

PERANCANGAN PERALATAN PEMBANDING PENGUKURAN PARAMETER PASIF RESISTANSI DAN REAKTANSI DARI MATERIAL MENARA TRANSMISI 150 KV

Regas Ardiansyah^{1*)}, M. Luthfi Izzulhaq², Sefanda Dwi S.³, Mochammad Facta⁴, Sudjadi⁵, dan Ajub Ajulian Z.M⁶

^{1,2,3}Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*) E-mail: regas542000@gmail.com

Abstrak

Impedansi menara transmisi menjadi parameter yang harus dipertimbangkan sebelum pembangunan jaringan transmisi. Terbatasnya alat ukur menjadi kendala melakukan pengukuran langsung terhadap menara transmisi secara utuh. Dengan merancang rangkaian ekuivalen menara yang akan diukur, pengukuran dapat dilakukan dengan mengukur resistansi dan reaktansi sampel material menara terlebih dahulu. Peralatan pembanding pengukuran parameter pasif resistansi dan reaktansi merupakan suatu sistem yang disusun dari beberapa komponen dan alat ukur yang dirangkai. Rangkaian ini terdiri dari rangkaian pengaman inrush, autotransformator variabel, dan beberapa komponen penyusun lain. Dengan menginjeksi suatu material menara transmisi 150 kV akan menjadi langkah awal dalam mengetahui resistansi dan induktansi. Material yang diinjeksi akan dihubungkan dengan osiloskop menggunakan probe tegangan dan probe arus untuk kemudian diamati perbedaan waktu antara gelombang tegangan dan gelombang arus, dihitung sudut fasenya, dan dihitung resistansi serta induktansinya. Dengan adanya mekanisme peralatan ini akan menjadi pembanding bagi alat ukur LCR meter. Dengan rancangan yang lebih mudah dirakit dan mudah dijumpai di lapangan, ini akan menjadi alternatif apabila LCR meter tidak tersedia.

Kata Kunci; impedansi, LCR meter, menara transmisi.

Abstract

The impedance of the transmission tower becomes a parameter that must be considered before the construction of the transmission network. The limited measuring instruments are an obstacle to making direct measurements of the transmission tower as a whole. By designing the tower equivalent circuit to be measured, measurements can be made by measuring the resistance and reactance of the tower material sample first. Comparison equipment for measuring passive parameters of resistance and reactance is a system composed of several components and measuring instruments assembled. This circuit consists of an inrush safety circuit, a variable autotransformer, and several other constituent components. By injecting a 150 kV transmission tower material will be the first step in knowing resistance and inductance. The injected material will be connected to an oscilloscope using a voltage probe and a current probe to then observe the time difference between the voltage wave and the current wave, calculate the phase angle, and calculate the resistance and inductance. With the mechanism of this equipment will be a comparison for LCR meter measuring instruments. With a design that is easier to assemble and easier to find in the field, this will be an alternative when LCR meters are not available.

Keywords: Impedance, LCR meter, transmission tower.

1. Pendahuluan

Dalam era sekarang ini tenaga listrik telah menjadi kebutuhan yang sangat vital baik itu untuk rumah tangga ataupun industri. Mengingat perkembangan kebutuhan tenaga listrik terus bertambah dari tahun ke tahun. Penyediaan listrik untuk warga di Indonesia, disediakan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara atau PT. PLN (Persero). Kewenangan PT. PLN (Persero) dalam

melakukan layanan kelistrikan kepada rakyat didasari atas perintah Undang - Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945. Pada pasal 33 ayat 2 Undang - Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 secara tegas menerangkan jika setiap produksi yang mempengaruhi hajat hidup masyarakat dikuasai oleh negara. Dengan aturan tersebut, PT. PLN (Persero) diberikan kuasa guna melakukan pemberian layanan kelistrikan untuk warga negara.

Penyediaan energi listrik dilakukan oleh sistem tenaga listrik yang mencakup sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi [1]. Untuk menjamin keberlanjutan pelayanan listrik diperlukan suatu tingkat keandalan yang tinggi pada unsur – unsur tersebut. Transmisi listrik memainkan peran yang sangat penting dalam menjaga kestabilan dan ketersediaan pasokan energi listrik di suatu negara. Di Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah penduduk yang besar dan pertumbuhan ekonomi pesat, pentingnya transmisi listrik menjadi lebih signifikan.

Selama ini pembangunan menara transmisi tidak memperhatikan dari segi elektro atau kelistrikan melainkan hanya dari segi konstruksi sipil. Apabila ditinjau dari segi kelistrikan maka impedansi menara transmisi menjadi salah satu faktor kunci yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dan implementasi jaringan transmisi listrik[2]. Impedansi merujuk pada resistansi dan reaktansi saluran transmisi, termasuk saluran udara dan menara yang membawa kabel atau penghantar listrik.

Penelitian yang telah dilakukan sejauh ini menghitung impedansi suatu menara dengan merepresentasikan menara sebagai bentuk geometri yang masif, seperti bentuk silinder atau kerucut[3]. Perancangan rangkaian ekuivalen impedansi menara transmisi merupakan metode baru yang dapat dilakukan untuk menganalisis menara transmisi dari segi elektro. Dengan memodelkan menara menjadi rangkaian ekuivalen menggunakan bantuan *software* dapat menguji model menara terhadap sambaran gelombang surja petir[4]. Melalui pendekatan ini diharapkan mampu mengetahui nilai impedansi termasuk resistansi dan reaktansi dari suatu menara transmisi secara lebih presisi.

