekanisnya, luas penampang minimum penghantar bumi yaitu:

1. Penghantar yang terlindung kokoh secara mekanis 1,5 mm² tembaga atau 2,5 mm² aluminium.
2. Penghantar yang tidak terlindungi kokoh secara mekanis 4 mm² tembaga atau pita baja yang tebalnya 2,5 mm² dan luas penampangnya sebesar 50 mm².

Ukuran penghantar pembumian pada rangkaian cabang instalasi akan berbeda dengan penampang penghantar pentanahan pada sistem saluran utama, untuk ukuran penampang penghantar pentanahan pada saluran utama akan lebih

besar dari saluran cabang instalasi disesuaikan dengan luas penampang penghantar fasanya.

Sambungan antara hantaran pentanahan dengan elektroda pentanahan harus mekanis kuat dan membuat kontak listrik yang baik, sambungan ini dapat berupa sambungan las atau baut yang tidak mudah lepas dengan sendiri. Diameter baut yang digunakan sekurang-kurangnya adalah sebesar 10 mm, hantaran pembumian yang dipasang di atas tanah harus mudah terlihat dan jika tertutup harus mudah dicapai, jika perlu hantaran ini harus terlindungi dari bahaya kerusakan mekanis ataupun kimiawi. Penggunaan penghantar pembumian pada rumah tangga sebaiknya tidak digunakan penghantar pentanahan yang telanjang atau terbuka, penghantar yang berisolasi harus memiliki isolasi yang setaraf dengan isolasi dari penghantar fasa dan netralnya.

Penghantar pentanahan harus ada sambungan yang dapat dilepas untuk memisahkan bagian di atas tanah dan bagian yang di tanam di dalam tanah untuk proses keperluan pengujian. Sambungan ini harus dibuat ditempat yang mudah dicapai dan sedapat mungkin ditempat yang memang harus ada sambungannya.

Efektivitas sistem ini tidak hanya ditentukan oleh elektroda pentanahan, namun juga disebabkan oleh penghantar pentanahan atau hantaran yang digunakan dalam pengaman (Prih Sumardjati, 2008: 172). Hantaran pengaman ini harus diusahakan mempunyai nilai resistansi sekecil mungkin dan disesuaikan dengan komponen instalasi lain seperti pengaman arus lebih dan hantaran fasanya. Alat pengaman arus lebih dan ukuran hantaran fasa adalah sepaket karena alat pengaman tersebut juga berfungsi sebagai pengaman hantaran pembumian, oleh

karena itu, dalam penentuan hantaran pengaman dapat dilakukan berdasarkan ukuran hantaran fasa yang dipakai. Kondisi hantaran mempunyai konsekwensi terhadap dampak yang mungkin terjadi nantinya. Hantaran berisolasi berinti satu mempunyai resistansi isolasi yang berbeda dibandingkan dengan yang memiliki ini banyak, begitu juga dengan hantaran telanjang yang dilindungi dan yang tidak dilindungi juga mempunyai konsekwensi yang berbeda. Tabel di bawah ini memberikan petunjuk tentang luas penampang minimum dari beberapa jenis kondisi hantaran pengaman.

Tabel 2.7 Luas penampang minimum hantaran pembumian

Hantaran Fasa	Hantaran Pengaman Berisolasi		Hantaran Pengaman Cu Telanjang	
	Kawat	Kawat Tanah	Dilindungi	Tanpa Perlindungan
0,5	0,5	-	-	-
0,75	0,75	-	-	-
1	1	-	-	-
1,5	1,5	1,5	1,5	4
2,5	2,5	2,5	1,5	4
4	4	4	4	4
6	6	6	4	4
10	10	10	6	6
16	16	16	10	10
25	16	16	16	16
35	16	16	16	16
50	25	25	25	25
70	35	35	35	35
95	50	50	50	50
120	70	70	50	50
150	70	70	50	50
185	95	95	50	50
240	-	120	50	50
300	-	150	50	50
400	-	185	50	50

