

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem pembumian(grounding sistem)

Menurut ((Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, 2020) Sistem pembumian adalah suatu rangkaian/jaringan mulai dari kutub pembumian/elektroda, hantaran penghubung/conductor sampai terminal pembumian yang berfungsi untuk menyalurkan arus lebih ke bumi sehingga dapat memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik (shock), dan mengamankan komponen-komponen instalasi agar dapat terhindar dari bahaya arus dan tegangan asing, serta perangkat dapat beroperasi sesuai dengan ketentuan teknis yang semestinya. Pembumian merupakan salah satu faktor utama dalam setiap pengamanan (perlindungan) peralatan atau rangkaian listrik. Untuk melakukan pengamanan tersebut diperlukan perancangan pembumian sesuai standar yang berlaku:

1. Tahanan pembumian harus memenuhi syarat yang di inginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah
 - a. Bahan konduktor yang baik
 - b. Tahan Korosi
 - c. Cukup Kuat
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
Tahanan pembumian harus baik untuk berbagai musim
4. Biaya pemasangan serendah mungkin

Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang harus diketanahkan/dibumikan, yaitu sebagai berikut :

1. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.
2. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester. Karena letaknya

yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.

3. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dengan mudah dapat disentuh manusia.
4. Bagian pembuangan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar. Pembumian adalah penghubung bagian- bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. (Dawkins, 2019)

Pembumian peralatan adalah penghubungan badan atau rangka peralatan listrik (motor, generator, transformator, pemutus daya dan bagian- bagian logam lainnya yang pada keadaan normal tidak dialiri arus) dengan tanah. Maksud dari pembumian peralatan adalah:

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah tertentu.
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan
3. Kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
4. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

Oleh karena itu, secara umum sistem pembumian berperan sebagai Proteksi dengan tujuan pemasangan:

1. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik;
2. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik;
3. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah;

2.1.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Sistem Pentanahan

Tahanan pembumian suatu elektroda tergantung pada faktor, yaitu:

1. Tahanan elektroda pembumian beserta sambungan pengelasan pada

elektroda itu sendiri;

2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah;
3. Tahanan penghantar (BC) yang menghubungkan peralatan yang ditanahkan;
4. Tahanan dari massa tanah disekitar elektroda pembumian.

Dari ketiga komponen tersebut, tahanan pembumian merupakan besaran yang paling besar pengaruhnya pada resistansi pembumian dibandingkan tahanan elektroda. Namun demikian seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa nilai tahanan pembumian diharapkan $\leq 5 \Omega$ atau sekecil mungkin. Namun dalam hasil penelitian di lapangan tidak selalu didapatkan nilai tahanan pembumian yang diharapkan karena banyak faktor-faktor yang mempengaruhi resistansi pembumian. Nilai tahanan suatu sistem pembumian diharapkan mungkin. Elektroda pembumian yang ditanamkan ke dalam tanah diharapkan langsung memperoleh tahanan yang rendah, namun hal itu sangat jarang diperoleh. menurut (Ii & Teori, n.d.).

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai tahanan pembumian:

1. Faktor Internal

- a) Bentuk elektroda. Ada beberapa macam bentuk dari elektroda itu sendiri yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan plat.
- b) Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi peletakannya 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.
- c) Jumlah atau konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pembumian yang diharapkan dan apabila tidak memenuhi standart yang ditentukan dengan satu elektroda, bisa digunakan metode parallel dengan cara menambah lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah. Apabila hasil pengukuran belum mencapai 5Ω , maka elektroda batang ditambah, dengan jarak dua kali panjang elektroda.

- d) Kedalaman pemancangan atau penanaman di dalam tanah. Untuk kedalaman pemancangan elektroda pembedaan ini tergantung dari pada jenis dan sifat-sifat tanah. Ada dua kondisi yaitu ada yang efektif ditanam secara dalam untuk jenis tanah yang kering dan berbatu, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal untuk jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat dll.