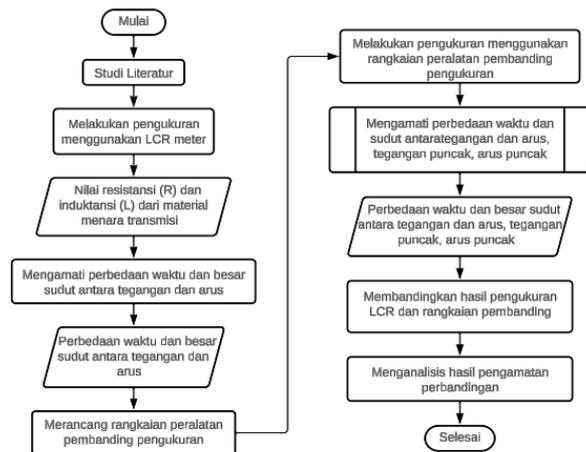
Sebagai langkah awal dalam penelitian ini perlu dilakukan pengukuran resistansi dan reaktansi pada suatu material sampel menara dengan menginjeksi sumber tegangan. Umumnya hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan LCR meter. Akan tetapi di lapangan, LCR meter ini sulit untuk ditemukan. Selain itu level tegangan maksimal yang mampu diinjeksikan oleh LCR meter hanya 2 V [5]. Terlebih lagi probe pada LCR meter memiliki panjang yang sangat terbatas. Untuk itu diperlukan suatu *setup* peralatan yang lebih mudah untuk dirakit. Apabila LCR meter tidak dapat ditemukan di lapangan atau mengalami kerusakan maupun eror, *setup* peralatan ini bisa menjadi pengganti atau pembanding untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah rangkaian peralatan pengukuran resistansi dan reaktansi sebagai pembanding LCR meter yang sudah ada. Alat tersebut akan diinjeksikan pada material sampel menara transmisi 150 kV.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menjelaskan mengenai perancangan mekanisme peralatan pembanding pengukuran resistansi dan reaktansi. Konsep utama dari perancangan sistem ini

adalah untuk merancang *setup* yang dapat membantu mengukur resistansi dan reaktansi dari suatu material menara transmisi 150 kV dengan cara menginjeksikan arus listrik pada material menara.

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap yaitu pengukuran material menara menggunakan LCR meter, perancangan rangkaian peralatan pembanding pengukuran, dan pengukuran material menara menggunakan rangkaian pembanding yang dirancang. Hasil dari pengukuran selanjutnya akan digunakan dalam sistem keseluruhan. Tahapan perancangan disajikan dalam diagram alir di bawah.



Gambar 1. Diagram alir perancangan sistem

Gambar 1 menampilkan diagram alir perencanaan pengerjaan penelitian. Perencanaan dimulai dengan studi literatur terkait sistem yang akan dirancang dan data – data yang diperlukan. Hal ini untuk menentukan komponen yang dibutuhkan dalam perancangan. Setelah melakukan studi literatur kemudian dilakukan pengukuran menggunakan LCR meter untuk mendapatkan data awal. Dari pengukuran LCR meter didapatkan data berupa nilai resistansi (R) dan induktansi (L) dari material menara transmisi 150 kV. Dalam penelitian ini, material menara yang digunakan dalam pengukuran ada tiga jenis sampel material berbeda, dan dikelompokkan berdasarkan panjangnya menjadi material dengan panjang 62 cm, 96 cm, dan 146 cm[6].

Nilai resistansi dan induktansi yang didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam simulasi rangkaian RL sederhana menggunakan perangkat lunak PSIM. Simulasi rangkaian ini bertujuan untuk mengamati perbedaan waktu antara gelombang tegangan dan arus serta mengetahui besar sudutnya.

Langkah berikutnya yaitu merancang mekanisme peralatan pembanding pengukuran dan kemudian melakukan pengukuran menggunakan rangkaian yang dirancang untuk mendapatkan data – data yang sama seperti pengukuran sebelumnya[7]. Setelah mendapatkan data – data yang sama kemudian membandingkannya antara keduanya.

2.1. Pengukuran Material Menara Menggunakan LCR Meter

Pengukuran material menara dilakukan menggunakan LCR Meter merk GW Instek dengan seri LCR-6300. Spesifikasi LCR meter yang digunakan disajikan dalam Tabel 1. [5]. Dikarenakan probe bawaan LCR meter tidak cukup Panjang untuk menjangkau material menara, maka sambungan kabel diperlukan dalam proses pengukuran. Pengambilan data pengukuran dilakukan sebanyak 8 kali, hal ini dimaksudkan agar hasil yang didapatkan lebih akurat dan presisi.

Tabel 1. Spesifikasi kabel konduktor

Parameter	Value
Frekuensi	10Hz~300kHz ($\pm 0.01\%$)
Impedansi output	30 Ω / 50 Ω / 100 Ω (selectable)
Tegangan sinyal	10,00mV – 2,00V ($\pm 10\%$)
Arus sinyal	100.0 μ A- 20.00mA ($\pm 10\%$)
Kombinasi mode uji	Cs-Rs, Cs-D, Cp-Rp, Cp-D, Lp-Rp, Lp-Q, Ls-Rs, Ls-Q, Rs-Q, Rp-Q, R-X, Z- θ_r , Z- θ_d , Z-D, Z-Q, DCR
Display	3.5"LCD, RGB color (320x240)
Power source	AC 100V-240V, 50-60Hz, Max. 15W
Dimensi	265(W) x 107(H) x 312(D) mm, Approx.3kg

2.1.1. Jenis Material Menara



Gambar 2. Jenis material menara yang akan diukur

Kerangka menara SUTT 150 kV terdiri dari banyak ukuran dan panjang besi material yang berbeda. Dalam penelitian ini kerangka material menara yang digunakan dibedakan menjadi tiga jenis ukuran seperti pada Gambar 2, yaitu

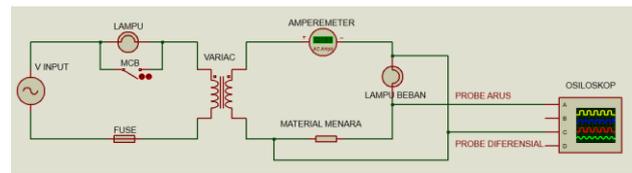
ukuran 62 cm, 96 cm, dan 146 cm. Masing – masing terhadap jenis material tersebut akan dilakukan pengukuran[8].