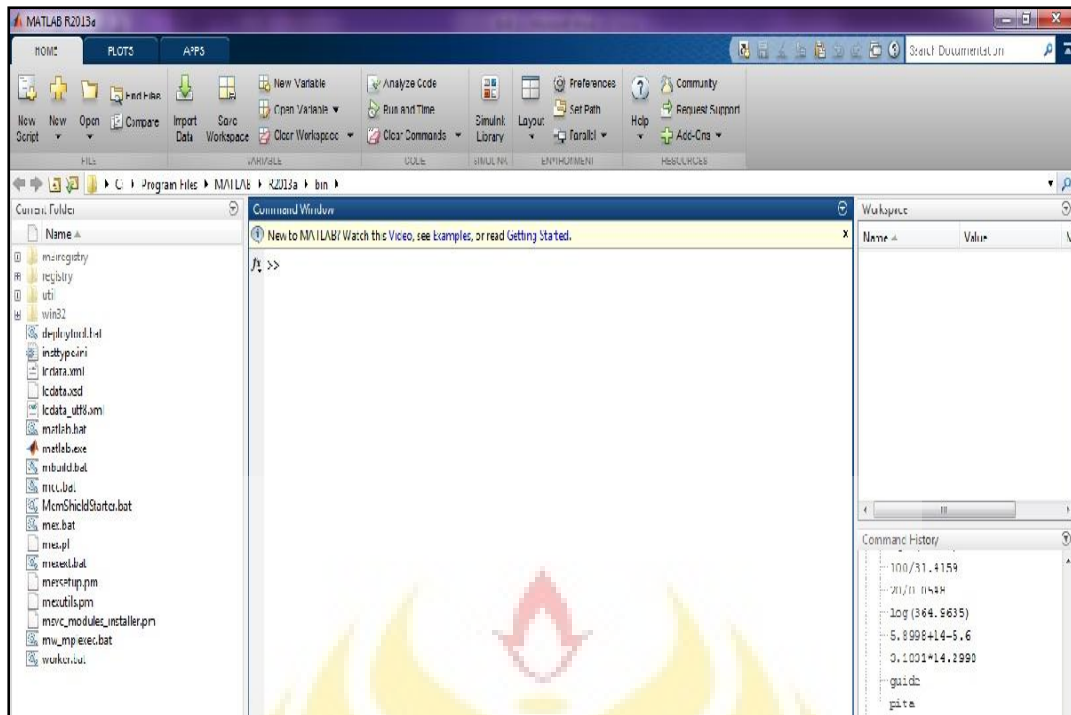
2.1.8 Matlab

Matrix Laboratory atau biasa disebut Matlab yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan Matlab juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

Matlab adalah software buatan The MathWork,Inc., yang sangat bermanfaat untuk menyelesaikan berbagai masalah komputasi numerik. Perangkat lunak ini menawarkan kemudahan dan kesederhanaan dalam menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan vektor dan matriks (Feriza A. Irawan, 2012 : 12)

Menurut (Feriza A. Irawan, 2012 : 12) untuk menangani persoalan-persoalan yang spesifik, Matlab menyediakan sejumlah toolbox. Contoh toolbox:

- a. *Image Processing*: ditujukan secara khusus untuk melakukan pengolahan citra.
- b. *Signal Processing*: ditujukan untuk menangani pengolahan isyarat.
- c. *Neural Network*: menyediakan berbagai fungsi yang terkait dengan jaringan syaraf tiruan.