2. Faktor Eksternal

- a) Sifat geologi (karakteristik) tanah. Tahanan jenis tanah (ohm-meter) merupakan nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan, dalam ohm, antara permukaan yang berlawanan dari suatu kubus satu meter kubik.
- b) Komposisi zat kimia dalam tanah. Kandungan zat - zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Di daerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut bersama air hujan. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pembedaan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.
- c) Kandungan air tanah Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembedaan dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembedaan sampai mencapai kedalaman tanah. Kadang kala kelembaban dan temperatur terdapat air di sekitar elektroda pembedaan sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu pada keadaan tanah kering dan dingin. Tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah jika konduktivitas tanah semakin besar maka tahanan jenis tanah semakin kecil. Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah

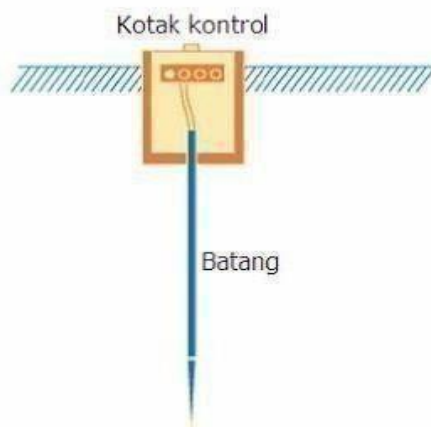
sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik samapai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali. Tahanan pembumian tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim dan kadar air dalam tanah. Kelembaban tanah/besar kecilnya konsentrasi air dalam tanah sangat mempengaruhi harga tahanan tanah. Makin lembab atau 1 makin banyak mengandung air makin kecil harga tahanan tanahnya. Juga telah kita ketahui bahwa air bersifat konduktif.

2.1.3 Jenis– jenis Elektroda Pentanahan

Elektroda batang adalah jenis elektroda yang umum digunakan sebagai elektroda pentanahan, elektroda ini biasanya berbentuk slinder dengan ukuran diameter dan panjang yang bervariasi. Konfigurasi penyusunan elektroda batang dalam tanah sering dilakukan guna memperoleh nilai tahanan pentanahan yang kecil.

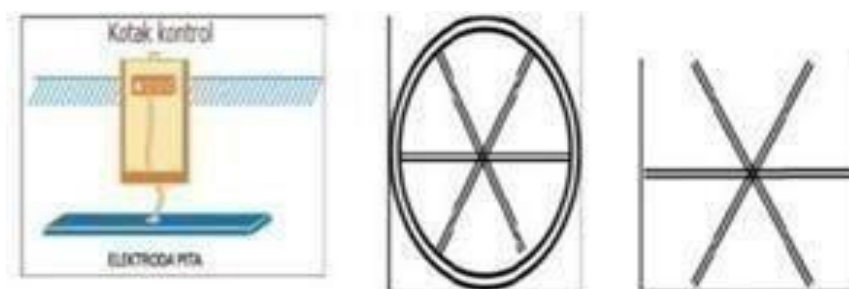
1. Elektroda batang(rod)

Elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang ditancap kedalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda pertama kali yang digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan dirumah- rumah atau perkantoran. Secara teknis juga elektroda ini sangat mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu juga pemasangan elektroda ini tidak memerlukan tanah yang luas untuk pemasangannya, sehingga sangat praktis dalam pemasangannya.(JASMINE, 2014).adapun bentuk dari elektroda batang dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2. 1 Elektroda batang(rod)

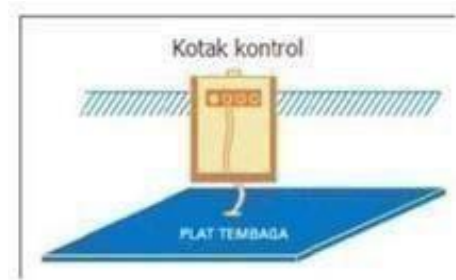
2. Elektroda Pita Menurut (Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, 2020) Elektroda pita terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya elektroda ini ditanam secara dangkal. Pemancangan elektroda ini akan bermasalah apabila mendapati lapisanlapisan tanah yang berbatu, selain sulit untuk pemancangannya untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Dalam pemasangan elektroda ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara pertama menanam batang hantaran secara vertical kedalam tanah namun tidak terlalu dalam dan ditanam secara dangkal, cara kedua yaitu menanam batang hantaran secara horizontal dan ditanam secara dangkal. adapun bentuk dari elektroda pita dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2. 2 Elektroda Pita

3. Elektroda Pelat Elektroda pelat dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda jenis ini ditanam di dalam tanah bukan secara dangkal melainkan didalam permukaan tanah.

