

PEMBUATAN JEMBATAN WHEATSTONE UNTUK MODUL PERCOBAAN PENGUKURAN LISTRIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Tugas Akhir Pada Fakultas
Teknik Jurusan Elektro Universitas Medan Area

Oleh :

MARTINI
NIM : 008120018



TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2005

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

2.2.2.2.	Resistansi Belitan Kawat	30
2.2.2.3.	Resistansi Film.....	30
2.3.	Galvanometer.....	31
2.3.1.	Pengertian Galvanometer.....	31
2.3.2.	Kegunaan Galvanometer.....	32
2.3.3.	Prinsip Kerja Galvanometer	33
2.3.4.	Sensitivitas Galvanometer	36
BAB III	PEMBUATAN PERALATAN	
3.1.	Umum	38
3.2.	Lengan Pembanding	39
3.2.1.	Tahanan Dekadis	41
3.3.	Galvanometer.....	44
3.4.	Saklar On-Off	45
3.5.	Push Button.....	46
3.6.	LED	46
3.7.	Terminal Bidang Post.....	47
BAB IV	PERCOBAAN JEMBATAN WHEATSTONE	
4.1.	Prosedur Pemakaian Alat.....	48
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	50
5.2.	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		

RINGKASAN

Skripsi ini berjudul pembuatan jembatan wheatstone untuk laboratorium pengukuran listrik. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang berlokasi di JL. Kolam No. 1 Medan Estate. Rangkaian-rangkaian jembatan dipakai secara luas untuk pengukuran nilai-nilai komponen seperti tahanan, induktansi atau kapasitansi dan parameter rangkaian lainnya yang diturunkan secara langsung dari nilai-nilai komponen frekwensi sudut fasa dan temperatur. Sebagian dari rangkaian dasarnya adalah arus searah dimulai dengan instrumen uji yang dapat dipindahkan (portable). Jembatan Wheatstone digunakan untuk mengukur presisi tahanan cukup tinggi mulai tahanan yang nilainya lebih kecil dari 1 ohm (10^{-2}) sampai dengan beberapa mega ohm (10^2), dengan cara mengatur lengan-lengan perbandingan (faktor pengali), satu bagian tahanan dekadis (tahanan yang nilainya dapat diatur) dan satu bagian merupakan tahanan yang hendak di ukur, sebuah sumber DC (dari baterai) dan sebuah detektor arus nol yang biasanya menggunakan galvanometer atau alat ukur arus sensitive lainnya. x

ABSTRACT

The title of this thesis is The Manufacture of Wheatstone's Bridge for Electrical Measurement Modul Experiment. This research was held at the laboratory of technical faculty in Medan Area University which is located at Jl. Kolam No.1 Medan Estate.

The bridge's circuits was used widely for the measurement of the component's value, such as resistance, inductance or capacitance and other circuit's parameter which were directly derived from the component's value of the angle phase frequency and the temperature.

Some of the fundamental's circuit were direction current, started with test instrument which can be moved (portable). Wheatstone's bridge was used for resistance precision's measurement from a certain ohm's piece resume to some mega ohm.

Comparison's control elected the comparison's arms in ten multiple. The circuit of wheatstone's bridge had resistive arm with a source electrical movement force (GGL or battery) and the detector was Galvanometer or another sensitive current measure instrument.

BAB I

PENDAHULUAN

Pada umumnya, dalam pengukuran dibutuhkan pengukuran instrumen sebagai suatu cara fisis untuk menentukan besaran (kuantitas) atau variable. Instrumen tersebut membantu peningkatan keterampilan manusia dan banyak hal yang memungkinkan seseorang untuk menentukan nilai dari suatu besaran yang tidak diketahui. Tanpa bantuan instrumen tersebut, manusia tidak dapat menentukan besaran tersebut secara akurat. Dengan demikian, sebuah instrumen dapat didefinisikan sebagai sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai besaran dari suatu kuantitas atau variabel.

1.1. Latar Belakang Masalah

Untuk mengukur tahanan (resistansi) dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan menggunakan ohmmeter, mengukur arus dan tegangan (prinsip Hukum Ohm) dan menggunakan peralatan yang menggunakan prinsip jembatan. Masing-masing cara tersebut mempunyai keuntungan dan kerugian.

Rangkaian-rangkaian jembatan dipakai secara luas untuk pengukuran nilai-nilai komponen seperti tahanan, induktansi, kapasitansi, dan parameter lainnya. Rangkaian jembatan hanya membandingkan nilai yang tidak diketahui dengan komponen yang besarnya diketahui secara standar. Ada beberapa peralatan pengukuran yang menggunakan prinsip antara lain Jembatan Wheatstone yang digunakan untuk mengukur tahanan DC, Jembatan Kelvin untuk pengukuran tahanan rendah (misalnya untuk pemeriksaan tahanan kabel), Jembatan Maxwell untuk mengukur induktansi (L), Jembatan Schering untuk mengukur kapasitansi (C).

UNIVERSITAS MEDAN AREA



Jembatan Wheatstone digunakan untuk mengukur tahanan dengan presisi (ketelitian) cukup tinggi mulai tahanan yang nilainya lebih dari 1 ohm (Ω) sampai dengan beberapa mega ohm ($M\Omega$), dengan cara mengatur lengan-lengan pembanding (faktor pengali) mulai dari 0,001 sampai 1000 kali. Rangkaian Jembatan Wheatstone mempunyai 4 bagian lengan resistif yang terdiri dari dua bagian sebagai lengan pembanding (faktor pengali), satu bagian tahanan dekadis (tahanan yang nilainya diatur) dan satu bagian yang merupakan tahanan yang hendak diukur, sebuah sumber DC (dari baterai) dan sebuah detektor arus nol yang biasanya menggunakan galvanometer atau alat ukur arus sensitive lainnya.

1.2. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis membahas dan merancang jembatan Wheatstone. Untuk mendapatkan pembahasan yang semaksimal mungkin dan mudah dipahami, maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Prinsip kerja Jembatan Wheatstone.
2. Pengaturan sensitivitas galvanometer pada Jembatan Wheatstone
3. Mengukur presisi tahanan dengan Jembatan Wheatstone
4. Menentukan letak kesalahan kabel dengan menggunakan Jembatan Wheatstone.

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan adalah untuk merancang peralatan Jembatan Wheatstone yang akan digunakan untuk mengukur tahanan, menentukan letak gangguan kabel pada sistem

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

saluran distribusi dan untuk menambah materi praktikum di Laboratorium Pengukuran Listrik Jurusan Teknik Elektro FT UMA.

1.4. Manfaat Penulisan

Sebuah penulisan dan perancangan seharusnya mempunyai manfaat tertentu sesuai dengan tujuan dilakukan penulisan. Adapun manfaat penulisan dan perancangan peralatan ini adalah:

1. Bagi Penulis

Dengan melakukan penulisan langsung penulisan akan dapat membandingkan penerapan dari teori-teori yang didapat selama di bangku kuliah, sehingga dapat membandingkan wawasan, kemampuan dan pengetahuan.

2. Bagi Pihak Laboratorium Universitas Medan Area.

Hasil perancangan peralatan untuk membantu pengadaan peralatan dan penambahan materi praktikum pada suatu laboratorium dapat dijadikan suatu tolok ukur atau bahan pertimbangan untuk mengevaluasi hasil penerapan dalam studi bidang pengukuran listrik untuk melakukan perubahan dan perkembangan dalam upaya meningkatkan mutu pada alat-alat ukur di Laboratorium Pengukuran Listrik Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

3. Bagi Pihak Lain.

Hasil penulisan dan perancangan ini bagi pihak lain sebagai bahan pembandingan untuk pihak yang membutuhkan dan titik tolak bagi penelitian yang lebih luas dan mendalam. Selain itu untuk mendorong mahasiswa untuk lebih kreatif menerapkan ilmu yang telah didapatnya di bangku kuliah dengan membuat

peralatan yang bermanfaat bukan hanya untuk keperluan laboratorium, tetapi dapat digunakan untuk kepentingan masyarakat yang lebih luas.

1.5. Sistematika Penulisan

Adapun tulisan ini disusun dalam sistematika yang terdiri dari lima Bab, yang masing-masing bab terbagi atas sub-sub bab yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- Bab I : Merupakan Bab pendahuluan yang berisikan tentang Latar Belakang Masalah, Pembatasan Masalah, Tujuan Penulisan, Manfaat Penulisan Dan Perancangan dan Sistematika.
- Bab II : Merupakan tinjauan pustaka secara umum dari pembahasan skripsi ini pada bab-bab selanjutnya, bab ini menguraikan tentang hukum Ohm, Metode Pengukuran Tahanan, Jenis-jenis Jembatan. Prinsip Kerja dri berbagai Jenis Jembatan, Pengaruh Tegangan Baterai, Resistansi, Jenis-Jenis Resistansi, Galvanometer, Kegunaan Galvanometer, Prinsip Kerja Galvanometer, Sensitivitas Galvanometer.
- Bab III : Merupakan bab yang berisikan rangkaian Jembatan Wheatstone pembuatan peralatan, pemilihan resistansi, galvanometer, pembuatan tahanan dekadis dan tahan pembanding, penggunaan sumber DC pada jembatan Wheatstone.
- Bab IV : Merupakan bab yang berisikan pemakaian Jembatan Wheatstone untuk mengukur tahanan, dan mengukur letak kesalahan kabel.
- Bab V : Merupakan bab yang berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Elemen pasif yang sederhana, yaitu tahanan dapat diperkenalkan dengan meninjau hasil kerja seorang ahli Fisika dari Negara Jerman pada tahun 1872 yang bernama "George Simoh Ohm" yang menemukan "*Die Galvanische Kette Mathematisch Bearbeitet*". Pada penemuan tersebut terkandung dari hasil salah satu usaha pertamanya yaitu mengukur arus dan tegangan dengan menghubungkan secara matematis. Salah satu hasilnya adalah pernyataan mengenai hubungan bersifat dasar yang sekarang kita sebut *hukum Ohm*.

Hukum Ohm menyatakan bahwa tegangan pada berbagai jenis bahan pengantar adalah berbanding lurus dengan arus yang mengalir dan tahanan bahan tersebut :

$$V = R \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana konstanta pembanding R dinamai resistansi (tahanan). Satuan tahanan adalah Ohm, yang sama dengan 1 V/A dan biasanya disingkat dengan Ω (omaga).

Jika persamaan (2.1) digambarkan pada sumbu-sumbu V terhadap I, maka diperoleh sebuah garis lurus yang melalui titik asal. Persamaan tersebut adalah linier, dan dikatakan sebagai tahanan linier. Perbandingan (ratio) di antara arus dan tegangan dari suatu elemen rangkaian sederhana adalah

sebuah konstanta, maka elemen tersebut adalah ratio (perbandingan) tegangan terhadap arus.