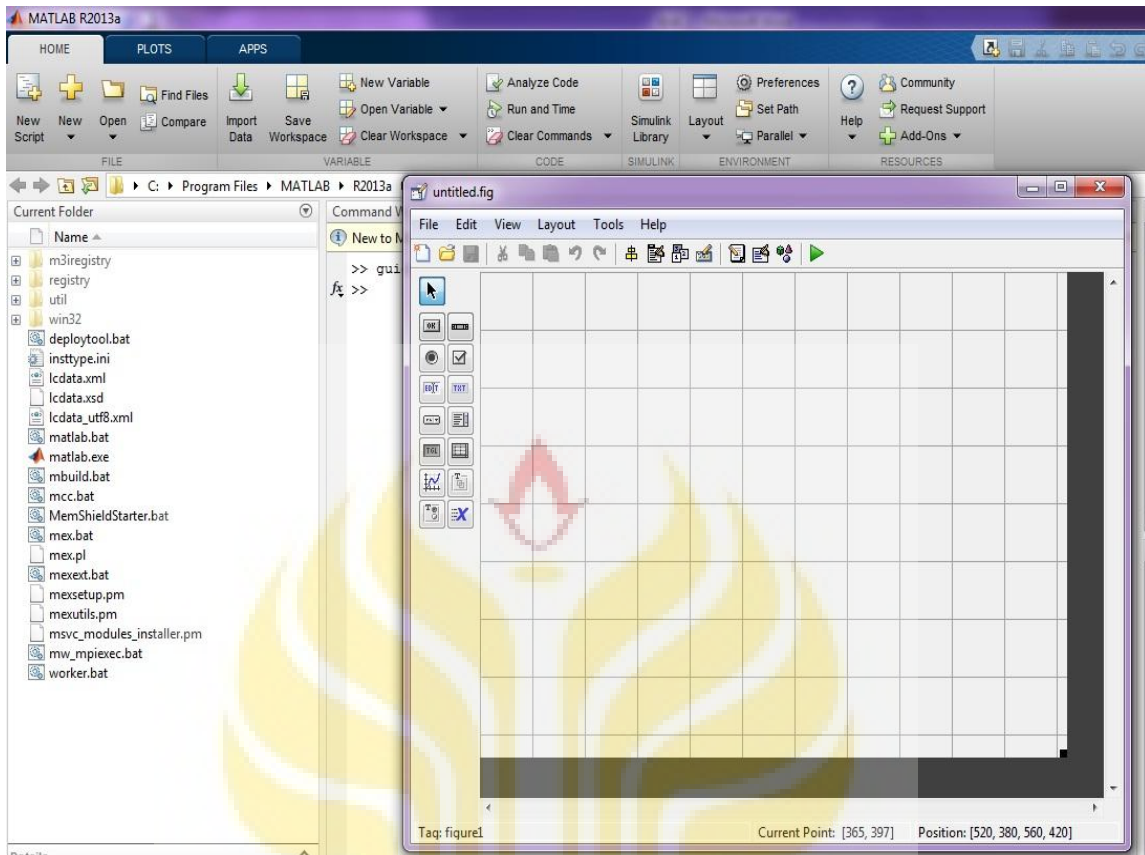
Gambar 2.7 Tampilan awal Matlab

Menurut (Feriza A. Irawan, 2012 : 13) beberapa bagian penting yang terdapat pada antarmuka Matlab adalah seperti berikut:

- a. *Command Window* atau jendela perintah yang dipakai untuk memberikan perintah secara manual.
- b. *Workspace* berisi daftar variabel yang diciptakan oleh pemakai dan masih ada dalam memori.
- c. *Command History* mencantumkan perintah-perintah yang pernah diberikan oleh pemakai.
- d. *Current Directory* menyatakan direktori kerja.

2.1.8.1 GUI

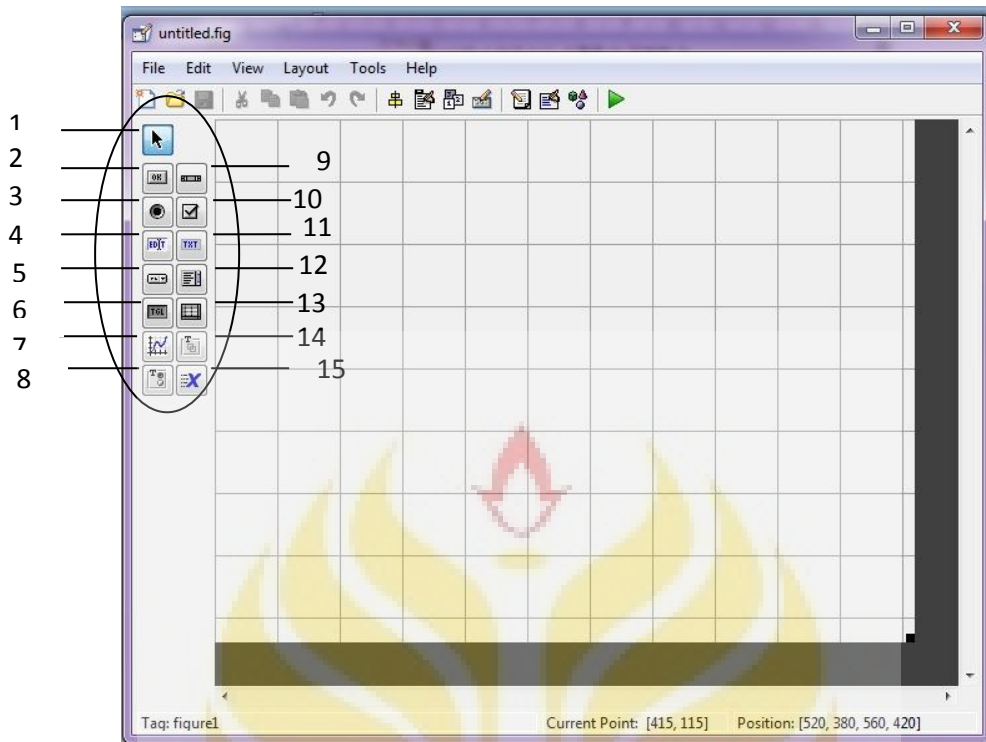
Selain itu Matlab juga bisa digunakan untuk menghitung kalkulasi komputer, pembuatan simulasi, grafik 3D, dll. Terdapat menu untuk membuat itu semua kita bisa mengetikkan GUIDE pada *Command Window* lalu akan muncul kotak dialog GUIDE tersebut kemudian pilih OK untuk melanjutkan ke halaman GUIDE