Elektroda jenis ini digunakan apabila menginginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda lainnya. adapun bentuk dari elektroda plat dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2. 3 Elektroda Plat

4. Bare Conductor (BC) Menurut (Elmawati Falabiba, 2019) Kabel BC untuk sistem pembumian umumnya berbahan tembaga tanpa bungkus atau dikenal dengan sebutan Kabel BC (Bare Cooper). Kabel BC ini terdiri dari beberapa ukuran kabel yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan Kabel BC dalam sistem pembumian berfungsi menghubungkan instalasi luar ke sistem grounding atau sistem pertanahan. Jika ada gangguan yang terdeteksi (arus lebih) maka arus tersebut akan segera disalurkan melalui kabel konduktor. adapun bentuk dari BC dan klem sambungan dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5 dibawah ini:



Gambar 2. 4 Kabel BC



Gambar 2. 5 Sambungan elektroda batang dengan menggunakan klem

2.1.4 Earth Tester

Earth Tester ialah alat yang berfungsi untuk melakukan pengukuran besar kecilnya nilai resistansi pentanahan dari suatu rangkaian listrik. Sangat penting untuk mengetahui besarnya nilai tahanan tanah untuk melakukan pengamanan dalam instalasi listrik. Menurut (Barat et al., 2008), nilai tahanan pentanahan dari sistem grounding yang baik ialah nol (0) ohm yang mana nilai resistansi yang idial, dan nilai resistansi tahanan pentanahan maksimal lima (5) ohm.

Jika terjadi short circuit pada perangkat elektrotik atau kelistrikan, maka akibat kebocoran arus listrik tersebut akan langsung dibuang ke pembumian atau grounding secara langsung. Berdasarkan PUIL 2000, pengukuran tahanan pentanahan dilakukan secara periodik untuk mengetahui hasil dari nilai resistansinya dan melakukan evaluasi sistem pentanahan berdasarkan peraturan yang ditetapkan dengan ketentuan yang berlaku. adapun bentuk dari modul earth tester dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini:



Gambar 2. 6 Earth Tester

2.1.5 Metodede Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Seperti yang telah dibahas pada bagian sistem pentanahan, betapa penting sistem pentanahan baik dalam sistem tenaga listrik ac maupun dalam pentanahan peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah. Untuk menjamin sistem pentanahan memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan atau secara periodik setiap tahun sekali. Hal ini harus dilakukan untuk memastikan tahanan pentanahan yang ada karena bekerjanya sistem pengaman arus lebih akan ditentukan oleh tahanan pentanahan ini.

Pada saat ini telah banyak beredar di pasaran alat ukur tahanan pentanahan

yang biasa disebut Earth Tester atau Ground Tester. Alat ukur untuk beberapa fungsi sampai dengan yang banyak fungsi dan kompleks. Penunjukkan alat ukur ini ada yang analog ada pula yang digital dan dengan cara pengoperasian yang mudah serta aman. Untuk lingkungan kerja yang cukup luas, sangat disarankan untuk memiliki alat semacam ini. Bahasan dalam bagian ini menjelaskan tentang prinsip-prinsip pengujian pengukuran tahanan pentanahan, teknik pengukuran yang presisi baik untuk elektroda tunggal maupun banyak.

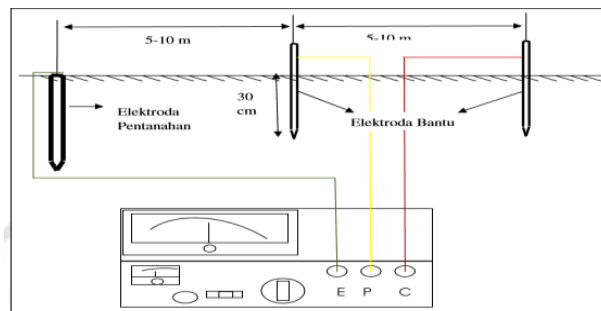
1. Metode Von Werner

Metode ini disebut juga dengan metode empat batang karna menggunakan empat buah elektroda dalam pengukurannya. Cara pengukuran dilakukan dengan terlebih dahulu mengatur jarak antara elektroda. Jarak antar elektroda adalah sejauh a meter, sehingga jarak antara terminal secara berurut adalah sama. Peralatan ukur akan mengalirkan arus melalaui 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 , maka perbandingan ini adalah nilai tahanan pentanahan R .