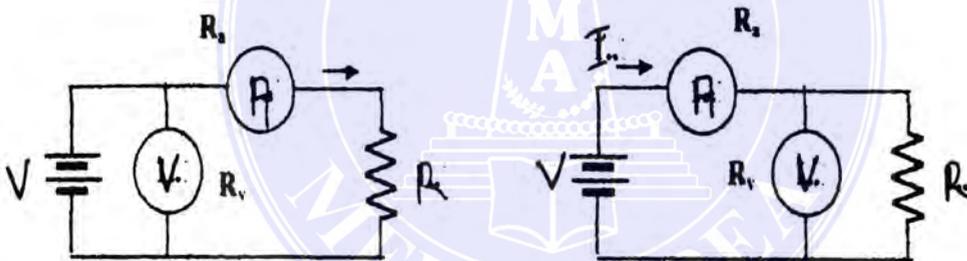
2.1.1. Metode Pengukuran Tahanan

Untuk mengukur besar tahanan dapat dilakukan dengan berbagai cara :

1. Dengan mengukur arus dan tegangan

Dengan mengukur tegangan dan arus yang melalui suatu tahanan, maka nilai tahanan tersebut dapat di hitung dengan menggunakan hukum Ohm $R = \frac{V}{I}$

Tahanan dapat diukur dengan dua (2) cara yaitu: menghubungkan amperemeter dan menghubungkan voltmeter. Mengukur tahanan dapat dirangkai seperti pada gambar dibawah ini:



a. Untuk tahanan yang besar

a. Untuk tahanan yang kecil

Gambar 2.1: Hubungan amperemeter dan voltmeter

Pada gambar (a) amperemeter mengukur arus yang sebenarnya pada R, tetapi tegangan yang dibaca pada voltmeter merupakan jumlah tegangan pada R dan kerugian tegangan pada amperemeter (amperemeter mempunyai tahanan dalam R_a), sehingga tegangan yang diukur pada voltmeter adalah:

$$V = IR + IR_a = I (R + R_a) \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan pada gambar (b) voltmeter mengukur tegangan pada R, tetapi arus yang dibaca pada amperemeter merupakan jumlah arus pada R dan arus pada voltmeter (voltmeter mempunyai tahanan dalam R_v), sehingga arus yang diukur pada amperemeter adalah:

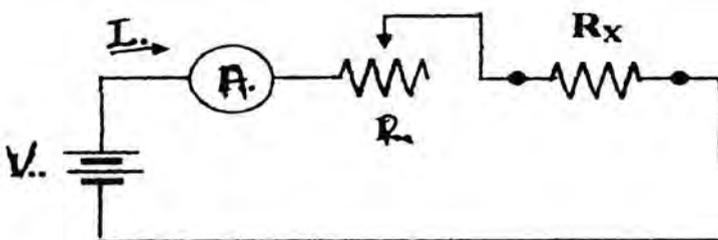
$$I_a = \frac{V}{R} + \frac{V}{R_v} = V \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_v} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Hubungan seperti pada gambar 2.1 (a) untuk pengukuran rangkaian-rangkaian elektronika (arus yang kecil) sedangkan hubungan seperti pada gambar 2.1 (b) untuk rangkaian dengan arus yang besar.

2. Pengukuran Tahanan Dengan Ohmmeter

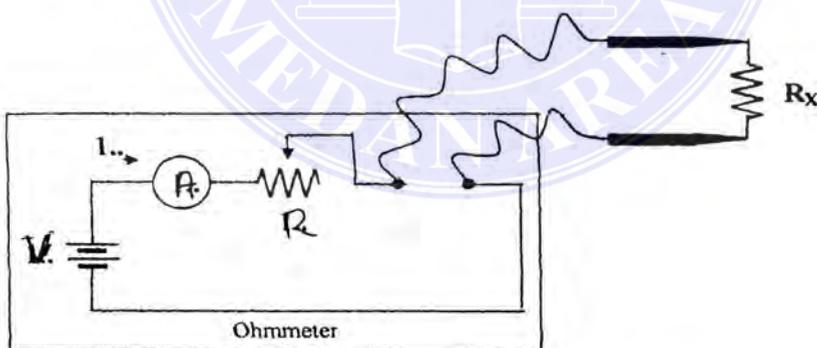
Defleksi (penyimpangan) yang terjadi jarum penunjukan pada alat ukur listrik sesuai dengan arus yang mengalir pada belitan (*coil*) alat ukur tersebut. Arus yang mengalir ini dapat dikalibrasikan dengan tegangan (pada voltmeter), tahanan (pada ohmmeter), temperatur (akibat perubahan tahanan/arus pada suatu bahan) dan lain sebagainya. Prinsip kerja dari ohmmeter dapat dijelaskan sebagai berikut:

Ohmmeter terdiri dari sumber DC, amperemeter, dan tahanan variabel R dengan rangkaian seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Rangkaian dasar ohmmeter

Tahanan yang hendak di ukur R_x dihubungkan seri dengan tahanan variabel R misalnya tahanan dekadis, amperemeter dan sumber DC. Tahanan total R harus lebih besar dari R_x . Tahanan R diatur sehingga menunjukkan arus pada amperemeter. Tahanan R_x kemudian di buka dan terminalnya di hubung-singkat. Tahanan dekadis R diatur sedemikian rupa sehingga pada waktu R_x terpasang. Selisih pembacaan nilai tahanan dekadis R pada kedua kondisi sama dengan nilai tahanan R_x . Modifikasi rangkaian pada gambar 2.3 dengan mengubah tahanan dekadis menjadi tahanan variabel merupakan rangkaian dasar ohmmeter. Prosedur pengukuran dilakukan pertama kali dengan cara menghubungkan singkat kedua terminal pengukuran dan mengatur tahanan variabel R sehingga amperemeter menunjukkan nilai pada skala penuhnya. Tanpa mengubah tahanan variabel, kedua terminal pengukuran dihubungkan dengan tahanan yang hendak diukur.



Gambar 2.3. Rangkaian dasar ohmmeter

Arus yang di baca pada saat tersebut lebih dari kecil skala penuhnya ketika kedua terminal dihubung-singkat dan besar arus pada saat tersebut dikalibrasikan dengan skala ohm.



3. Pengukuran Dengan Metode Jembatan

Untuk mengukur tahanan/impedansi yang lebih akurat digunakan rangkaian jembatan. Rangkaian dasar jembatan terdiri dari 4 buah tahanan atau impedansi yang dihubungkan dalam bentuk jembatan (*diamond*), 1 buah sumber tegangan dan 1 buah pendeteksi arus (*galvanometer*). Pada pengukuran dengan metode jembatan di kenal dua macam yaitu: Metode Jembatan Wheatstone dan Metode Jembatan Kelvin.

2.1.2. Jenis-Jenis Jembatan

Pada rangkaian jembatan terdapat dua jenis jembatan yaitu:

1. Jembatan arus searah dipakai secara luas untuk pengukuran nilai-nilai komponen seperti tahanan, induktansi atau kapasitansi, dan parameter rangkaian lainnya yang diturunkan secara langsung dari nilai-nilai komponen, seperti frekwensi, sudut fasa dan temperatur. Jembatan arus searah terdiri dari dua jenis, yaitu :
 - a. *Jembatan Wheatstone* digunakan untuk mengukur presisi tahanan dari ringkasan pecahan 1 ohm (Ω) sampai beberapa mega ohm ($M\Omega$).
 - b. *Jembatan Kelvin* digunakan untuk pengukuran tahanan rendah dan perangkat uji (test set) untuk pemeriksaan tahanan kabel.
2. Jembatan arus bolak-balik merupakan perluasan dari jembatan arus searah dan dalam bentuk dasarnya terdiri dari 4 lengan jembatan, sumber eksitasi, dan sebuah detektor arus nol.

Jembatan arus bolak-balik terdiri dari 3 jenis, yaitu :

- a. *Jembatan Maxwell* digunakan untuk mengukur sebuah induktansi yang tidak diketahui dinyatakan dalam kapasitansi yang diketahui.
- b. *Jembatan Schering* merupakan salah satu jembatan arus bolak-balik yang dipakai secara luas untuk pengukuran kapasitor.
- c. *Jembatan Wien* merupakan salah satu jembatan arus bolak-balik yang digunakan untuk mengukur frekwensi dan bermanfaat untuk berbagai rangkaian lainnya.

2.1.2.1. Pengertian Jenis-Jenis Jembatan

1. *Jembatan Wheatstone*

Jembatan Wheatstone mempunyai 4 lengan resistif beserta sebuah sumber Gaya Gerak Listrik (GGL) atau baterai dan sebuah detektor arus nol (galvanometer) atau alat ukur arus sensitive lainnya. Jembatan Wheatstone digunakan untuk pengukuran presisi tahanan dari ringkasan pecahan 1Ω sampai beberapa megaohm ($M\Omega$).

2. *Jembatan Kelvin*

Jembatan Kelvin merupakan perubahan (modifikasi) dari jembatan dan menghasilkan ketelitian (akurasi) jauh lebih besar dalam pengukuran tahanan-tahanan rendah (Low value resistance) yang umumnya di bawah 1Ω sampai paling rendah $0,0001 \Omega$.

3. *Jembatan Maxwell*

Jembatan Maxwell adalah jembatan untuk mengukur sebuah induktansi yang tidak diketahui dinyatakan dalam kapasitansi yang diketahui. Salah satu

lengan perbandingan mempunyai sebuah tatanan dan sebuah kapasitansi dalam hubungan paralel.

4. Jembatan Schering

Jembatan Schering merupakan salah satu arus bolak-balik yang paling penting, dipakai secara luas untuk pengukuran kapasitor. Jembatan ini memberikan beberapa keuntungan nyata atas jembatan pembanding kapasitansi. Walaupun Jembatan Schering digunakan untuk pengukuran kapasitansi juga sangat bermanfaat untuk mengukur sifat-sifat isolasi yakni pada sudut-sudut fasa yang sangat mendekati 90° .

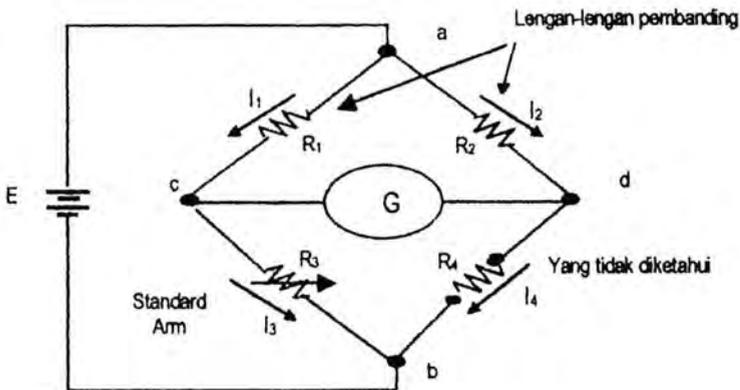
5. Jembatan Wien

Jembatan Wien dikemukakan bukan hanya untuk pemakaian sebagai jembatan arus bolak-balik, akan tetapi juga digunakan untuk mengukur frekwensi dan untuk berbagai rangkaian lainnya.

2.1.2.2. Prinsip Kerja Jenis-Jenis Jembatan

1. Prinsip Kerja Jembatan Wheatstone

Rangkaian dasar dari jembatan Wheatstone dapat dilihat seperti pada gambar 2.4 (a) sedangkan gambar 2.4 (b) menunjukkan instrumen jembatan Wheatstone.



Gambar 2.4 (a) Skema rangkaian jembatan yang disederhanakan



Gambar 2.4 (b) Gambar Instrument Jembatan Wheatstone

Gambar 2.4 (b) adalah sebuah jembatan portabel (self-contained).