2.1.2. Perbedaan Waktu dan Sudut pada Gelombang Tegangan dan Arus

Untuk mengamati perbedaan waktu juga besar sudut antara gelombang tegangan dan arus pada material menara, hasil dari pengukuran setiap material menara kemudian dimasukkan ke dalam simulasi rangkaian. Simulasi dilakukan dengan rangkaian RL seri sederhana menggunakan perangkat lunak PSIM.

2.2. Perancangan Mekanisme Peralatan Pembanding Pengukur

Penelitian ini Perancangan ini bertujuan untuk membuat *setup* peralatan yang dapat digunakan sebagai pembanding pengukuran dari LCR meter. Dalam rancangan ini terdiri dari beberapa komponen peralatan, seperti MCB, *fuse*, *Variac*, *Clamp* meter, osiloskop, dan lainnya[9].



Gambar 3. Skematik rangkaian setup pembanding pengukuran

Pada Gambar 3, sumber tegangan berasal dari sumber tegangan PLN yang selanjutnya akan menjadi *supply Variac*. MCB berfungsi sebagai pengaman arus *inrush* agar arus yang masuk ke *Variac* tidak terjadi lonjakan awal. Kemudian saluran keluaran dari *Variac* masing – masing terhubung ke material menara dan lampu yang dihubungkan seri dengan material menara dengan tujuan menjadi beban tambahan.

Variac digunakan sebagai pengatur tegangan yang akan diinjeksikan pada material menara. Pembacaan pengukuran dari rangkaian ini dilakukan menggunakan osiloskop dimana ada dua saluran osiloskop yang aktif masing – masing dihubungkan dengan probe diferensial / tegangan dan satu lainnya terhubung dengan probe arus[10].

2.3. Pengukuran Material Menara Menggunakan Peralatan Pembanding Pengukuran

Setelah perancangan peralatan pembanding selesai, selanjutnya dilakukan pengukuran pada setiap material menara. Berbeda dengan sebelumnya, pengukuran menggunakan rangkaian pembanding akan mendapatkan data berupa gelombang tegangan dan arus yang

ditampilkan melalui osiloskop. Selain itu, data seperti tegangan puncak (V_{peak}) dan arus puncak (I_{peak}) juga dapat diketahui melalui osiloskop. Untuk mendapatkan data lainnya dapat diketahui dengan melakukan perhitungan[11].

2.3.1 Menghitung Tegangan dan Arus Efektif

Seperti yang sudah disebutkan pada subbab sebelumnya, tegangan yang terbaca osiloskop merupakan tegangan puncak. Untuk mendapatkan tegangan efektif dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[12]:

$$V_{eff} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Dimana:
 V_{eff} = tegangan efektif (rms)
 V_{peak} = tegangan puncak

Sama halnya dengan tegangan, arus yang ditampilkan oleh osiloskop juga merupakan arus puncak. Sehingga untuk mendapatkan arus efektif dirumuskan sebagai berikut[13]:

$$I_{eff} = \frac{I_{peak}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Dimana:
 I_{eff} = arus efektif (rms)
 I_{peak} = arus puncak

2.3.2. Mengamati Perbedaan Waktu dan Sudut Fase antara Gelombang Tegangan dan Arus

Supaya dapat mengamati perbedaan waktu dan sudut dengan lebih teliti, maka diatur terlebih dahulu lebar gelombang yang ditampilkan pada osiloskop. Kemudian menyalakan fungsi *cursor* pada osiloskop dan mengaktifkan pergeseran kursor terhadap waktu. Perbedaan waktu diukur dengan mengamati jarak antara gelombang tegangan dan gelombang arus saat berada pada nilai 0.

Untuk besar sudut fase dapat diketahui dengan menghitung rasio perbedaan waktu dengan periode gelombang. Perhitungan sudut dapat dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 berikut:

$$\phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ \quad (3)$$

Dimana:
 ϕ = sudut fase
 Δt = perbedaan waktu tegangan dan arus
 T = periode gelombang

Karena frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, maka periode gelombang adalah 1/50 yaitu 20 ms. Dengan diketahui periode gelombang 20 ms, maka dari Persamaan 3 dapat dilakukan perhitungan:

$$\phi = \frac{\Delta t}{20 \text{ ms}} \times 360^\circ \quad (4)$$

2.3.3. Mengukur Tegangan dan Arus

Selain dengan osiloskop, tegangan dan arus pada beban rangkaian juga diukur menggunakan multimeter dan *Clamp* meter. Hasil pengukuran ini akan langsung ditunjukkan angkanya pada multimeter dan *Clamp* meter. Setelah diketahui nilai tegangan dan arus pada beban, selanjutnya adalah menghitung impedansi dari material menara. Berdasarkan Hukum *Ohm*, impedansi dapat dirumuskan sebagai berikut[14]:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (5)$$

Dimana:
 Z = impedansi
 V = tegangan
 I = arus

2.3.4. Menghitung Resistansi dan Induktansi Material Menara

Setelah mengetahui nilai impedansi (Z) dan sudut fase (ϕ) dari material menara, dapat dihitung nilai resistansi dan induktansinya. Menghitung resistansi material menara dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 6.

$$R = |Z| \cos \phi \quad (6)$$

Dimana:
 R = resistansi
 Z = impedansi
 ϕ = sudut fase

Nilai induktansi juga dapat dihitung setelah diketahui nilai Z dan ϕ . Untuk nilai induktansi dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_L &= \omega L \\ L &= \frac{X_L}{\omega} \end{aligned} \quad (7)$$