2. Metode Pengukuran Dengan Menggunakan Voltmeter dan Amperemeter.

Cara pengukuran adalah dengancara penghantar pembumian dihubungkan dengan penghantar phasa instalasi melalui gawai proteksi arus lebih, sakelar, tahanan yang dapat diatur dari $20\ \Omega$ sampai $1000\ \Omega$, dan Amperemeter. Antar titik sirkit setelah amperemeter dengan elektroda bumi bantu dipasang voltmeter. Jarak elektroda bantu disesuaikan dengan jenis elektroda yang digunakan. Jika elektroda batang atau pipa maka elektroda bantu harus berjarak sekurang-kurangnya 20 meter dari elektroda yang akan diukur. Pada saat sakelar dimasukkan, tahanan tersebut harus dalam keadaan maksimum. Setelah sakelar dimasukkan, tahanan diatur sedemikian rupa hingga amperemeter dan voltmeter menunjukkan simpangan secukupnya sesuai dengan apa yang diharapkan oleh operator. Hasil bagi dari tegangan dan arus yang ditunjukkan oleh alat ukur tersebut adalah tahanan pembumian yang diukur.

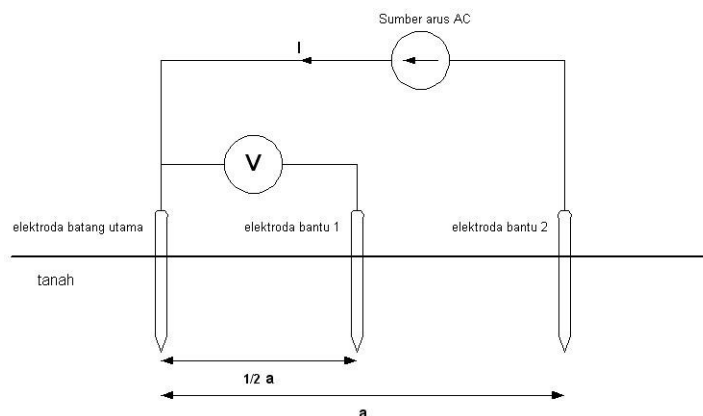
3. Pengukuran tahanan tanah dengan menggunakan Earth Tester Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara metode tiga titik (three-point method) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya. Pengukuran dengan Earth Tester dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Pengukuran tahanan tanah dengan Earth Tester

4. Metode Tiga Titik (three Point Method)

Pengukuran nilai tahanan pentanahan yang menggunakan metode tiga titik biasa disebut juga sebagai metode fall of potensial. Sistem tahanan pentanahan yang menggunakan metode tiga titik (three point method) memiliki tujuan yaitu untuk pengukuran tahanan tanah yang diukur. Pada pengukuran dengan metode tiga titik ini elektroda kedua (C2) yang ditanamkan dengan jarak yang ditentukan D dari elektroda pertama (C1) yang telah ditanamkan ke pentanahan. Sedangkan jarak elektroda ketiga (P2) ditanamkan dengan kejauhan melebihi jarak D . (Mubarok et al., 2022).



Gambar 2. 8 Pengukuran Resistansi Tanah dengan Menggunakan Metode Tiga Titik

Pada gambar 2.8, a adalah jarak antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 2, dan elektroda batang bantu 1 dimasukkan ke tanah dengan jarak minimal $\frac{1}{2} a$ dari elektroda batang utama. Setelah menetapkan besar arus yang dialirkan ke tanah dan didapatkan hasil pengukuran pada Voltmeter, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai persamaan.

$$U = R.I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

Dimana:

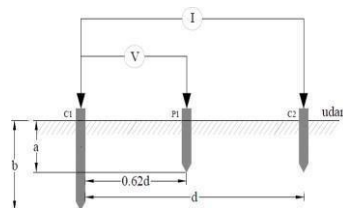
U= tegangan yang terukur oleh voltmeter (volt)

I= arus yang terukur pada Amperemeter (ampere)

R= resistansi tanah (Ω)

5. Pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode *Driven Rod*

Metode *Driven Rod* (tiga pancangan) atau Metode *Fall Of Potential* cocok digunakan dalam keadaan normal, seperti garis transmisi pada sistem pembumian atau permasalahan dalam area, kesemuanya ini disebabkan karena pemasangan yang dangkal, kondisi tanah, penempatan pengukuran area dan tidak samanya jenis tanah pada dua lapisan tersebut. Metode *Driven Rod* ditunjukkan seperti Gambar 2.9 di bawah ini:



Gambar 2. 9 Metode Driven Rod

2.1.6 Arduino uno R3

Menurut (Ii, n.d.-a) Arduino uno R3 adalah mikrontroler berbasis ATmega 328. Mikrokontroler adalah sebuah sistem yang dapat mengontrol peralatan elektronik. Sebuah mikrokontroler umumnya berisi sebuah memori dan antarmuka I/O yang dikemas dalam sebuah chip. Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan produk mikro elektronika, kini telah mengembangkan generasi arduino, yang merupakan open-source arduino environment yang digunakan untuk penulisan kode.