Operasinya di dasarkan pada gambar 2.4 (a). Arus melalui galvanometer bergantung pada beda potensial antara titik c dan d. Jembatan disebut seimbang

UNIVERSITAS MEDAN AREA
jika beda potensial pada galvanometer adalah 0V, artinya tidak ada arus pada

galvanometer. Kondisi ini terjadi bila tegangan dari titik c ke a sama dengan tegangan dari titik d ke a, atau dengan mendasarkan ke terminal lainnya, jika tegangan dari titik c ke b sama dengan tegangan dari titik d ke b jadi jembatan setimbang jika :

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika arus galvanometer adalah nol, kondisi-kondisi berikut juga dipenuhi :

$$I_1 = I_3 = \frac{E}{R_1 + R_3} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dan

$$I_2 = I_4 = \frac{E}{R_2 + R_4} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan menghubungkan persamaan (2.4), (2.5) dan (2.6) dan menyederhanakannya, maka diperoleh :

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{R_2}{R_2 + R_4} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

atau

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Persamaan (2.8) merupakan bentuk yang telah dikenal dalam bentuk keseimbangan Jembatan Wheatstone. Jika 3 dari tahanan-tahanan tersebut diketahui, tahanan ke empat dapat ditentukan dari persamaan (2.8). Berarti, jika R_4 tidak diketahui, tahanannya R_x dapat dinyatakan oleh tahanan-tahanan yang lain yaitu :

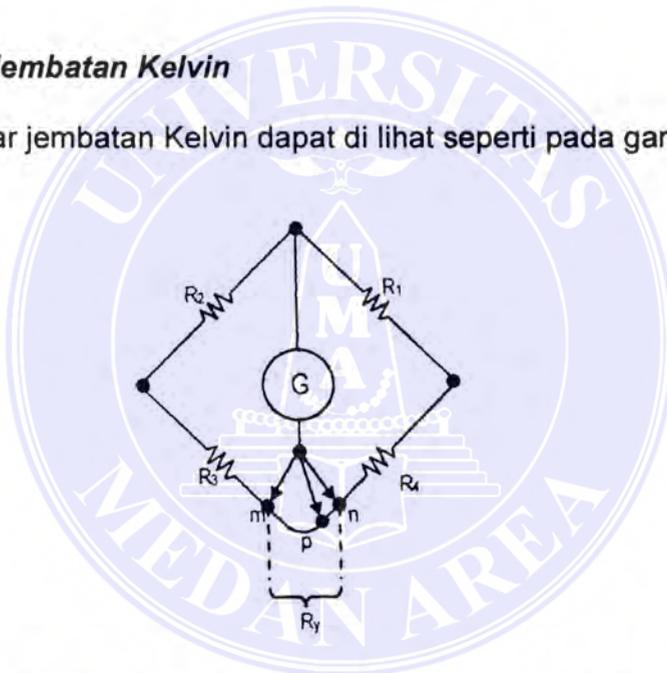
$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Tahanan R_3 disebut lengan standar dari jembatan, dan tahanan R_2 dan R_1 disebut lengan-lengan pembanding (faktor pengali).

Pengukuran tahanan R_x yang tidak diketahui tidak tergantung pada karakteristik atau kalibrasi galvanometer defleksi nol apabila detektor nol tersebut mempunyai sensitivitas yang cukup untuk menghasilkan posisi seimbang jembatan pada tingkat presisi yang diperlukan.

2. Prinsip Kerja Jembatan Kelvin

Rangkaian dasar jembatan Kelvin dapat di lihat seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5. Rangkaian Jembatan Kelvin, menunjukkan tahanan R_y dari kawat titik m ke titik n

Dari rangkaian jembatan yang ditunjukkan dalam gambar 2.5 dimana R_y dinyatakan tahanan kawat penghubung dari R_3 ke R_x . Dua jenis hubungan galvanometer adalah mungkin, yaitu ke titik m atau ke titik n. Bila galvanometer dihubungkan ke titik m, tahanan R_y dari kawat penghubung dijumlahkan ke tahanan R_3 yang tidak diketahui, dan menghasilkan indikasi (petunjuk) R_x yang

lebih tinggi. Bila hubungan di buat ke titik n, R_y dijumlahkan ke lengan jembatan R_3 dan hasil pengukuran R_x yang seharusnya akan lebih rendah, sebab nilai dari R_3 menjadi lebih besar dari nilai nominalnya sebesar R_y . Jika galvanometer dihubungkan ke sebuah titik p diantara titik m ke p sama dengan perbandingan tahanan-tahanan R_1 dan R_2 dapat dituliskan :

$$\frac{R_{np}}{R_{mp}} = \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan setimbang untuk jembatan memberikan :

$$R_x + R_{np} = \frac{R_1}{R_2} (R_3 + R_{mp}) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (2.10) ke dalam persamaan (2.1) diperoleh :

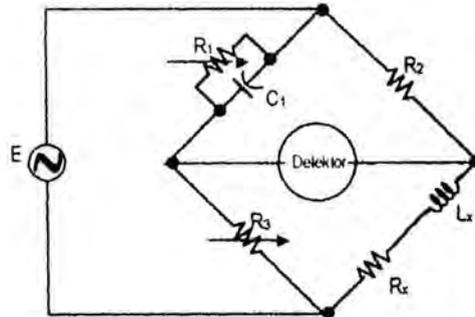
$$R_x + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) R_y = \frac{R_1}{R_2} \left[R_3 + \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) R_y \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

yang setelah disederhanakan menjadi :

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan (2.13) adalah persamaan setimbang yang umum yang dikembangkan terhadap Jembatan Wheatstone dan menunjukkan efek tahanan kawat penghubung dari titik m ke n telah dihilangkan dengan menghubungkan galvanometer ke posisi p.

3. Prinsip Kerja Jembatan Maxwell



Gambar 2.6. Jembatan Maxwell untuk pengukuran induktansi.

Jembatan Maxwell yang diagram skemanya, ditunjukkan pada gambar 2.6. Dalam hal ini adalah lebih mudah untuk menuliskan persamaan keseimbangan dengan menggunakan admitansi lengan, sebagai pengganti impedansi. Dengan menyusun persamaan umum kesetimbangan jembatan di peroleh :

$$Z_x = Z_2 Z_3 Y_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana Y_1 adalah admitansi lengan 1. Dengan melihat kembali gambar 2.6 ditunjukkan bahwa :

$$Z_2 = R_2 : Z_3 = R_3 \text{ dan } Y_1 = \frac{1}{R_1} + j \omega C_1$$

Substitusi harga-harga ini ke dalam persamaan (2.14) memberikan :

$$Z_x = R_x + j \omega L_x = R_2 \cdot R_3 \left(\frac{1}{R_1} + j \omega C_1 \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

Pemisahan bagian nyata dan bagian khayal memberikan :

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dan
UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$L_x = R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana tatanan dinyatakan dalam ohm, induktansinya dalam Henry dan kapasitansi dalam Farad.

Jembatan Maxwell terbatas pada pengukuran kumparan dengan Q menengah ($1 < Q < 10$). Jembatan ini dapat ditunjukkan dengan memperhatikan syarat seimbang kedua yang menyatakan bahwa sudut fasa 1 pasang lengan yang berhadapan harus sama dengan jumlah sudut-sudut fasa pasangan lainnya. Karena sudut fasa dari elemen-elemen resistif dalam lengan 2 dan lengan 3 berjumlah 0° . Jumlah sudut-sudut lengan 1 dan lengan 4 juga harus berjumlah 0° . Sudut fasa dengan sebuah komponen dengan Q tinggi akan sangat mendekati 90° (positif). Yang menghendaki bahwa sudut fasa lengan kapasitif juga harus mendekati 90° (negatif). Jembatan ini selanjutnya berarti bahwa tahanan R_1 harus sungguh-sungguh sangat tinggi yang bisa sangat tidak praktis. Dengan demikian kumparan-kumparan Q tinggi umumnya diukur dalam jembatan Hay.

Jembatan Maxwell tidak sesuai untuk pengukuran kumparan dengan nilai yang sangat rendah. ($Q < 1$) karena masalah pemusatan keseimbangan. Sebagai contoh nilai Q yang sangat rendah terdapat dalam tahanan induktif atau dalam kumparan Frekwensi Radio (FR) jika di ukur pada frekwensi rendah. Bagaimana dapat dilihat dari persamaan R_x dan L_x pengaturan keseimbangan induktif oleh R_3 akan mengganggu keseimbangan resistif R_1 dan menghasilkan efek yang disebut seimbang bergeser (sliding balance). Setimbang bergeser menjelaskan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

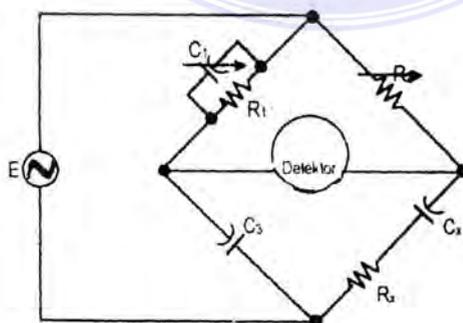
interaksi antara pengontrolan, sehingga kita menyeimbangkan dengan R_1 dan kemudian dengan R_3 dan kembali lagi ke R_1 , kita mendapatkan titik setimbang baru. Titik setimbang tampak bergerak atau bergeser menuju titik akhirnya melalui banyak pengaturan. Interaksi tidak terjadi dengan menggunakan R_1 dan C_1 sebagai pengatur kesetimbangan, tetapi sebuah kapasitor variable tidak selalu memenuhi.

Prosedur yang biasa untuk menyetimbangkan jembatan Maxwell adalah dengan terutama mengatur R_3 untuk kesetimbangan induktif dan kemudian mengatur R_1 untuk kesetimbangan resistif. Kembali ke pengaturan R_3 ternyata bahwa kesetimbangan resistif telah terganggu dan berpindah ke suatu nilai baru. Proses ini diulangi dan memberikan pemusatan yang lambat kesetimbangan akhir. Untuk kumparan-kumparan Q menengah, efek tahanan tidak dinyatakan, dan kesetimbangan tercapai melalui beberapa pengaturan

4. Prinsip Kerja Jembatan Schering

Rangkaian dasar Jembatan Schering dapat dilihat seperti pada gambar

2.7



Gambar 2.7. Jembatan Schering untuk Pengukuran Kapasitansi

Pemeriksaan rangkaian menunjukkan suatu kemiripan yang kuat terhadap jembatan pembanding. Lengan 1 mengandung kombinasi paralel sebuah tahanan dan sebuah kapasitor dan lengan standar hanya terdiri sebuah kapasitor. Biasanya kapasitor standart adalah sebuah kapasitor mika bermutu tinggi dalam pemakaian pengukuran yang umum, atau sebuah kapasitor udara yang gunanya untuk pengukuran isolasi. Sebuah kapasitor mika bermutu tinggi mempunyai kerugian (losses) yang sangat rendah (tidak ada tahanan) dan karena itu mempunyai sudut fasa yang mendekati 90° . Sebuah kapasitor udara yang dirancang secara cermat memiliki nilai yang sangat stabil dan medan listrik yang sangat kecil, bahan isolasi yang akan diuji dapat dengan mudah dihindari dari setiap medan yang kuat.

Persyaratan setimbang menginginkan bahwa sudut fasa lengan 1 dan lengan 4 sama dengan lengan 2 dan lengan 3 akan menjadi $0^\circ + 90^\circ = 90^\circ$. Agar menghasilkan sudut fasa 90° yang diperlukan untuk keseimbangan, jumlah sudut fasa lengan 1 dan lengan 4 harus sama dengan 90° karena dalam pekerjaan pengukuran yang umum besaran yang tidak dapat diketahui akan memiliki sudut fasa yang lebih kecil dengan menghubungkan kapasitor C_1 paralel terhadap R_1 . Suatu sudut kapasitif yang kecil sangat mudah diperoleh, yakni dengan menghubungkan suatu kapasitor kecil terhadap R_1 .