Dimana:
 L = induktansi
 ω = kecepatan sudut
 X_L = reaktansi induktif

Jika diketahui,

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

Maka dari Persamaan 7 induktansi bisa didapatkan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times 50} \quad (8)$$

Untuk nilai X_L dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$X_L = |Z| \sin \phi \quad (9)$$

Dari Persamaan 8 dan Persamaan 9, didapatkan rumus perhitungan L, yaitu:

$$L = \frac{|Z| \sin \phi}{2 \times \pi \times 50} \quad (10)$$

3. Pengujian dan Analisis

Pengujian pada mekanisme peralatan pembanding pengukuran resistansi dan reaktansi dilakukan secara menyeluruh dengan beberapa pengukuran yang dilakukan. Pengujian secara menyeluruh dilakukan dengan menguji kinerja rangkaian penyusun alat ketika telah digabungkan ke dalam satu rangkaian utuh. Pengujian menyeluruh ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang dapat beroperasi sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tenaga Listrik Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang.

3.1. Pengukuran Menggunakan LCR Meter

Pengukuran sampel menara dilakukan dengan menggunakan alat LCR Meter merk GW Instek dengan tipe LCR-6300. Pada LCR Meter tersebut menggunakan pengukuran mode seri yaitu Induktansi (Ls) dan Resistansi (Rs). Pengukuran setiap material menara dilakukan secara bergantian dengan masing – masing jenisnya dilakukan delapan kali pengukuran.

Sebelum mengoperasikan dan melakukan pengukuran menggunakan LCR meter, perlu mengatur beberapa *setting* yang ada pada LCR meter seperti frekuensi, tegangan, dan mode uji[15].

3.1.1. Pengukuran Kabel Sambungan

Kabel sambungan berfungsi sebagai perpanjangan dari probe LCR meter yang tidak mampu menjangkau panjang dari material menara yang diukur. Seperti yang disampaikan sebelumnya, setiap pengukuran dilakukan delapan kali pengukuran. Hasil dari pengukuran kabel sambungan disajikan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat diketahui setelah dilakukan delapan kali pengukuran, nilai Ls dan Rs menunjukkan hasil yang relatif sama di setiap pengukurannya. Masing – masing Ls

dan Rs pada kabel sambungan memiliki nilai rata – rata sebesar 4,497 uH dan 0,025 *Ohm*.

Tabel 2. Data hasil pengukuran kabel sambungan dengan LCR meter

No	Ls (uH)	Rs (<i>Ohm</i>)
1	4,536	0.0255
2	4,4839	0.0258
3	4,5227	0.0252
4	4,5086	0.0254
5	4,4235	0.0256
6	4,567	0.0252
7	4,498	0.0255
8	4,4357	0.0256
Rata-rata	4,497	0.025

3.1.2. Pengukuran Material Menara

Dikarenakan menggunakan kabel sambungan sebagai perpanjangan probe pengukur, untuk hasil dari pengukuran nantinya akan dikurangi dengan nilai Ls dan Rs dari kabel sambungan. Pengukuran dilakukan sebanyak delapan kali pengukuran untuk setiap tipe ukuran material. Hasil dari pengukuran material menara disajikan pada Tabel 3 hingga Tabel 5.

Tabel 3. Hasil pengukuran material menara panjang 62 cm menggunakan LCR meter

No	Ls (uH)	Rs (<i>Ohm</i>)
1	4,3515	0,0348
2	4,2193	0,0376
3	4,8097	0,0475
4	4,2346	0,0429
5	4,3337	0,0388
6	4,4604	0,03444
7	4,3801	0,0348
8	4,4571	0,0331
Rata-rata	4,406	0,038
Tanpa sambungan	0,091	0,013

Dari Tabel 3 dapat dilihat hasil setiap pengukuran pada masing – masing Ls dan Rs tidak banyak mengalami perubahan dan relatif sama dengan rata – rata sebesar 4,406 uH dan 0,038 *Ohm*. Setelah dikurangi dengan kabel sambungan, nilai induktansi dan resistansi pada material menara panjang 62 cm yaitu sebesar 0,091 uH dan 0,013 *Ohm*.

Dari Tabel 4 dapat dilihat hasil setiap pengukuran pada masing – masing Ls dan Rs tidak banyak mengalami perubahan dan relatif sama dengan rata – rata sebesar 2,465 uH dan 0,030 *Ohm*. Setelah dikurangi dengan kabel sambungan, nilai induktansi dan resistansi pada material

menara panjang 96 cm yaitu sebesar 2,032 uH dan 0,004 Ohm.

Tabel 4. Hasil pengukuran material menara panjang 96 cm menggunakan LCR meter

No	Ls (uH)	Rs (Ohm)
1	2,2186	0,0281
2	2,4293	0,0289
3	2,5949	0,0305
4	2,4246	0,0279
5	2,3308	0,0276
6	2,9428	0,0278
7	2,5516	0,0333
8	2,2289	0,0324
Rata-rata	2,465	0,030
Tanpa sambungan	2,032	0,004

Tabel 5. Hasil pengukuran material menara panjang 146 cm menggunakan LCR meter

No	Ls (uH)	Rs (Ohm)
1	3,3911	0,0323
2	3,75	0,0323
3	3,3341	0,0321
4	3,9189	0,0259
5	3,7067	0,0257
6	3,9456	0,0262
7	3,8945	0,0266
8	3,9928	0,03
Rata-rata	3,742	0,029
Tanpa sambungan	0,755	0,003

Dari Tabel 5 dapat dilihat hasil setiap pengukuran pada masing – masing Ls dan Rs tidak banyak mengalami perubahan dan relatif sama dengan rata – rata sebesar 3,742 uH dan 0,029 Ohm. Setelah dikurangi dengan kabel sambungan, nilai induktansi dan resistansi pada material menara panjang 146 cm yaitu sebesar 0,755 uH dan 0,003 Ohm.