Dengan menggunakan arduino penulisan kode menjadi mudah dan kode yang

ditulis dapat diupload ke kit arduino tersebut. Software ini dapat digunakan pada Windows, Mac OS (Macintosh Operating System), dan Linux. Arduino environment ditulis dalam bahasa C. Tetapi bahasa ini sudah dipermudah menggunakan fungsi-fungsi yang sederhana sehingga pemula pun bisa mempelajarinya dengan cukup mudah. adapun bentuk dari modul Arduino uno dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah ini:



Gambar 2. 10 Arduino uno R3

2.1.7 LCD(Liquid Cristal Display) 4x20 character

Menurut (Perdana, 2019) LCD (Liquid Cristal Display) adalah suatu display dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD banyak digunakan sebagai display dari alat-alat elektronika seperti kalkulator, multimeter digital, Jam digital dan sebagainya. LCD dapat dengan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler ARM NUC120. Pada tugas akhir ini LCD yang digunakan adalah LCD 4x20, lebar display 4 baris 20 kolom. Bentuk LCD 4x20 dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2. 11 LCD 20X4 Character

Tabel 2. 1 spesifikasi LCD

No	Nama	Spesifikasi
1	<i>Blue backlight</i>	I2C
2	<i>Display Format</i>	20 Characters x 4 lines
3	<i>Supply voltage</i>	5V
4	<i>Back lit</i>	Blue with White char color
5	<i>Supply voltage</i>	5V
6	<i>Pcb Size</i>	60mm99mm

7	<i>Contrast Adjust</i>	<i>Potentiometer</i>
8	<i>Backlight Adjust</i>	<i>Jumper</i>

2.1.8 Relay 4 channel

Menurut (Elprocus, 2024) Modul Relay 4 channel adalah sebuah perangkat yang memiliki empat relay di dalamnya. Modul ini memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan relay secara individu atau secara bersamaan. Modul ini memiliki dua sisi yang berbeda, yaitu sisi trigger dan sisi switch. Pada sisi trigger, terdapat beberapa terminal dengan fungsi khusus. Terminal VCC atau power supply digunakan sebagai sumber daya dengan tegangan DC 5V. Terdapat juga terminal ground sebagai titik referensi nol.

Selain itu, ada terminal IN1, IN2, IN3, dan IN4 yang digunakan sebagai input data untuk mengontrol masing-masing relay. Dengan kata lain, terminal IN berfungsi sebagai sinyal masukan yang mengendalikan sisi switch pada relay. Pengguna dapat mengirimkan sinyal logika (misalnya HIGH atau LOW) ke terminal input yang sesuai (IN1, IN2, IN3, atau IN4) untuk mengontrol relay yang diinginkan.

Modul Relay 4 channel ini memungkinkan pengguna untuk mengendalikan hingga empat perangkat atau rangkaian secara independen dengan menggunakan sinyal masukan yang sesuai pada terminal input relay yang terkait. Dengan adanya modul ini, pengguna dapat dengan mudah melakukan otomatisasi atau pengendalian perangkat listrik dan elektronik melalui pengaturan sinyal pada modul relay ini. Adapun bentuk dari modul relay 4 channel dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini:



Gambar 2. 12 Modul Relay

Tabel 2. 2 Spesifikasi relay module

<i>Normal voltage</i>	5V DC
<i>Normal current</i>	70mA
<i>Maximum load current</i>	10A/250V AC, 10A/30V DC
<i>Maximum switch voltage</i>	220AC / 30DC
<i>Operate time</i>	≤ 10ms
<i>Release time</i>	≤ 5ms

2.1.9 Sensor arus ACS712

Menurut (Pustaka, 2020) ACS712 adalah Hall Effect current sensor. Hall effect allegro ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian low-offset linear Hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga.