Persamaan kesetimbangan diturunkan dengan cara yang biasa, dan dengan memasukan nilai-nilai impedansi dan admitansi yang memenuhi kedalam persamaan umum kita peroleh :

$$Z_x = Z_2 Z_3 Y_1 \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = R_2 \left(\frac{-j}{\omega C_3} \right) \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dan dengan menghilangkan tanda kurung :

$$R_x - \frac{j}{\omega C_x} = \frac{R_2 C_1}{C_3} - \frac{jR_2}{\omega C_3 R_1} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan menyamakan bagian nyata dan bagian khayal kita peroleh bahwa :

$$R_x = R_2 \frac{C_1}{C_3} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$C_x = C_3 \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots (2.22)$$

Bagaimana dapat dilihat dari diagram rangkaian gambar 2.7, kedua variabel yang dipilih gunanya untuk pengaturan kesetimbangan adalah kapasitor C_1 dan tahanan R_2 . Tampaknya tidak ada yang tidak bisa dalam persamaan kesetimbangan atau pemilihan komponen variabel ini, tetapi untuk sementara kita tinjau bagaimana kualitas sebuah kapasitor didefinisikan.

Faktor daya (power faktor, PF) dari sebuah kombinasi seri RC didefinisikan sebagai cosinus sudut fasa rangkaian. Dengan demikian faktor daya yang tidak diketahui sama dengan $PF = R_x / Z_x$. Untuk sudut-sudut fasa yang sangat mendekati 90° , reaktansi hampir sama dengan impedansi dan kita dapat mendekati faktor daya menjadi :

$$PF \approx \frac{R_x}{X_x} = \omega C_x R_x \dots\dots\dots (2.23)$$



Faktor disipasi (dissipation factor) dari sebuah rangkaian seri RC didefinisikan sebagai cotangen sudut fasa dan karena itu, menurut definisi, faktor disipasi adalah :

$$D = \frac{R_x}{X_x} = \omega C_x R_x \dots\dots\dots (2.24)$$

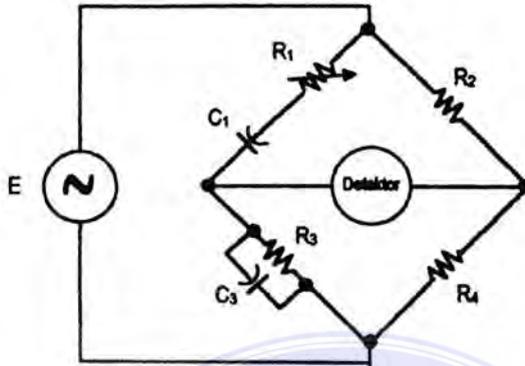
Disamping itu karena kualitas sebuah kumparan didefinisikan oleh $Q = X_L / R_L$, kita peroleh bahwa faktor disipasi D adalah kebalikan dari faktor kualitas Q, dan berarti $D = 1/Q$. Faktor disipasi memberitahukan kita sesuatu mengenai kualitas sebuah kapasitor, yakni bagaimana dekatnya sudut fasa kapasitor tersebut ke nilai idealnya 90° dengan memasukkan nilai C_x dalam persamaan (2.22) dan R_x dalam persamaan (2.21) ke dalam bentuk faktor disipasi diperoleh :

$$D = \omega R_1 C_1 \dots\dots\dots (2.25)$$

Jika tahanan R_1 dalam jembatan Schering pada gambar 2.7 mempunyai suatu nilai yang tetap, piring jarum (dial) kapasitor C_1 dapat dikalibrasi langsung dalam piringan faktor disipasi D. Ini merupakan hal yang biasa didalam sebuah jembatan Schering. Memperhatikan bahwa suku ω muncul dalam pernyataan faktor disipasi (persamaan 2.25).

Tentunya ini berarti bahwa kalibrasi piringan C_1 hanya berlaku untuk suatu frekwensi yang berbeda dapat digunakan dengan syarat dilakukan suatu koreksi yakni dengan mengalikan pembacaan piringan C_1 terhadap perbandingan dari kedua frekwensi tersebut

5. Prinsip Kerja Jembatan Wien



Gambar 2.8 Pengukuran frekwensi dengan Jembatan Wien

Jembatan Wien memiliki sebuah kombinasi seri RC dalam 1 lengan dan sebuah kombinasi pararel RC dalam lengan disebelahnya (gambar 2.8) impedansi lengan 1 adalah $Z_1 = R_1 - j / \omega C_1$ Admitansi lengan 3 adalah $Y_3 = 1/R_3 + j\omega C_3$. Dengan menggunakan persamaan dasar untuk kesetimbangan jembatan dan memasukan nilai-nilai yang tepat, diperoleh :

$$R_2 = \left(R_1 - \frac{j}{\omega \cdot C_1} \right) R_4 \left(\frac{1}{R_3} + j\omega C_3 \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan menguraikan bentuk ini diperoleh :

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + (j\omega C_3 R_1 R_4) - \frac{jR_4}{\omega C_1 R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan menyamakan bagian-bagian nyata diperoleh

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1} \dots\dots\dots (2.28)$$

Yang berubah menjadi

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3} + \frac{C_3}{C_1} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan menyamakan bagian-bagian khayal diperoleh :

$$\omega C_3 R_1 R_4 = \frac{R_4}{\omega C_1 R_3} \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana $\omega = 2\pi f$

Dan penyelesaian bagian f diperoleh

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 \cdot C_3 \cdot R_1 \cdot R_3}} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

Bila dilihat kedua persyaratan bagi kesetimbangan jembatan dihasilkan sebuah persamaan yang menentukan perbandingan tahanan R_1/R_4 yang diperlukan, dan sebuah persamaan lain yang menentukan frekuensi tegangan yang dimaksudkan. Dengan perkataan lain, jika kita memenuhi persamaan (2.29) dan juga menghidupkan (mengeksitasi) jembatan dengan suatu frekuensi yang diberikan oleh persamaan (2.31), maka jembatan tersebut akan setimbang.

Dalam kebanyakan rangkaian Jembatan Wien, komponen-komponen dipilih sedemikian sehingga $R_1=R_3$ dan $C_1=C_3$ ini menyederhanakan persamaan (2.29) menjadi $R_2/R_4=2$ dan persamaan (2.31) menjadi :

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

Yang merupakan pernyataan umum bagi frekuensi jembatan Wien. Dalam sebuah jembatan praktis, kapasitas C_1 dan C_3 adalah kapasitor-kapasitor tetap, dan tahanan R_1 dan R_2 adalah tahanan variabel yang dikontrol oleh satu pengontrol tunggal. Pengontrol ini dapat dikalibrasi langsung dalam frekuensi.

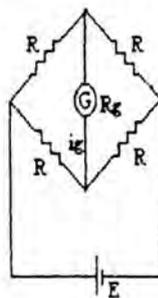
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Karena sensitivitas frekuensinya, Jembatan Wien mungkin sulit dibuat setimbang (kecuali bentuk gelombang tegangan yang dimasukkan adalah sinus murni). Karena jembatan tidak seimbang untuk setiap harmonik yang terdapat didalam tegangan yang dimasukkan, harmonik-harmonik ini adakalanya akan menghasilkan suatu tegangan keluar yang menutupi titik setimbang yang benar.

2.1.3 Jembatan Wheatstone

2.1.3.1. Pengaruh Tegangan Baterai Dan Sensitivitas Galvanometer Tergantung Pada Keseimbangan Jembatan Wheatstone.

Pada pembahasan di atas dianggap bahwa arus yang melalui galvanometer benar-benar nol ketika jembatan seimbang. Dalam praktek atau kondisi eksperimen hal ini berbeda. Tahanan dari jembatan biasanya ada sampai tidak ada arus yang mengalir mengindikasikan oleh galvanometer tidak sensitive lagi ketidakpastian akan selalu diperlihatkan pada keseimbangan jembatan. Kita seharusnya mencoba untuk memperkirakan kesalahan kecil yang diperlihatkan oleh sejumlah ketidakpastian dengan berdasarkan dari gambar 2.9.



Gambar 2.9. Wheatstone Bridge A residual current i_g produces an uncertainly Δ in the determinations of the resistance.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Anggap bahwa jembatan mengindikasikan secara eksperimen dalam keadaan seimbang. Hal ini berarti bahwa arus yang melalui galvanometer i_g berada di bawah batas deteksi dari instrumen. Ketidakpastian atau error Δ sebagai nilai dari tahanan yang tidak diketahui. Dengan menggunakan teori Thevenin ketika mendapat bahwa sebgai kesalahan $\Delta/R \sim [i_g(R+R_g)] / E$. jika lebih lanjut kita menganggap bahwa arus minimum yang dapat di deteksi i_g kira-kira sebesar F dari galvanometer, yang dapat dituliskan dengan persamaan $\Delta/R \sim [F(R+R_g)]/E$. Pada tahanan yang rendah ($R \ll R_g$), $\Delta/R \sim$ sensitivitas tegangan/ E . Untuk nilai yang tinggi ($R \gg R_g$), maka $\Delta/R \sim F.R / E$. Hubungan ini disebut dengan "rule of thumb" yang merupakan kriteria memilih galvanometer dan baterai yang sesuai untuk digunakan pada perhitungan Jembatan Wheatstone.

2.2. Resistor

Resistor atau tahanan merupakan komponen yang paling banyak digunakan dalam rangkaian listrik. Resistor digolongkan sebagai komponen pasif yang berfungsi sebagai penahan arus, pembagi tegangan pendeteksi sinyal yang mengatur jalannya operasi rangkaian terhadap aliran arus, semakin besar nilai resistansi maka tingkat tahanannya semakin besar, sebaliknya jika nilai resistansinya kecil maka tingkat tahanannya kecil.

2.2.1. Kegunaan Resistansi

Tahanan atau resistor merupakan bagian atau komponen elektronika yang mempunyai fungsi untuk menahan arus atau menghambat arus yang mengalir pada resistor. Resistor selain digunakan sebagai menahan arus listrik dan juga dapat digunakan sebagai pembagi tegangan.

2.2.1.1. Karakteristik Resistor

Dua karakteristik utama yang perlu diketahui pada suatu resistor adalah nilai resistansinya dan rating daya. Rating daya sangat perlu diketahui, karena rating menyatakan daya maksimum yang dapat didisipasikan tanpa menimbulkan panas yang berlebihan sehingga dapat menyebabkan resistor rusak terbakar. Yang dimaksud dengan disipasi adalah daya sebesar $I^2 \cdot R$ akan di buang dalam bentuk panas.

Dari kedua karakteristik ini dapat diketahui kemampuan arus yang mengalir pada resistor dan tegangan maksimum yang dapat diberikan pada resistor.