3.2. Perancangan Mekanisme Peralatan Pembanding Pengukuran

Telah disampaikan bahwa rangkaian peralatan pembanding pengukuran ini tersusun atas beberapa komponen yang dirangkai (Gambar 4) sehingga menghasilkan *setup* yang bisa membantu dalam melakukan pengukuran resistansi dan reaktansi dari suatu beban (material menara transmisi 150 kV).

Pada *setup* rangkaian ini, pembacaan pengukuran utama dilakukan menggunakan osiloskop untuk mendapatkan gelombang tegangan dan arus. Selain itu pengambilan data juga dilakukan menggunakan multimeter dan *Clamp* meter

untuk mengukur arus dan tegangan yang mengalir ke setiap beban. Beban pada rangkaian ini terdiri dari material menara transmisi 150 kV sebagai beban utama dan lampu dengan daya 40 Watt sebagai beban tambahan.



Gambar 4. Mekanisme peralatan pembanding pengukuran resistansi dan reaktansi

3.3. Pengukuran Menggunakan Rangkaian Pembanding Pengukuran

Pengukuran menggunakan rangkaian pembanding dilakukan dengan beberapa pengukuran pada osiloskop, multimeter, dan *Clamp* meter. Data yang dihasilkan dari masing – masing alat ukur memiliki fungsi yang berbeda.

3.3.1. Pengukuran dengan Multimeter dan *Clamp* Meter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan pada beberapa titik, yaitu tegangan pada *Variac*, tegangan pada lampu beban, dan tegangan pada material menara. Sedangkan *Clamp* meter digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian. Hasil pengukuran dari multimeter dan *Clamp* meter disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran multimeter dan *Clamp* meter

Ukuran Material	Multimeter			<i>Clamp</i> Meter
	V <i>Variac</i> (V)	V Lampu (V)	V Material (mV)	
62 cm	76,04	75,90	0,06	0,092
96 cm	75,96	75,84	0,08	0,092
146 cm	76,82	76,80	0,40	0,094

Dari Tabel 6 di atas dan berdasarkan Persamaan 5, maka dapat dihitung untuk impedansi masing – masing beban lampu dan material. Hasil perhitungan impedansi lampu dan material besi secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel 7.

Dari Tabel 7 dapat diketahui nilai impedansi dari setiap beban pada masing– masing pengukuran, yaitu pada pengukuran material ukuran 62 cm impedansi lampu

sebesar 825,00 *Ohm* dan impedansi material sebesar 0,65217 *mOhm*. Pada pengukuran material ukuran 96 cm, impedansi lampu 824,35 *mOhm* dan impedansi material 0,86957 *Ohm*. Pada pengukuran material ukuran 146 cm, impedansi lampu 817,02 *Ohm* dan impedansi material 4,25532 *mOhm*.

Tabel 7. Hasil perhitungan impedansi lampu dan material menara

Ukuran Material	Impedansi	
	Lampu (<i>Ohm</i>)	Material (<i>mOhm</i>)
62 cm	825,00	0,65217
96 cm	824,35	0,86957
146 cm	817,02	4,25532

3.3.2. Pengamatan Gelombang pada Osiloskop

Hasil yang ditampilkan pada osiloskop berupa sinyal gelombang tegangan dan gelombang arus, serta tegangan puncak saat beban lampu dan material menara ditambahkan dan arus puncak. Setelah melakukan pengamatan, didapatkan data seperti pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil perhitungan sudut fase dari setiap pengukuran material

Ukuran Material	Δt (ms)	Sudut Fase ($^{\circ}$)
62 cm	0,0020	0,04
96 cm	0,0020	0,04
146 cm	0,2000	3,60

Tabel 8 menyajikan besar sudut fase hasil dari pengamatan pada osiloskop dari setiap pengukuran. Osiloskop menunjukkan pada pengukuran material 62 cm perbedaan waktunya sekitar 2 us, pada pengukuran material 96 cm sekitar 2 us, dan pada pengukuran material 146 cm beda waktunya sekitar 0,2 ms. Pada material 62 cm, sudut fasenya sebesar 0,04 $^{\circ}$, pada material 96 cm sebesar 0,04 $^{\circ}$, dan pada material 146 cm sebesar 3,60 $^{\circ}$.

Tabel 9. Hasil perhitungan tegangan dan arus puncak serta tegangan dan arus efektif

Ukuran Material	V_{peak} (V)	V_{eff} (V)	I_{peak} (A)	I_{eff} (A)
62 cm	108,000	76,368	0,132	0,093
96 cm	108,000	76,368	0,136	0,096
146 cm	108,000	76,368	0,136	0,096

Tabel 9. menyajikan hasil tegangan dan arus puncak serta tegangan dan arus efektif. Hasilnya untuk tegangan puncak

dan tegangan efektif besarnya sama pada pengukuran setiap material besi, yaitu sebesar 108 V dan 76,368 V. Sedangkan untuk arus puncak dan arus efektifnya memiliki sedikit perbedaan pada pengukuran masing-masing material besi. Pada material 62 cm, arus puncak dan efektifnya masing-masing 0,132 A dan 0,093 A. Pada material 96 cm arus puncak dan efektifnya 0,136 A dan 0,096 A. Pada material 146 cm arus puncak dan efektifnya 0,136 A dan 0,096 A.