Gambar 2.8 Kotak Dialog Untuk Halaman GUI

2.1.8.1.1 Mengenal Toolbar

Pada jendela GUIDE terdapat bagian yang dinamakan toolbar. Letaknya di bagian kiri (lihat Gambar 2.9). di dalam toolbar tersebut tercantum komponen-komponen yang bisa diletakkan ke dalam aplikasi.



Gambar 2.9 Toolbar berisi komponen-komponen yang bisa digunakan

Komponen-komponen yang terdapat pada toolbar dijelaskan dalam Tabel 2.8. pengenalan terhadap elemen-elemen tersebut sangat penting sebelum memulai pernyataan komponen dalam aplikasi yang akan dibuat

Tabel 2.8 Daftar Komponen

No.	Komponen	Keterangan
1.	Select	Untuk membatalkan pemilihan terhadap komponen
2.	Push Button	Komponen berupa tombol
3.	Radio Button	Komponen tombol radio
4.	Edit Text	Komponen yang memungkinkan pemakai memasukkan nilai dari keyboard
5.	Pop-up Menu	Berguna untuk membuat menu
6.	Toggle Button	Tombol yang bersifat on / off
7.	Axes	Berguna untuk membuat grafik
8.	Button Group	Komponen yang berisi sejumlah tombol radio
9.	Slider	Tombol penggeser
10.	Check Box	Kotak cek
11.	Static Text	Berguna untuk membuat tabel
12.	Listbox	Digunakan untuk menyajikan sejumlah pilihan
13.	Table	Untuk membuat tabel
14.	Panel	Kotak dengan judul berada di bagian atas
15.	ActiveX Control	Kontrol ActiveX

2.2 Penelitian yang Relevan

1. Jurnal Penelitian yang berjudul Analisa Pengaruh Jarak dan Kedalaman Terhadap Nilai Resistansi Pembumian dengan 2 Elektroda Batang, yang diteliti oleh Wahyono dan Budhi Prasetyo Tahun 2005. Pengukuran dilakukan dengan metode 3 titik menggunakan 1 elektroda batang dengan variasi kedalaman sedangkan pada 2 elektroda batang yang diparalel dengan variasi kedalaman dan variasi jarak penanaman. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut

menunjukkan penambahan pada tanah rawa untuk 1 elektroda batang 86% sedangkan pada 2 elektroda batang 79,18%.

2. Penelitian kedua yang berjudul Pengaruh Umur Pada Beberapa Volume Zat Aditif Bentonit Terhadap Nilai Resistansi Pentanahan yang dilakukan oleh IGN Janardana tahun 2005. Metode analisis yang digunakan adalah dengan statistic uji "T". Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa peningkatan nilai resistansi pentanahan selama 24 minggu dari masing-masing volume zat aditif yang diteliti memiliki peningkatan nilai yang berbeda-beda.
3. Penelitian ketiga yang berjudul Analisis Kinerja Sistem Pentanahan PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150kV Ngimbang-Lamongan Dengan Menggunakan Metode *Finite Element Method* (FEM) yang dilakukan tahun 2014 oleh Yose Rizal. Metode analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan metode FEM atau sering disebut metode elemen hingga. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah perhitungan manual sebesar 1008,529 Volt dan 309,399 Volt. Analisa menggunakan Matlab tegangan sentuh dan tegangan langkah sebesar 1198,54 Volt dan 324,83 Volt. Analisa menggunakan CYME-Grd tegangan sentuh dan tegangan langkah sebesar 1423,47 Volt dan 343,11 Volt. Desain pentanahan Gardu Induk 150kV Ngimbang Lamongan memenuhi persyaratan dikarenakan tidak melebihi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diijinkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Dari hasil pembahasan yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Analisis sistem pentanahan menggunakan *software* aplikasi Matlab didapatkan nilai resistansi untuk perhitungan menggunakan *software* aplikasi Matlab adalah 81,4115 Ω untuk bagian Fasilitas Kerja, 32,0751 Ω untuk bagian Panel Utama PLN, dan untuk bagian Listrik dan AC nilai resistansinya adalah 32,0751 Ω . Sedangkan perhitungan manual adalah 81,305 Ω untuk bagian Fasilitas Kerja, 32,0859 Ω untuk daerah Panel Utama PLN, dan 32,0859 Ω untuk bagian Listrik dan AC. Berdasarkan hasil antara perhitungan manual dan perhitungan Matlab selisihnya hanya 0,1065 dan 0,0108.
- b. Berdasarkan hasil analisis sistem pentanahan di Balai Yasa Tegal menggunakan aplikasi Matlab, tingkat akurasi untuk perhitungan menggunakan *software* aplikasi Matlab adalah 15,28% dan 5,415%. Sedangkan tingkat akurasi untuk perhitungan manual adalah 15,26% dan 5,417%. Persentase kriteria nilai resistansi yang ada di Balai Yasa Tegal yaitu 66% standar dan 34% kurang standar untuk nilai resistansi di Balai Yasa Tegal.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan untuk kedepannya adalah:

- a. Untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang baik di Balai Yasa Tegal sebaiknya menggunakan elektroda yang ditanamkan ke tanah sampai ke tanah dalam kondisi lembab, khususnya untuk mesin-mesin berat yang butuh adanya *grounding*.
- b. Sebaiknya dilakukan pengamatan secara berkala untuk mengetahui nilai resistansi masih dalam kondisi baik atau perlu diperbaiki.
- c. Apabila ingin menggunakan *software* aplikasi Matlab sebaiknya menggunakan tipe yang paling terbaru, karena menu-menu yang terdapat di dalamnya sudah *terupdate*.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fatta, Hanif. 2007. *Analisis dan Perancangan Sistem Informasi*. Yogyakarta: ANDI
- Ali, Mohamad. 1998. *Penelitian Kependidikan Prosedur dan Strategi*. Bandung : Angkasa
- Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta : Depdiknas
- Hasrul. 2010. *Evaluasi Sistem Pembumian Instalasi Listrik Domestik di Kabupaten Barru*. UNM : Media Elektrik
- Irawan, Feriza A. 2012. *Buku Pintar Pemrograman MATLAB*. Yogyakarta. Mediakom
- Jamil, Muhammad. 2015. *Analisa Sistem Pentanahan Transformator Daya 20 MVA di Gardu Induk ungai Juara PT. PLN (PERSERO) dengan Menggunakan Matlab*. Politeknik Negeri Sriwijaya
- Janardana, IGN. 2005. *Pengaruh Umur Pada Beberapa Voulme Zat Aditif Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan*. Teknologi Elektro. Vol.4 No. 2 Juli-Desember 2005
- Panitia Revisi PUIL. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*. Jakarta : PLN
- PLN. 1987. SPLN. 3:1987 tentang pentanahan jaringan tegangan rendah dan pentanahan instalasi. Jakarta : Dep. Pertamben dan PLN
- PLN. 1993. SPLN. 102: 1993 tentang elektroda bumi jenis batang bulat berlapis tembaga. Jakarta : Dep. Pertamben dan PLN

- Rizal, Yose, IGN Satriyadi, R. Wahyudi. 2014. *Analisis Kinerja Sistem Pentanahan PT. PLN (PERSERO) Gardu Indul 150 kV Ngimbang-Lamongan Dengan Metode Finite Element Method (FEM)*. Jurnal Teknik Pomits 6 Januari 2014
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif R & D*. Bandung : Alfabeta
- Sumardjati, Prih dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Depdiknas
- Suyamto. Sutadi, Elin Nuraini. 2012. *Instalasi dan Evaluasi Grounding Untuk MBE Industri Lateks PTAPB Menggunakan Multiple ROD*. J. Iptek Nuklir Ganendra Vol.15 No. 2 Juli 2012: 72-81.ISSN 1410-6957.
- Wahyono.,Budhi Prasetyo. 2013. *Analisa Pengaruh Jarak dan Kedalaman Terhadap Nilai Tahanan Pembedaan Dengan 2 Elektroda Batang*. ISBN 978-602-99334-2-0. Prosiding SNST ke-4 Tahun 2013