2.2.2. Jenis-Jenis Resistansi

Dari segi bahan pembentuk resistor dikenal beberapa jenis resistor yang selalu digunakan, yaitu :

- a. Resistor karbon (*Carbon resistor*)
- b. Resistor belitan kawat (*Wirewound Resistor*)
- c. Resistor film, yang terdiri dari :
 - Resistor film karbon dan
 - Resistor film metal

Bentuk fisis resistor tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 2.10

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

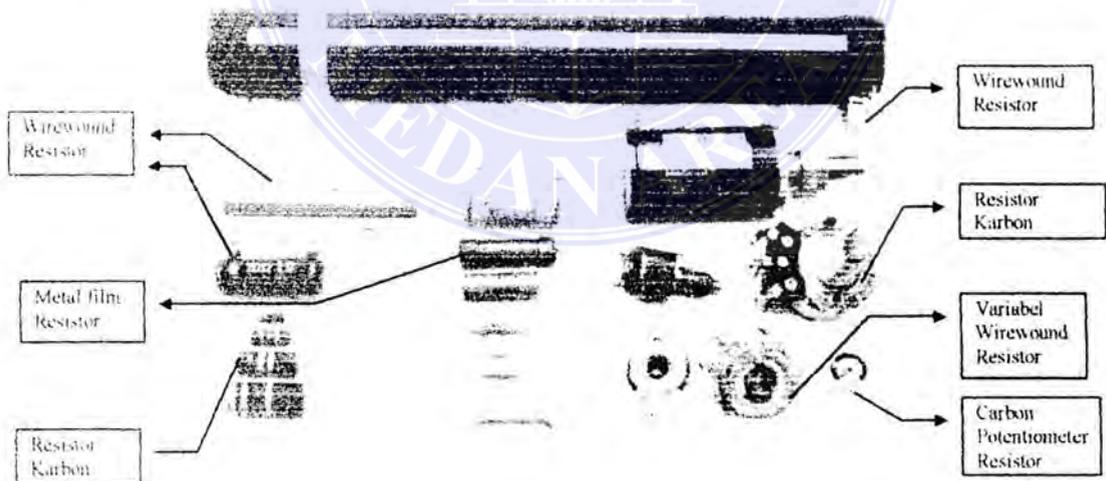
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

2.2.2.1. Resistor Karbon

Resistor karbon merupakan resistor yang paling banyak digunakan pada rangkaian elektronika dan rangkaian elektrik lainnya. Resistor ini pada umumnya mempunyai rating daya yang rendah, mulai dari 0,125 watt sampai dengan 2 watt. Pada umumnya resistor karbon berbentuk silinder (tabung) dengan nilainya ditandai oleh tiga ring warna dan 1 ring warna yang menyatakan toleransinya berdasarkan pada kode standard resistor. Resistor ini dibentuk dari campuran serbuk karbon dengan pengisi non konduktif dan bahan pengikat damar formulasi dicampur lalu dimasukkan dalam tabung berisolasi. Nilai resistansi ditentukan dari perbandingan antara bahan pengisi dengan karbon pada resistor tersebut. Resistor karbon biasanya mempunyai toleransi 5% dan 10% dan rating daya yaitu : $1/8$, $1/4$, $1/2$, 1, dan 2 watt (W).

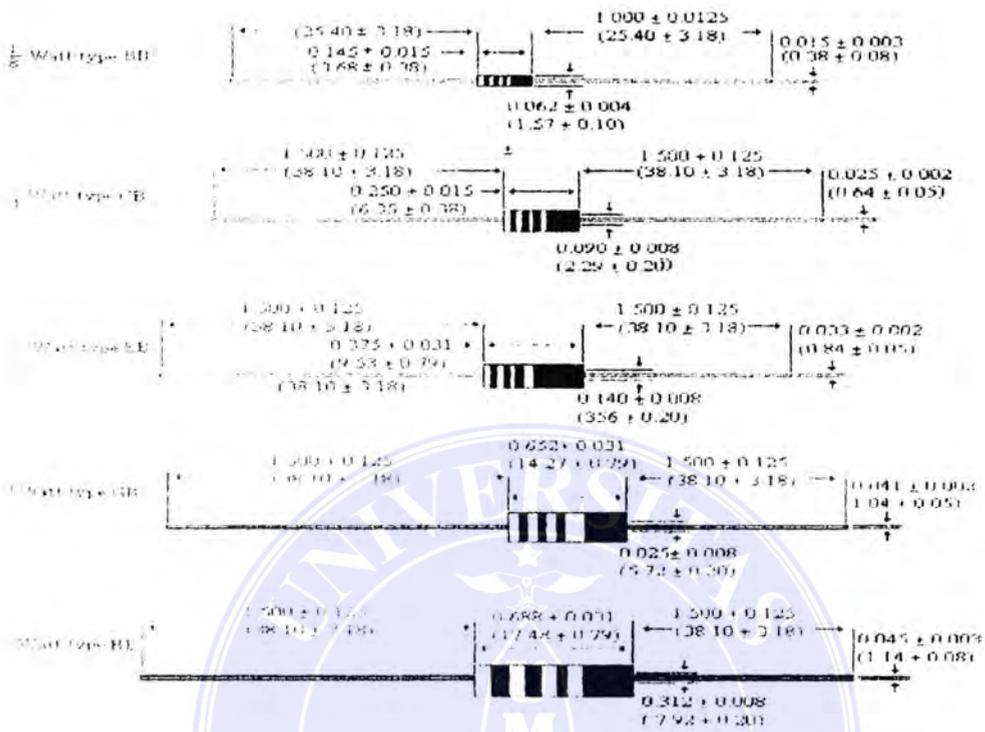


Gambar 2.10. Menunjukkan berbagai jenis bentuk tahanan dengan berbagai rating daya

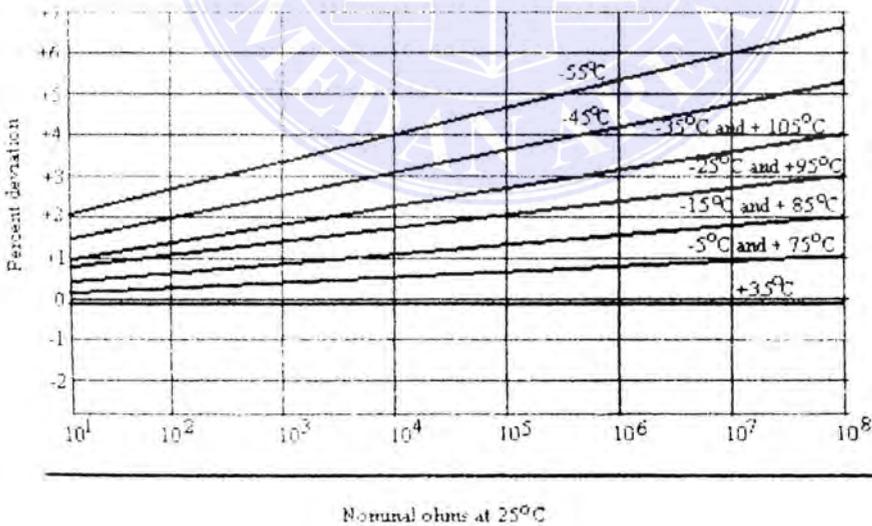
Pada gambar 2.11 diperhatikan ukuran yang sebenarnya dari sejumlah dari sejumlah resistor karbon dengan daya watt yang berbeda-beda.

Nilai tahanan resistor dapat berubah beberapa persen akibat perubahan temperatur dari panas internal. Gambar 2.12 menunjukkan efeknya perubahan nilai resistansi akibat perubahan temperatur. Keuntungan dari resistor karbon adalah dari segi biaya dimana harganya lebih rendah dibandingkan dengan resistor jenis lain, misalnya resistor film dan resistor belitan kawat (*wire wound resistor*)





Gambar 2.11 Ukuran sebenarnya resistor karbon 1/8, 1/4, 1/2, 1 dan 2 watt



Gambar 2.12 Pengaruh temperatur terhadap nilai tahanan



2.2.2.2. Resistor belitan kawat

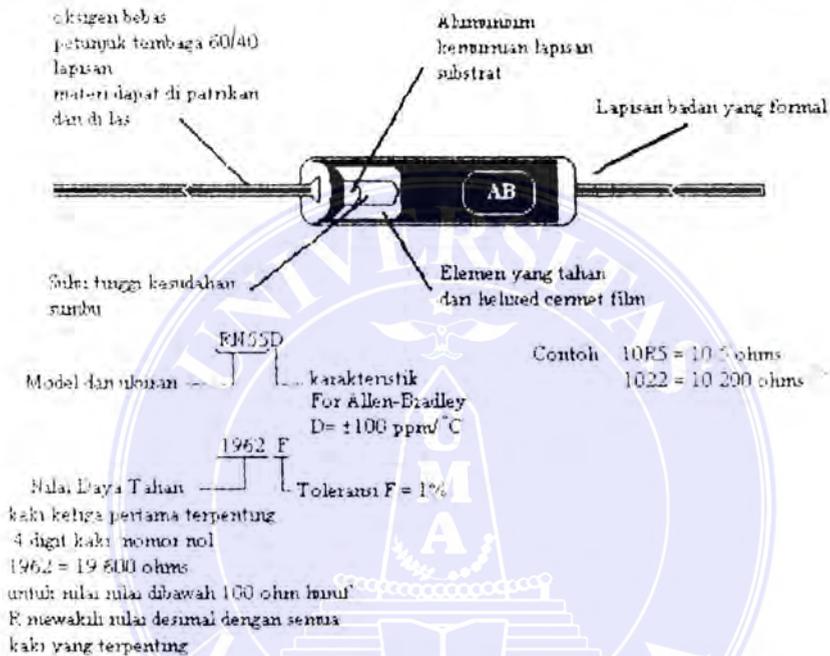
Resistor belitan kawat (*Wire wound resistor*) terbuat dari belitan kawat yang dililit pada bahan isolator. Resistor jenis ini mempunyai nilai toleransi yang lebih kecil tetapi mempunyai rating daya yang lebih besar bila dibandingkan dengan resistor jenis lainnya. Belitan kawat terbuat dari bahan nikelin, campuran manganin, konstanta dan logam campuran lain untuk memperoleh resistansi dengan koefisien temperatur yang rendah. Karena logam campuran ini mempunyai koefisien temperatur yang rendah, maka resistor ini dapat mempertahankan nilai resistansinya yang tetap (toleransinya kecil) baik pada saat panas maupun dingin. Panjang kawat yang dibelitkan pada bahan isolator tergantung dan tahanan jenis kawat menentukan nilai resistansinya. Resistor belitan kawat digunakan pada peralatan yang memerlukan ketelitian yang tinggi dan kestabilan, misalnya pada alat-alat ukur voltmeter, amperemeter, wattmeter dan lain sebagainya.

2.2.2.3 Resistor film

Resistor ini biasanya mempunyai toleransi $\pm 1\%$ bahkan bisa mencapai toleransi yang mendekati 0,05%. Resistor ini biasanya digunakan bila diperlukan akurasi yang tinggi. Semua resistor film elemennya merupakan suatu lapisan tipis (film) dari bahan resistor yang dioleskan pada seluruh permukaan batang atau tube keramik (porselen) atau kaca. Bahan resistor ini bisa berupa karbon yang ditaburkan, karbon yang di tumbuk halus (dalam bentuk serbuk) atau logam lainnya. pada proses pembuatannya, lapisan tipis (film) ini bisa dibentuk dengan jalan penyemprotan, pengembunan dan sebagainya, tergantung pada

UNIVERSITAS MEDAN AREA

jenis bahan yang dipakai. Resistansi tergantung pada bahan yang dipilih dan tebalnya lapisan. Bentuk fisik resistor ini dapat dilihat seperti dalam gambar 2.13. Ditinjau dari segi bahan untuk pembuatannya, dikenal dua jenis resistor film yaitu : Resistor film karbon dan resistor film metal (logam) .



Gambar 2.13. Bentuk fisi resistor film dengan toleransi 1%.