3.3.3. Perhitungan Resistansi dan Induktansi Material Menara dari Hasil Pengukuran Rangkaian Pembanding

Setelah diketahui nilai impedansi dari setiap material menara (Tabel 7) serta sudut fasenya (Tabel 8), berdasarkan Persamaan 6 dan 10 maka dapat dihitung resistansi dan induktansinya. Dengan melakukan perhitungan pada setiap hasil pengukuran masing-masing material hasilnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil perhitungan resistansi dan induktansi material menara

Ukuran Material	Induktansi (uH)	Resistansi (<i>Ohm</i>)
62 cm	0,0747175	0,00065175
96 cm	0,0996233	0,00086900
146 cm	5,9939843	0,00381599

Dari Tabel 10 dapat diketahui nilai induktansi dan resistansi masing-masing material menara setelah melakukan perhitungan. Material ukuran 62 cm mempunyai induktansi 0,0747175 uH dan resistansi 0,00065175 *Ohm*. Material ukuran 96 cm memiliki induktansi 0,0996233 uH dan resistansi 0,00086900 *Ohm*. Material 146 cm mempunyai induktansi 5,9939843 uH dan resistansi 0,00381599 *Ohm*.

3.3.4. Pengamatan Perbedaan Waktu dan Sudut Fase dari Hasil Pengukuran LCR Meter

Data yang ditampilkan oleh osiloskop merupakan data dengan beban material menara ditambah dengan beban lampu 40 *Watt*. Untuk membuat beban yang sama maka data hasil pengukuran LCR meter ditambahkan dengan impedansi lampu yang sudah diketahui (Tabel 7). Misal pada hasil pengukuran material 62 cm dimana induktansinya 0,091125 uH dan resistansinya 0,012518 *Ohm*. Karena lampu adalah beban resistif, maka impedansi lampu 825,00 *Ohm* sama dengan resistansi lampu, sehingga:

$$R_{total} = R_{LCR} + R_{lampu}$$

$$R_{total} = 0,012518 + 825,00$$

$$R_{total} = 825,012518 \text{ Ohm}$$

$$L_{total} = L_{LCR} = 0,091125 \text{ uH}$$

Untuk mengamati gelombang tegangan dan arusnya dilakukan simulasi menggunakan Perangkat Lunak PSIM. Dengan nilai R_{total} dan L_{total} sebagai masukan nilai R dan L . Selain itu tegangan puncak yang digunakan dalam simulasi juga harus sama dengan pengukuran pada osiloskop yaitu 108 V. Proses ini dilakukan pada setiap material besi, hasilnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil dari simulasi rangkaian setiap material

UKURAN MATERI AL	V_{PEAK} (V)	V_{EFF} (V)	I_{EFF} (A)	ΔT (Ms)	SUDUT FASE ($^{\circ}$)
62 CM	108,00	76,36753	0,093	0,0027	0,048600
96 CM	108,00	76,36753	0,093	0,0023	0,041400
146 CM	108,00	76,36753	0,093	0,22	3,981600

Tabel 11 menunjukkan nilai-nilai hasil simulasi pada setiap material. Untuk nilai tegangan puncak dan efektif dari masing-masing material menunjukkan nilai yang sama yaitu 108 V dan 76,3675V. Untuk arus efektifnya juga menunjukkan nilai yang sama pada setiap material yaitu 0,093 A.

Perbedaan waktu gelombang tegangan dan arus pada setiap material memiliki nilai yang berbeda. Pada material 62 cm nilainya 0,0027 ms, pada material 96 cm bernilai 0,0023 ms, dan pada material 146 cm mempunyai nilai 0,22 ms. Karena perbedaan waktunya berbeda maka besar sudutnya pun berbeda. Pada material 62 cm besar sudutnya 0,0486 $^{\circ}$, pada material 96 cm besar sudutnya 0,0414 $^{\circ}$, dan pada material 146 cm besar sudutnya 3,9816 $^{\circ}$.

3.4. Perbandingan Data Hasil Pengukuran LCR Meter dan Rangkaian Pembanding

Setelah semua data dari pengukuran LCR meter dan pengukuran rangkaian pembanding sudah didapatkan, perbandingan untuk setiap parameter yang sama bisa dibandingkan.

3.4.1. Perbandingan Nilai V_{peak} , V_{eff} , dan I

Dari Tabel 12 di atas, dapat diketahui untuk nilai V_{peak} dan V_{eff} memiliki nilai yang sama di semua ukuran material. Yaitu untuk V_{peak} bernilai 108 V dan V_{eff} sebesar 76,368 V. Sedangkan nilai arus I untuk ukuran material 62 cm memiliki nilai yang sama yaitu 0,093 Tetapi terdapat perbedaan nilai pada ukuran material 96 cm dan 146 cm, lalu untuk ukuran material 96 cm nilai I pada

pengukuran LCR adalah 0,093 A sedangkan pengukuran pembanding 0,096 A. Untuk ukuran material 146 cm nilai I pada pengukuran LCR adalah 0,093, dan pada rangkaian pembanding adalah 0,096 A. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti terbatasnya ketelitian pembacaan alat ukur, toleransi dan rugi – rugi yang dihasilkan oleh rangkaian, maupun kesalahan pengamat dalam membaca alat ukur.

Perbandingan data V_{peak} , V_{eff} , dan I disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan data V_{peak} , V_{eff} , dan I

Ukuran Material	V_{peak} (V)		V_{eff} (V)		I (A)	
	LCR	Pembanding	LCR	Pembanding	LCR	Pembanding
62 cm	108	108	76,368	76,368	0,093	0,093
96 cm	108	108	76,368	76,368	0,093	0,096
146 cm	108	108	76,368	76,368	0,093	0,096

3.4.2. Perbandingan Perbedaan Waktu (Δt) dan Besar Sudut Fase (ϕ)

Perbedaan waktu dan besar sudut fase dapat disebabkan karena sifat reaktansi induktif yang mengakibatkan gelombang arus tertinggal oleh gelombang tegangan. Perbandingan data waktu dan besar sudut fase ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan perbedaan waktu dan besar sudut fase

Ukuran Material	Δt (ms)		Sudut Fase ($^{\circ}$)	
	LCR	Pembanding	LCR	Pembanding
62 cm	0,0027	0,0020	0,048600	0,04
96 cm	0,0023	0,0020	0,041400	0,04
146 cm	0,22	0,2000	3,981600	3,60