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, switched-mode power supplies dan proteksi beban berlebih yang mana saya gunakan sensor ini dengan batas 5 ampere, bentuk fisik dari sensor arus ACS712 dapat dilihat pada gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2. 13 Sensor arus acs712

2.1.10 Sensor tegangan zmpt101b

Menurut (Pustaka, 2020) Modul sensor ZMPT101B adalah sensor tegangan yang dapat mengukur tegangan dari 0-1000V. Prinsip kerja dari sensor ini adalah dengan menurunkan tegangan masukkan menggunakan step down transformator, kemudian dengan masuk ke op-amp dan akan didapat nilai keluaran yang stabil tergantung dari nilai masukannya. Modul sensor ZMPT101B memiliki dimensi yang kecil akurasi pengukuran yang tinggi, dan konsistensi keluaran yang stabil untuk pengukuran tegangan dan daya. Modul sensor ini biasanya digunakan untuk pengukuran daya/energi, perlengkapan rumah tangga, dan perlengkapan industri. adapun bentuk dari sensor ZMPT101B dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini:



Gambar 2. 14 Sensor tegangan ZMPT101B

2.2 Penelitian Terdahulu

Dari penelitian (Soebardjo, 2022) telah menyelesaikan perancangan serta pembuatan alat. Selain itu, tipe pembumian (seperti Rod, Mesh, dan lainnya) juga sangat berpengaruh. Akan tetapi, performa sistem pembumian jenis apapun sangat bergantung pada musim. Ketika musim penghujan resistansinya akan terpenuhi, akan tetapi ketika musim kemarau umumnya resistansinya akan naik. Atas dasar hal tersebut, maka dalam penelitian ini peneliti mencoba mengendalikan resistansi pembumian tipe mesh, dengan cara menyuntikkan air secara otomatis ke dalam ground mesh ketika resistansinya naik di atas ambang batas yang diijinkan (terutama saat musim kemarau). Sampel alat penelitian dipasang pada Gardu Portal Tegangan Menengah di Laboratorium Teknik Listrik, Politeknik Negeri Jakarta.

Pembumian menggunakan tipe Mesh dengan ukuran 4 x 4 menggunakan jenis kawat tembaga serabut tanpa isolasi (bare conductor) diameter 10 mm, dimana masing-masing mesh berukuran 25 cm x 25 cm, ditanam di dalam tanah dengan kedalaman 1 m. Hasilnya diharapkan mampu mengendalikan resistansi pembumiannya sesuai yang dipersyaratkan dalam Persyaratan Umum PUIL. Dalam

penelitian ini, sistem pengukuran resistansi pembumian menggunakan metode 3-pole- fall-of-potential. Proses injeksi arus, akuisisi tegangan, dan penyuntikkan air dilakukan secara otomatis oleh komputer, menggunakan software LabVIEW. Software ini didedikasikan khusus untuk Automated Test and Automated Measurements.

Selanjutnya dari penelitian (Pokhrel, 2024), penelitiannya ini mengembangkan sistem monitoring pengendalian resistansi pembumian otomatis menggunakan elektroda grounding grid pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 untuk menghubungkan sensor monitoring dengan server berbasis HTTP, yaitu Google Spreadsheet, sebagai media penyimpanan dan pemantauan data. Sistem dirancang untuk memberikan informasi nilai resistansi grounding secara real-time, sehingga memungkinkan pengguna memantau kondisi grounding tanpa harus hadir di lokasi fisik. Dalam implementasinya, sensor mengukur resistansi grounding, kemudian data yang dihasilkan diproses oleh ESP32 untuk dikirimkan ke server melalui koneksi internet. Dengan pendekatan ini, sistem mampu menyediakan informasi yang cepat, akurat, dan mudah diakses oleh pengguna di berbagai perangkat. Namun, kinerja sistem sangat bergantung pada stabilitas koneksi internet, yang sering menjadi tantangan di lokasi PLTS yang umumnya berada di daerah terpencil. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi berbasis IoT, seperti ESP32 dan Google Spreadsheet, dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi monitoring resistansi grounding, meskipun memerlukan solusi tambahan untuk mengatasi kendala jaringan dan daya.

Selanjutnya Penelitian dari Dheeraj kumar menurut (Teknologi, 2021) mikrokontroler berbasis Atmega328P (yang digunakan di Arduino UNO) sehingga dapat melakukan pengujian otomatis dengan kemampuan untuk mengirim data pengukuran melalui internet. Pengaturan ini sepenuhnya dioperasikan dengan baterai dan data dimaksudkan untuk disimpan dalam layanan cloud seperti Amazon Web Services (AWS). Dengan kata lain, memberikan kemampuan IoT pada penguji resistensi arde. Selain itu, diupayakan untuk merancang dan mensimulasikan penguji arde yang bekerja pada metode 61,8 persen serta metode penjepitan menggunakan perangkat lunak TI-TINA juga.