2.3. Galvanometer

2.3.1 Pengertian Galvanometer

Galvanometer adalah alat deteksi arus-arus listrik yang sangat kecil dan juga dapat digunakan untuk mengukur arus yang sangat kecil. Alat ini mempunyai kumparan halus yang digantungkan dengan kawat atau pita halus dari tembaga atau emas, berfungsi sebagai tempat arus masuk dan arus keluar. Kumparan ini dapat berputar dan diletakkan diantara kedua kutub magnet permanen. Jika kumparan dialiri arus, karena pengaruh medan magnet

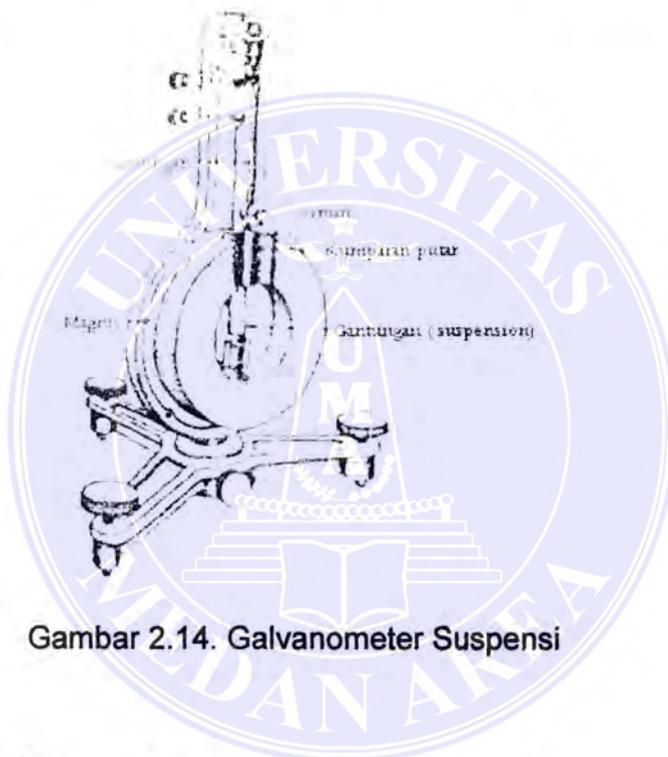
UNIVERSITAS MEDAN AREA
 Kumparan berputar kearah yang ditentukan oleh arah arus melalui kumparan

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dan melawan moment sebuah perlititan atau moment pita penggantung. Untuk mendapatkan penunjukkan yang jelas, pada kumpuran dipasang sebuah cermin kecil yang memantulkan sinar cahaya. Dengan demikian gerakan kumparan yang kecil dapat diperlihatkan dengan putaran pantulan sinar yang lebar pada skala. Galvanometer jenis ini yang sering terdapat adalah dari type D'Arsonval.



Gambar 2.14. Galvanometer Suspensi

2.3.2 Kegunaan Galvanometer

Pengukuran-pengukuran arus searah sebelumnya menggunakan galvanometer dengan sistem gantungan (suspension galvanometer). Instrumen ini merupakan pelopor instrumen kumparan putar, dasar bagi kebanyakan alat-alat penunjuk arus searah yang dipakai secara umum. Gambar 2.14 menunjukkan konstruksi sebuah galvanometer suspensi. Sebuah kumparan (coil) kawat halus digantung dalam medan magnet yang dihasilkan oleh sebuah

magnet permanen. Menurut hukum dasar gaya elektromagnetik kumparan

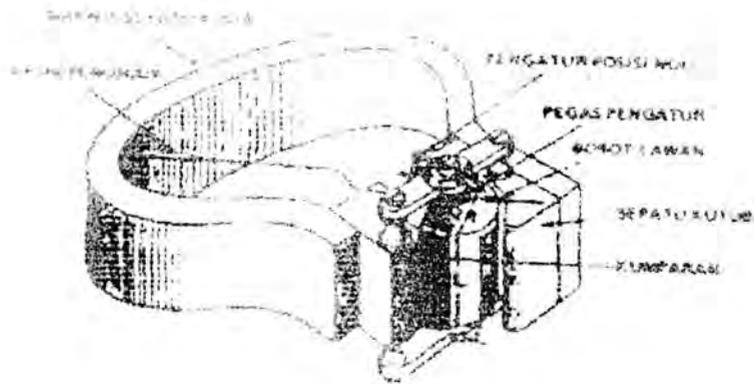
tersebut akan berputar di dalam medan magnet bila dialiri arus listrik. Gantungan kumparan yang terbuat dari serabut halus berfungsi sebagai pembawa arus dari kumparan ke kumparan, dan keelastisan serabut tersebut membangkitkan suatu distorsi yang melawan perputaran kumparan. Kumparan akan terus berdefleksi sampai gaya elektromagnetiknya mengimbangi torsi mekanis lawan dari gantungan. Dengan demikian penyimpangan merupakan ukuran sebanding dengan arus yang mengalir pada kumparan tersebut. Sebuah cermin yang dipasang pada kumparan menyimpangkan seberkas cahaya dan menyebabkan sebuah bintik cahaya yang telah diperkuat bergerak diatas skala pada suatu jarak dari instrumen. Efek optiknya adalah sebuah jarum penunjuk yang panjang dengan massanya nol.

Galvanometer memiliki kesensitifan yang lebih tinggi sebagai pendeteksi arus dengan besaran arus yang dapat diukur dalam μ A sampai mA.

Sebagai tambahan untuk masukan arus dalam peralatan kumparan putar seperti galvanometer, biasanya dilakukan dalam pengukuran arus searah (DC). Untuk dapat melakukan pengukuran arus bolak-balik (AC), maka bagian masukan kumparan putar dapat ditambahkan dengan penyearah arus metode jembatan.

2.3.3 Prinsip Kerja Galvanometer

Galvanometer yang sering digunakan untuk mendeteksi adanya arus adalah dari galvanometer kumparan putar. Kontruksi galvanometer ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.15



Gambar 2.15. Galvanometer dengan kumparan putar

Galvanometer suspensi bukan instrumen yang praktis atau portabel (mudah dipindahkan), prinsip-prinsip yang mengatur cara kerjanya diterapkan secara sama terhadap jenis yang lebih baru yakni mekanisme kumparan putar magnet permanen (PMMC = Permanent Magnet Moving-Coil Mechanism).

Pada galvanometer juga terdapat sebuah kumparan digantung didalam sebuah medan magnet permanen berbentuk sepatu kuda. Kumparan digantung sedemikian rupa, sehingga dapat berputar bebas di dalam medan magnet. Bila arus mengalir didalam kumparan torsi elektromagnetik yang dibangkitkannya akan menyebabkan perputaran kumparan tersebut. Torsi ini diimbangi oleh torsi mekanis pegas-pegas pengatur yang diikat pada kumparan. Keseimbangan torsi-torsi dan juga posisi sudut kumparan putar, dinyatakan oleh jarum penunjuk terhadap referensi tertentu yang disebut skala.

Persamaan untuk pengembangan torsi yang diturunkan dari hukum dasar elektro magnetic adalah :

$$T = B \times A \times I \times N \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana:

T: Torsi dalam Newton meter (N.m)

B: Kerapatan fluksi didalam senjang udara (Wb/ m²)

A: Luas efektif kumparan (m²)

I : Arus didalam kumparan putaran (Amper/A)

N: Jumlah lilitan kumparan

Persamaan 2.33 menunjukkan bahwa torsi yang dibangkitkan berbanding langsung dengan kerapatan fluksi medan didalam kumparan berputar, arus dalam kumparan dan konstanta-konstanta kumparan (luas dan jumlah lilitan) karena kerapatan fluksi dan luas kumparan merupakan parameter – parameter yang tetap bagi sebuah instrumen maka torsi yang dibangkitkan merupakan indikasi langsung dari arus didalam kumparan. Torsi ini menyebabkan defleksi (penyimpangan) jarum ke keadaan mantap (steady state) dimana galvanometer diimbangi oleh torsi pegas pengontrol .

Persamaan 2.33. juga menunjukkan bahwa perencanaan hanya dapat mengubah nilai torsi pengaturan jumlah lilitan kumparan guna mengukur suatu arus skala penuh. Pada umumnya luas kumparan praktis adalah antara 0,5 sampai 2,5 cm² , sedang kerapatan fluksi pada instrumen–instrumen modern (baru) berkisar antara 1500- 5000 gaus (0,15-0,5 Wb/ m²). Jadi tersedia pilihan mekanisme yang banyak bagi perencana yang memenuhi terhadap banyak pemakaian dalam pengukuran .

2.3.4.Sensitivitas Galvanometer

Untuk menyatakan sensitivitas sebuah galvanometer, umumnya digunakan tiga defenisi yaitu :

- a. Sensifitas arus (*current sensitivity*)
- b. Sensitivitas tegangan (*voltage sensitivity*)
- c. Sensitivitas mega ohm (*mega ohm sensitivity*)

a. Sensitivitas arus

Sensitivitas arus didefinisikan sebagai perbandingan penyimpangan (defleksi) galvanometer terhadap arus yang menghasilkan defleksi tersebut. Biasanya arus dinyatakan dalam mikroamper dan defleksi dalam milimeter. Bagi galvanometer yang skalanya tidak dikalibrasi dalam milimeter, defleksi dapat dinyatakan dalam bagian skala sensitivitas arus adalah :

$$S_i = \frac{d \text{ mm}}{I \text{ } \mu A} \dots\dots\dots (2.34)$$

b. Sensitivitas tegangan

Sensitivitas tegangan didefinisikan sebagai perbandingan defleksi galvanometer terhadap tegangan yang menghasilkannya.

$$S_v = \frac{d \text{ mm}}{V \text{ mV}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :

D : Defleksi galvanometer dalam bagian skala atau mm.

V : Tegangan yang diberikan ke galvanometer dalam mV

Pada umumnya untuk memandang galvanometer bersama-sama dengan tahanan redaman kritisnya (CDRX = Critical Damping Resistance External), dan kebanyakan pabrik menyatakan sensitivitas tegangan galvanometer dalam mm/mV.

c. *Sensitivitas mega ohm*

Sensitivitas mega ohm didefinisikan sebagai tahanan (dalam megaohm), yang dihubungkan secara seri dengan galvanometer agar menghasilkan defleksi sebesar satu bagian skala bila tegangan 1 V dimasukkan kerangkaian tersebut. Karena tahanan ekuivalen dari galvanometer yang diparalelkan diabaikan terhadap tahanan (dalam megaohm) dengan seri, arus yang dimasukkan praktis sama dengan $1/R \mu A$ dan menghasilkan defleksi sebesar 1 bagian (difisi).