Pada Tabel 13 ditampilkan perbandingan nilai dengan parameter Δt dan sudut fase. Untuk material 62 cm, nilai Δt hasil LCR adalah 0,0027 ms sedangkan hasil dari pembanding adalah 0,0020 ms. Untuk material 96 cm, nilai Δt hasil LCR adalah 0,0023 ms sedangkan hasil dari pembanding adalah 0,0020 ms. Kemudian untuk material 146 cm, nilai Δt hasil LCR adalah 0,22 ms sedangkan hasil dari pembanding adalah 0,20 ms. Perbedaan nilai antara hasil pengukuran LCR dengan pembanding tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena pembacaan nilai pada

osiloskop selalu dalam bentuk angka yang bulat, sehingga untuk angka decimal di belakan koma tidak terlalu detail.

Selain Δt , pada Tabel 13 juga menampilkan nilai sudut fase. Untuk material 62 cm, nilai sudut fase hasil LCR adalah $0,0486000^\circ$ dan nilai dari rangkaian pembanding adalah $0,04^\circ$. Untuk material 96 cm, nilai sudut fase hasil LCR adalah $0,0414000^\circ$ sedangkan hasil dari pembanding adalah $0,04^\circ$. Untuk material 146 cm, nilai sudut fase hasil LCR adalah $3,9816^\circ$ sedangkan hasil dari rangkaian pembanding adalah $3,60^\circ$. Karena sudut fase dihitung dari besarnya Δt maka sudah jelas dengan nilai Δt berbeda, sudut fasenya pun akan berbeda. Hal ini disebabkan karena keterbatasan osiloskop dalam menampilkan nilai hasil pembacaan pengukuran.

3.4.3. Perbandingan Resistansi dan Induktansi

Resistansi dan induktansi merupakan data yang akan digunakan sebagai masukan dalam proses penelitian berikutnya. Maka sangat penting untuk dibandingkan hasil pengukuran dengan LCR meter dan hasil perhitungan serta perhitungan dari rangkaian pembanding.

Nilai R dan L dari LCR meter diperoleh langsung dari pembacaan pengukuran, sedangkan pada rangkaian pembanding nilai R dan L merupakan hasil perhitungan merujuk pada parameter lain yang diketahui. Perbandingan nilai resistansi dan induktansi dari LCR meter dan rangkaian peralatan pembanding disajikan pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. Perbandingan resistansi dan induktansi

Ukuran Material	Resistansi (<i>Ohm</i>)		Induktansi (μ H)	
	LCR	Pembanding	LCR	Pembanding
62 cm	0,012518	0,00065175	0,091125	0,0747175
96 cm	0,0040875	0,00086900	2,031700	0,0996233
146 cm	0,0034125	0,00381599	0,755210	5,9939843

Nilai R dan L yang disajikan pada **Tabel 14** menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara hasil pengukuran LCR meter dengan hasil dari rangkaian peralatan pembanding pengukuran. Pada material 62 cm, nilai R pada LCR sebesar $0,012518 \text{ Ohm}$ sedangkan dari rangkaian pembanding nilai R sebesar $0,00065175 \text{ Ohm}$. Pada material 96 cm nilai R yang ditunjukkan oleh LCR meter adalah $0,0040875 \text{ Ohm}$ sedangkan hasil rangkaian pembanding adalah $0,000869 \text{ Ohm}$. Pada material 146 cm, nilai R dari LCR meter sebesar $0,0034125 \text{ Ohm}$ sedangkan hasil rangkaian pembanding sebesar $0,00381599 \text{ Ohm}$.

Untuk nilai L pada material 62 cm hasil LCR meter sebesar $0,091125 \text{ uH}$ sedangkan hasil dari rangkaian pembanding adalah $0,0747175 \text{ uH}$. Untuk material 96 cm, nilai L hasil LCR meter sebesar $2,031700 \text{ uH}$ sedangkan nilai dari rangkaian pembanding sebesar $0,0996233 \text{ uH}$. Untuk material 146 cm, nilai L dari LCR meter sebesar $0,755210 \text{ uH}$ sedangkan nilai hasil dari rangkaian pembanding adalah $5,9939843 \text{ uH}$.

Perbedaan nilai R dan L yang signifikan dapat terjadi karena keterbatasan alat ukur multimeter. Dimana nilai R dan L rangkaian pembanding diperoleh dari perhitungan impedansi material besi yang merupakan hasil bagi antara tegangan besi terukur dengan arus. Multimeter yang digunakan memiliki kekuarangan dengan tidak mampu membaca pengukuran tegangan yang sangat rendah. Hal ini menyebabkan hasil yang digunakan untuk perhitungan tidak akurat.

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan mekanisme peralatan pembanding pengukuran reasistansi dan reaktansi disusun untuk menjadi pembanding pengukuran LCR meter GW Instek tipe LCR-6300. Setelah dilakukan uji pengukuran, perhitungan dan analisis telah didapatkan nilai – nilai yang menjadi pembanding bagi hasil pengukuran LCR meter. Dengan menginjeksikan tegangan sekitar 76 Volt AC (diukur menggunakan multimeter digital), menghasilkan arus yang mengalir sebesar $0,092 \text{ Ampere}$ (diukur menggunakan tang amper / *Clamp* meter). Sinyal gelombang tegangan dan arus yang mengalir melalui material uji diamati menggunakan osiloskop. Data – data yang diperoleh melalui pengukuran, perhitungan, dan pengamatan seperti V_{peak} , V_{eff} , I_{eff} , perbedaan waktu gelombang (Δt), sudut fase gelombang, resistansi, dan induktansi dibandingkan data hasil pengukuran dan perhitungan dari LCR meter. Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis material menara transmisi 150 kV, yaitu material dengan ukuran 62 cm, ukuran 96 cm, dan ukuran 146 cm.
2. Setelah dilakukan perbandingan data hasil pengukuran dan perhitungan dari LCR meter dengan data hasil pengukuran, perhitungan, dan pengamatan dari rangkaian peralatan pembanding dapat diketahui bahwa beberapa parameter mempunyai data yang sama, sedikit berbeda, dan signifikan berbeda. Seperti disajikan pada Tabel 12 yang membandingkan V_{peak} dan V_{eff} menunjukkan nilai V_{peak} dan V_{eff} hasil pengukuran LCR dengan hasil pengukuran pada rangkaian pembanding memiliki nilai yang sama yaitu