Penguji berfokus pada pengembangan sistem pemantauan jarak jauh resistansi pbumian menggunakan mikrokontroler Atmega328P (Arduino UNO) untuk mengotomatisasi proses pengukuran dan pengiriman data. Sistem ini dirancang untuk mengukur resistansi grounding secara otomatis dan mengirimkan data ke server berbasis web melalui koneksi Ethernet. Dengan integrasi teknologi IoT, sistem memungkinkan pengguna mengakses data secara real-time dari lokasi mana pun, sehingga mempermudah pemantauan dan meningkatkan efisiensi. Namun, keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada komponen yang digunakan, yang dapat memengaruhi kualitas dan akurasi pengukuran, serta stabilitas konektivitas internet.

Lokasi terpencil dengan jaringan yang tidak stabil menjadi salah satu kendala utama. Meski demikian, penelitian ini menegaskan bahwa teknologi IoT dapat menjadi solusi praktis untuk pemantauan resistansi grounding secara jarak jauh. Penelitian yang dilakukan oleh (Asiva Noor Rachmayani, 2015) mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian nilai tahanan tanah berbasis mikrokontroler. Sistem ini dirancang untuk melakukan pengukuran nilai tahanan tanah dan volume zat aditif yang ditambahkan ke tanah dalam berbagai kondisi dan waktu.

Dengan menggunakan komponen yang terjangkau, seperti arduino, sistem ini menawarkan solusi hemat biaya untuk kebutuhan monitoring. Namun, akurasi pengukuran sangat dipengaruhi oleh kualitas sensor yang digunakan. Sensor dengan harga murah dapat menghasilkan data yang kurang konsisten, terutama jika terpapar oleh kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan. Sensor ultrasonik, misalnya, rentan terhadap perubahan lingkungan yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. adapun tabel penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1.	Soebardjo, Achmad (2022)	Sistem monitor dan pengendalian resistansi pbumian tipe mesh	Pada penelitian ini sangat relevan dengan kebutuhan	Alat yang dihasilkan masih dalam tahap validasi dan bukan

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
		gardu portal tegangan menengah	industri untuk memastikan keselamatan dan keandalan sistem pembumian, terutama pada kondisi cuaca yang berubah-ubah.dan juga Alat yang dirancang menggunakan perangkat lunak <i>LabVIEW</i> untuk otomatisasi, yang menunjukkan pemanfaatan teknologi terkini dalam pengukuran dan	prototipe yang siap diproduksi, sehingga aplikasinya di dunia nyata belum teruji sepenuhnya,pengontr olan resistansi sangat bergantung pada kondisi tanah, yang dapat bervariasi secara signifikan di lokasi yang berbeda.
2.	Muhammad Fitra Juliansyah (2024)	Sistem <i>Monitoring</i> Pengendalian Resistansi Pembumian Otomatis Dengan Elektroda <i>Grounding</i> Grid Pada PLTS	Sistem memungkinkan pemantauan nilai resistansi secara langsung, memberikan informasi yang cepat dan akurat kepada pengguna	Kinerja sistem sangat tergantung pada stabilitas koneksi internet, yang dapat menjadi masalah di lokasi dengan jaringan yang tidak stabil.
3.	Dheeraj kumar(2021)	Pemantauan jarak jauh sistem pembumian	Mengintegrasikan teknologi IoT memungkinkan	kualitas dan akurasi pengukuran sangat bergantung pada

No	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			akses data dari lokasi mana pun, memudahkan pemantauan.	komponen yang digunakan, yang mungkin tidak setara dengan pengujian komersial. kinerja sistem sangat bergantung pada konektivitas internet, yang bisa menjadi masalah di lokasi
4.	Wahyu suganda, haer ul pathoni, samr atul fuady (2021)	Sistem pemantauan dan pengendalian nilai tahanan tanah berbasis mikrokontroler	Menggunakan komponen yang terjangkau seperti Arduino membuat sistem ini lebih hemat biaya.	Akurasi pengukuran tergantung pada kualitas sensor yang digunakan. Sensor murah mungkin tidak memberikan hasil yang konsisten. Sensor seperti sensor ultrasonik dapat terpengaruh oleh kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembapan, yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.