Secara numeric, sensitivitas megaohm sama dengan sensitivitas arus sehingga :

$$S_R = \frac{d}{I} = S_I = \frac{mm}{\mu A} \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

d : Defleksi galvanometer dalam bagian skala atau mm

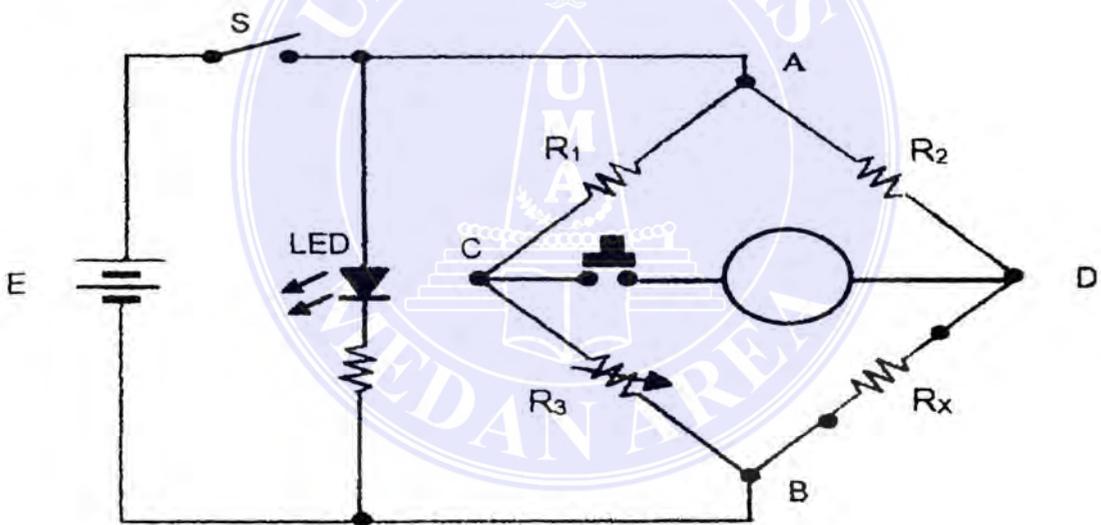
I : Arus galvanometer dalam μA

BAB III

PEMBUATAN PERALATAN

3.1. Umum

Untuk mendapatkan hasil pengukuran tahanan yang lebih akurat dapat digunakan rangkaian Jembatan Wheatstone, seperti yang terlihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Rangkaian Jembatan Wheatstone

Pada pembahasan rangkaian jembatan Bab II persamaan (2.) berlaku hubungan :

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \times R_3 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Dari persamaan (3.1), $\frac{R_2}{R_1}$ dapat dianggap sebagai faktor pengali

(lengan pembanding). Bila R_3 diketahui nilainya maka, nilai R_x dapat diketahui atau diukur. Untuk tahanan variabel R_3 digunakan tahanan yang diketahui besarnya, misalnya dengan menggunakan tahanan dekadis. Komponen utama rangkaian Jembatan Wheatstone yang dirancang ini terdiri dari:

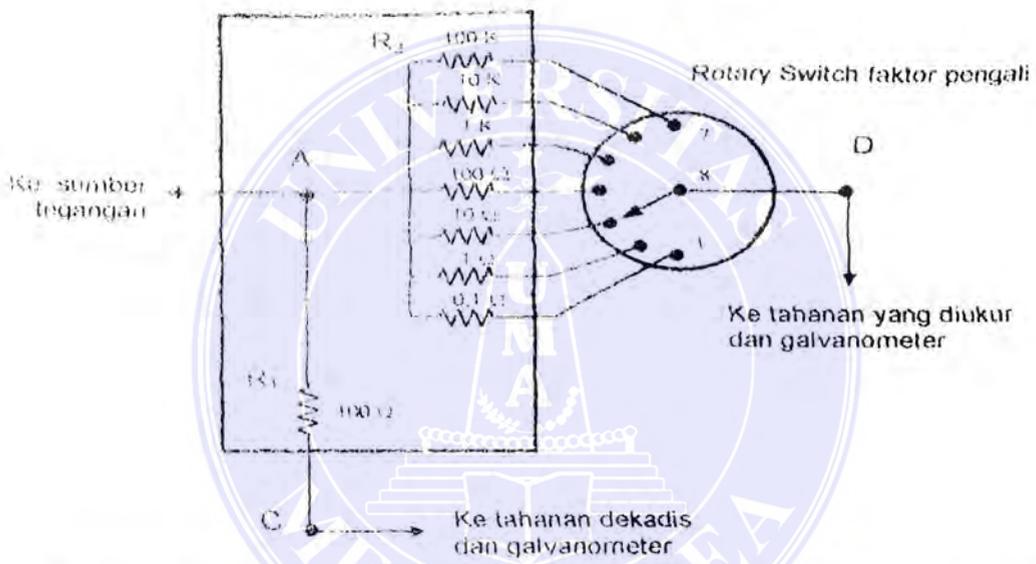
1. Lengan pembanding (faktor pengali), yaitu resistor R_1 dan R_2
2. Tahanan dekadis (decade resistors), yaitu resistor R_3
3. Saklar Putar (Rotary Switch)
4. Galvanometer (G)
5. Sumber tegangan DC
6. Saklar On-Off
7. Saklar tekan (*Push Button Swithes*) Normally Open
8. LED (*Light Emitting Diode*)
9. Terminal (*Biding Post*)
10. Kotak (*Box*) untuk meletakan PCB, galvanometer, saklar putar, saklar ON-OFF indikator (LED) dan terminal (*biding post*).

3.2. Lengan Pembanding

Lengan pembanding (faktor pengali) terdiri dari dua bagian tahanan R_1 -

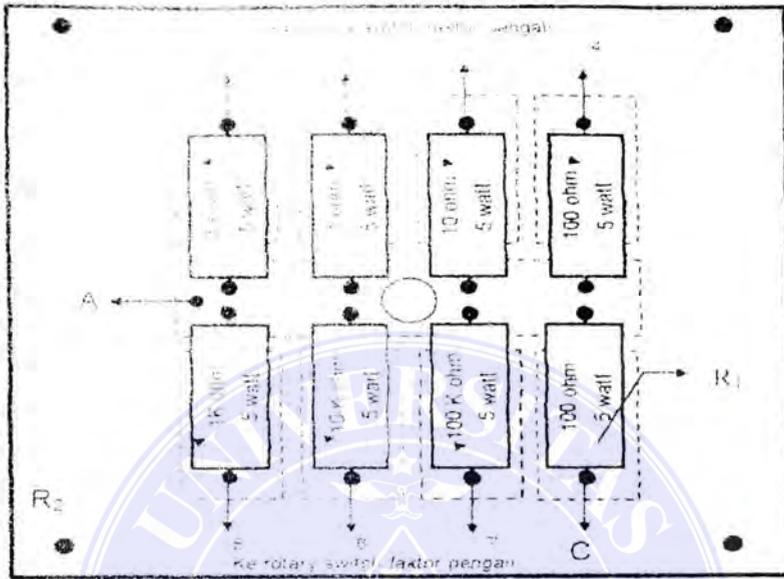
dan R_2 . Dalam perencanaan ini faktor pengali dibuat untuk 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} ,
UNIVERSITAS MEDAN AREA

1, 10, 10^2 dan 10^3 . Untuk mendapatkan faktor pengali seperti tersebut, maka untuk R_1 digunakan tahanan 100 ohm/ 5 watt toleransi 5% sedangkan untuk R_2 terdiri dari 7 buah tahanan masing-masing tahanan 0,1 ; 1; 10 ; 100 ; 1 K ; 10 K dan 100 K dengan kapasitas daya 5 watt, toleransi 5%.



Gambar 3.2. Rangkaian resistor lengan pembanding dan rotary switch untuk memilih faktor pengali yang diinginkan.

Pemilihan faktor pengali ini dibuat dengan menggunakan saklar putar (*rotary switch*). Lihat gambar 3.2. seluruh resistor lengan pembanding R_1 dan R_2 diletakkan pada suatu papan rangkaian tercetak (*PCB = Printed Circuit Board*) lihat gambar 3. sedangkan saklar pemilih (*Rotary Switch*) berada pada panel depan peralatan.

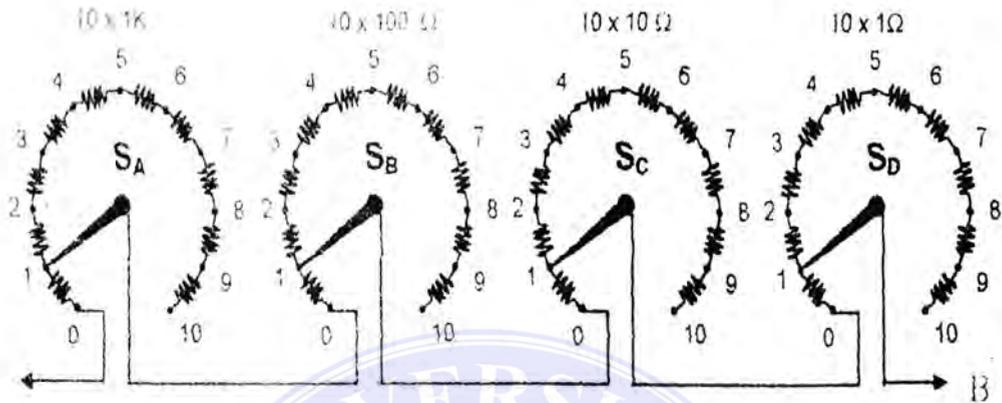


Gambar 3.3 : Pandangan atas letak resistor R_1 dan R_2 lengan pembanding pada PCB

3.2.1. Tahanan Dekadis

Tahanan dekadis merupakan tahanan yang nilainya dapat diatur dan dibaca secara langsung. Tahanan dekadis dibentuk dari beberapa tahanan yang dihubungkan secara seri, sehingga tahanan total merupakan penjumlahan dari resistor-resistor yang dipilih. Dalam perencanaan ini tahanan dekadis terdiri dari 4 bagian, tiap bagian terdiri dari 10 resistor masing-masing resistor 1 ohm, 100 ohm, 100 ohm dan 1000 ohm.

Resistor yang digunakan mempunyai kapasitas daya 5 watt, toleransi 5%. Rangkaian tahanan dekadis dapat dilihat seperti pada gambar 3.4 untuk pemilihan nilai tahanan diatur melalui rotary switch.



Gambar 3.4. : Tahanan Dekadis

Bentuk rotary switch dapat dilihat seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 : Rotary Switch

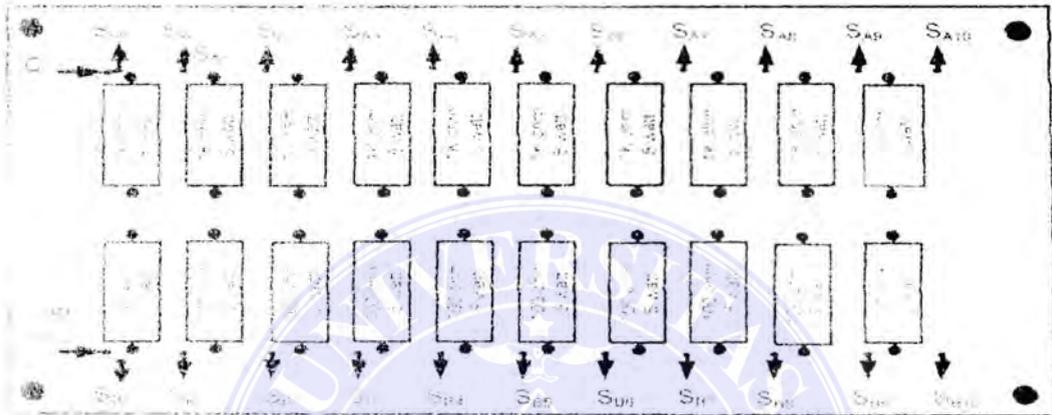
Nilai total tahanan dekadis (R_D) dapat dinyatakan sebagai :

$$R_D = (A \times 1000) + (B \times 100) + (C \times 10) + (D \times 1) \text{ ohm}$$