3. 108 V dan 76,368 V. Pada Tabel 12 juga terdapat data yang menunjukkan sedikit perbedaan pada nilai I_{eff} saat perbandingan pada pengukuran material ukuran 96 cm dan 146 cm. Data pada LCR meter menunjukkan hasil 0,093 A sedangkan pada rangkaian pembanding hasilnya 0,096 A.
4. Beberapa perbedaan hasil data yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh keandalan alat ukur yang digunakan. Seperti data yang menunjukkan perbedaan waktu gelombang (Δt) dan sudut fase pada Tabel 13, hasil pengamatan pengukuran LCR meter menggunakan simulasi untuk material 62 cm, 96 cm, dan 146 cm masing – masing menunjukkan nilai 0,0027; 0,0023; dan 0,22 ms. Sedangkan hasil pengamatan rangkaian pembanding pada osiloskop untuk material 62 cm, 96 cm, dan 146 cm masing – masing menunjukkan nilai 0,0020; 0,0020; dan 0,200 ms. Hal ini terjadi karena pada osiloskop hanya bisa memberikan pembacaan pengukuran pada bilangan bulat sehingga detail angka desimal tidak terbaca. Selain itu juga data pada Tabel 14 yang menyajikan perbandingan nilai resistansi dan induktansi antara hasil pengukuran LCR meter dengan hasil perhitungan dan pengamatan rangkaian pembanding menunjukkan nilai yang signifikan berbeda. Dimana data dari LCR meter untuk material 62 cm, 96 cm, dan 146 cm masing – masing untuk R menunjukkan nilai 0,012518; 0,0040875; dan 0,0034125 *Ohm* kemudian untuk L menunjukkan nilai 0,091125; 2,000869; dan 0,755210 uH. Sedangkan data hasil perhitungan dari pengukuran rangkaian pembanding untuk material 62 cm, 96 cm, dan 146 cm masing – masing untuk R menunjukkan nilai 0,00065175; 0,000869; dan 0,00381599 *Ohm* kemudian untuk L menunjukkan nilai 0,0747175; 0,0996233; dan 5,9939843 uH. Nilai yang signifikan ini dapat disebabkan karena pembacaan pengukuran pada multimeter yang tidak mampu mengukur tegangan yang sangat kecil sehingga hasil perhitungan tidak akurat.

4.2. Saran

1. Perancangan mekanik dapat dikembangkan lebih baik lagi ke dalam bentuk yang lebih sederhana sehingga lebih mudah untuk digunakan.
2. Penggunaan alat ukur yang lebih baik lagi untuk keandaalan dan presisinya, sehingga data yang didapatkan lebih akurat dan presisi.

Referensi

- [1] P. Doloksaribu, “ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK Reliability Analysis of Power System Distribution,” vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010.
- [2] A. Junaidi, A. A. Yogyanto, and D. Setiawan, “Analisa Surja Petir Menggunakan Elektromagnetik Transien Program Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi,” vol. 10, no. 2, pp. 359–369, 2021.
- [3] M. O. Goni and A. Ametani, “Analysis and estimation of surge impedance of tower,” *Appl. Comput. Electromagn. Soc. J.*, vol. 24, no. 1, pp. 72–78, 2009.
- [4] Tofan Bimantara, Juningtyastuti, and Mochammad Facta, “Kinerja Rangkaian R-C Dan R-L-C Dalam Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls,” *Transient*, vol. 5, no. 4, pp. 1–7, 2018.
- [5] GW Instek, “LCR-6000 Specifications,” pp. 99–100, 2018.
- [6] S. Hamid, J. Jamaaluddin, D. H. R. Saputra, and A. Wisaksono, “Analysis of DC MCB Usage Characteristics for AC and DC Load Usage,” *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 3–8, 2022, doi: 10.21070/pels.v2i2.1243.
- [7] W. Z. Riyadi, “Pengujian MCB Berdasarkan Standar IEC 947-2,” *Univ. Islam Indones.*, vol. 1, no. 12524110, pp. 1–26, 2018.
- [8] P. T. Pln, “STANDARISASI GAMBAR OUTLINE DAN ARRANGEMENT TOWER TRANSMISI 2 SIRKUIT 150 kV / 275 kV / 500 kV DALAM RANGKA PROYEK 35000MW.”
- [9] A. Bachmid, V. Poekoel, and J. Wuwung, “Osiloskop Portable Digital Berbasis AVR ATmega644,” *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–26, 2017.
- [10] Satiagah Agah, Mulyana Farid, *Teknik Kelistrikan dan Elektronika Instrumentasi*, 2013.
- [11] I. Y. Basri and D. Irfan, *Komponen Elektronika*, vol. 53, no. 9. 2018.
- [12] Ponto Hantje, *Dasar Teknik Listrik*, Deepublish Publisher, Yogyakarta, 2018.
- [13] “Riky D.P., Phisca A.R., Dasar-Dasar Pengukuran Besaran Listrik.2021.UAD Press.Diakses online.pdf.”
- [14] M. Ikhwanus, “Rangkaian Listrik I,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2014.
- [15] B. & K. Precision, “LCR Meter Guide,” pp. 1–49, 2014.