Dimana A,B,C, dan D masing-masing jumlah tahanan yang digunakan pada masing-masing bagian. Sebagai contoh bila $A = 3$; $B = 7$; $C=5$ dan

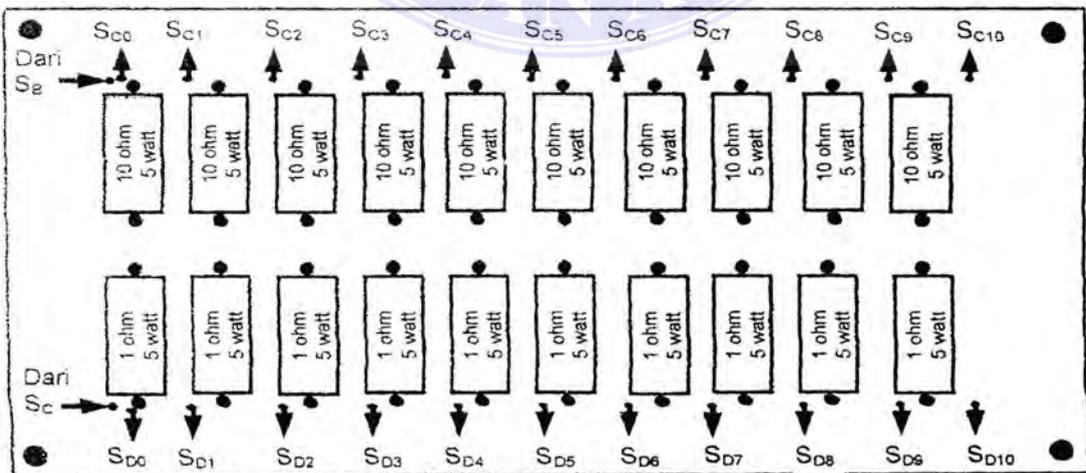
$D=2$, maka nilai tahanan dekadis tersebut adalah 3752 ohm.

Susunan resistor 1K ohm dan 100 ohm tahanan dekadis pada PCB dapat dilihat seperti pada gambar 3.6.



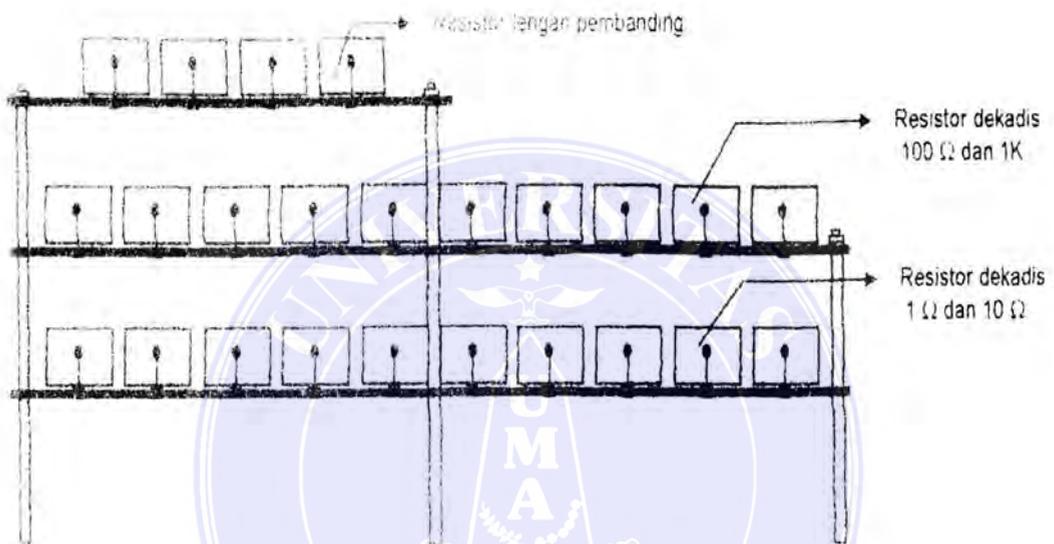
Gambar 3.6. Susunan Resistor IK dan 100 ohm pada PCB

Sedangkan susunan resistor 10 ohm tahanan dekadis pada PCB dapat dilihat seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Susunan resistor 10 dan 1 ohm pada PCB

Tata letak PCB resistor lengan pembanding dan kedua PCB untuk resistor dekadis dapat dilihat seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Pandangan depan letak resistor lengan pembanding dan dekadis

3.3. Galvanometer

Untuk mendeteksi adanya arus digunakan galvanometer. Pada perencanaan Jembatan Wheatstone ini galvanometer yang digunakan dari jenis kumparan putar (*moving coil*). Galvanometer ini dibuat dari alat ukur tegangan yang umum digunakan dengan melepaskan resistor serinya dan menggeser titik nol pengukuran menjadi ditengah-tengah, sehingga jarum galvanometer dapat bergerak ke arah kiri dan kekanan dari posisi nol,



Gambar 3.9. Tampilan Galvanometer

Galvanometer yang dirancang ini tidak dikalibrasikan dengan skala arus, akan tetapi hanya untuk menunjukkan ada atau tidak adanya arus yang mengalir. Bila jarum penunjukan berada pada posisi nol, hal ini terjadi bila Jembatan Wheatstone berada dalam keadaan seimbang. Pada posisi tersebut resistor, yang akan diukur dapat diketahui besarnya.

3.4. Saklar ON-OFF

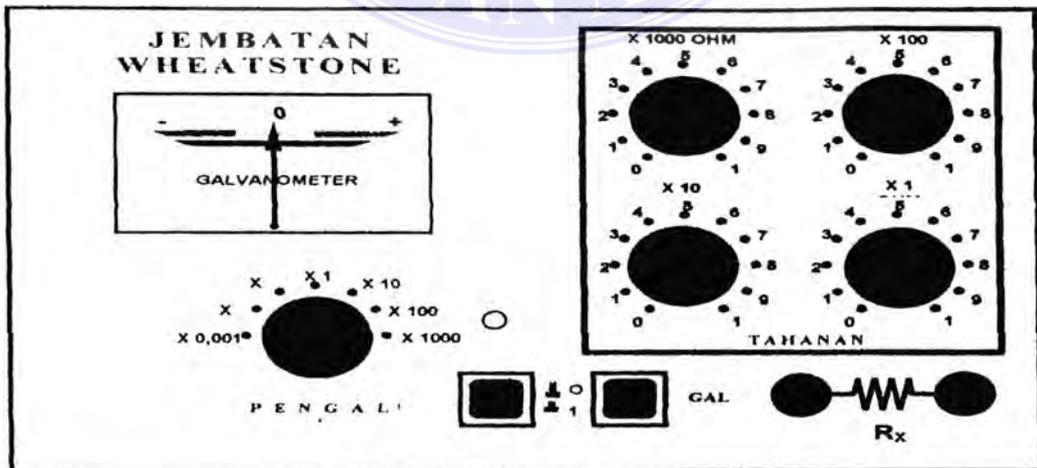
Saklar listrik atau switch adalah suatu alat untuk membuka dan menutup rangkaian listrik atau untuk memasukan kembali sinyal listrik ke dalam suatu rangkaian listrik. Posisi menutup adalah ON atau kerja (close). Posisi membuka adalah OFF atau putus (open = break). Saklar dihubungkan secara seri dengan sumber dan beban. Dalam posisi menutup (ON) saklar mempunyai tahanan yang sangat kecil sehingga arus dapat mengalir ke beban dengan *drop voltage* pada saklar = 0 volt. Dengan membuka saklar berarti resistansinya sangat besar sekali (tidak terhingga) sehingga arus tidak

sangat sesuai, karena LED hanya memerlukan daya yang kecil (40 m Watt) sehingga tidak terlalu membebani baterai yang berfungsi sebagai sumber daya jembatan wheatstone. Tegangan kerja LED berada diantara 1,5 s/d 2,0 volt dengan arus 25 mA. Agar LED dapat bekerja dengan sumber DC 9 volt, maka LED harus diberi tahanan seri, lihat gambar 3.1.

3.7. Terminal (Biding Post)

Untuk mempermudah memasang dan melepaskan resistor yang akan di ukur, digunakan dua buah terminal (*biding post*). Biding post ini diletakan pada bahagian depan panel sehingga resistor yang akan diukur dapat dilihat, dipasang dan dilepas dengan mudah.

Tata letak galvanometer, rotary switch, saklar ON-OFF dan push button, biding post dan LED dapat dilihat seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pandangan depan panel Jembatan Wheatstone.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

1. Dari hasil pengukuran tahanan dengan menggunakan peralatan Jembatan Wheatstone yang dirancang ternyata diperoleh hasil yang cukup baik. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan nilai tahanan yang tertera/dibaca pada tahanan dengan hasil pengukuran dengan Jembatan Wheatstone.
2. Peralatan Jembatan Wheatstone ini dapat digunakan sebagai penambah materi praktikum pada Laboratorium Pengukuran Listrik Fakultas Teknik UMA.
3. Karena menggunakan baterai, peralatan ini sangat mudah dibawa (portable)
4. Dengan melakukan modifikasi, peralatan ini dapat digunakan untuk melakukan percobaan simulasi menentukan letak gangguan (misalnya hubung singkat) pada saluran transmisi bawah tanah.

1.2. Saran-saran

1. Bila terjadi penyimpangan/defleksi jarum galvanometer terlalu jauh, jangan menekan tombol GAL terlalu lama, karena dapat menyebabkan kerusakan pada galvanometer.
2. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik lagi, resistor-resistor yang digunakan dalam peralatan ini haruslah mempunyai toleransi yang kecil, misalnya dengan menggunakan resistor film atau belitan kawat (wire

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta dilindungi undang-undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

3. Untuk penggunaan yang lebih lama sumber daya DC dari baterai dapat diganti dengan sumber DC dari penyearah (rectifer).
4. Disarankan untuk dapat membuat rangkaian jembatan AC yang dapat digunakan untuk mengukur induktansi dan kapasitansi (jembatan AC), berhubung peralatan seperti ini sulit di dapat.
5. Disarankan kepada mahasiswa untuk dapat merencanakan/membuat alat-alat pendukung praktikum dengan bimbingan dosen-dosen, sehingga laboratorium Teknik Elektro Universitas Medan Area dapat lebih berkembang dengan semakin banyaknya materi praaktikum di laboratorium.



DAFTAR PUSTAKA

- Dally, James W. And William F Riley, "**Instrumentation For Engineering Measurement**" John Wiley & Son New York.
- Edminister, Joseph E., "**Electrical Circuit Schaum Outline Series**" McGraw Hill Book Company, New York, 1976.
- Hughes, E. "**Electrical Technology**", Longman Grup Limited London, 1997
- Hyat Hunior, William, " **Engineering Circuit Analysis**" McGraw Hill International Student Edition, 1984
- J. Smith, Ralph, " **Circuit Dvices And Sysytems**" John wiley & Sons New York 1990.
- Metzger, Daniel. L. "**Electronics Component, Instruments and Trouble Shooting**" Prentice Hall International, New Jersey.
- Sapie, Soedjana, "**Pengukuran dan Alat-Alat Ukur Listrik**," PT. Pradnya Paramita
- Smith, Arthur. Whistmore, and Wiedenbeck, ML. " **Electrical Measurement**", Fifth Edition, Mc. Graw Hill Book Company, Inc, New York, Toronto London, 1959.
- Theraja, BL., " **A Text Book Of Electrial Technology**" S. Chand & Book Company (Pvt) New Delhi.