



PENERAPAN OPERASI SISTEM TELEMETERING SECARA REAL TIME DATA BESARAN LISTRIK PADA OVERHEAD LINE MODEL PERCOBAAN KOMPENSASI PARALEL DAN SERI MENGGUNAKAN TRAINER POWER SYSTEM SIMULATION

Djodi Antono*, Ahmad Hardito, Lilik Eko Nuryanto, M. Khambali

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang Semarang 50275
*E-mail: djodi.antono.s209@gmail.com

Abstrak

Tidak adanya pemanfaatan alat praktikum mengenai simulasi kerja saluran transmisi sebagai salah satu media pembelajaran secara praktik dari bahan teori mata kuliah sistem saluran transmisi menyebabkan mahasiswa kurang memahami kondisi nyata sistem saluran transmisi itu sendiri. Maka, berangkat dari hal tersebut penulis membuat penerapan dalam Sistem Telemetering secara *Real Time* Data Besaran Listrik pada *Power System Simulation* (PSS) DL GTU102.2 Overhead Line Model Percobaan kompensasi paralel dan seri menggunakan PLC. Data besaran listrik yang diukur adalah tegangan dan arus. Besaran listrik yang lain seperti daya aktif dan daya reaktif dihitung menggunakan aritmatika pada program PLC. Data besaran listrik dari alat praktikum PSS DL GTU102.2 *Overhead Line Model* diukur oleh PLC dengan bantuan CT dan PT untuk mengkonversikan tegangan dan arus agar tidak melebihi nilai maksimum input PLC.

Kemudian nilai yang diterima PLC akan ditransfer ke komputer dan dimonitoring oleh SCADA yang digunakan sebagai pembaca pengukuran besaran listrik dari PLC dan sekaligus alat pemantau kerja sistem alat praktikum itu sendiri.

Kata Kunci: Radiasi, gelombang elektromagnet, telepon selular

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Power System Simulation (PSS) DL GTU102.2 *Overhead Line Model* merupakan sebuah alat simulasi transmisi tegangan tinggi. Pada modul ini kita dapat mensimulasi besaran listrik yang terdapat pada transmisi tegangan tinggi untuk pembelajaran. Penggunaan modul ini menggunakan sistem *scaling* yaitu dengan cara menskala variable *real* pada transmisi dengan skala tertentu. Hasil pembacaan besaran listrik yang terukur pada modul simulasi ini akan ditampilkan pada alat ukur. Seiring dengan kemajuan teknologi pada saat ini, banyak alat-alat pengukuran listrik yang sudah dapat dikembangkan operasionalnya secara otomatis sama halnya dengan alat ukur yang akan

kami kembangkan pada alat simulasi transmisi tegangan tinggi yakni dari alat ukur analog dikembangkan menjadi alat ukur digital sehingga lebih mudah dalam pembacaan dan penggunaannya. Pada *Power System Simulation (PSS) DL GTU102.2 Overhead Line Model* alat ukur yang digunakan hanya berupa alat ukur analog dan digital yang tidak dapat dipantau dari jauh. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuatlah penerapan telemetering besaran listrik yang ditampilkan pada *PowerSystem Simulation (PSS) DL GTU102.2 Overhead Line Model* berbasis PLC dan SCADA.

Telemetering sendiri merupakan proses pengambilan besaran listrik yang terukur dari percobaan kompensasi paralel dan seri pada *Power System Simulation (PSS) DL GTU102.2 Overhead Line Model* untuk dapat dimonitor data pengukuran dan kerja alatnya melalui komputer secara *real time*. Dengan menggunakan teknologi *real time* ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu dapat menampilkan data besaran listrik yang bersifat *real time*, mengolah data besaran listrik tersebut untuk mendapatkan data yang akurat berkaitan dengan kualitas dan kuantitas besaran listrik tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dibuat suatu alat dengan judul “Rancang Bangun Trainer Sistem Telemetering secara *Real Time* Data Besaran Listrik pada *Power System Simulation (PSS) DL GTU102.2 Overhead Line Model* Percobaan kompensasi paralel dan seri berbasis PLC & SCADA.

TINJAUAN PUSTAKA

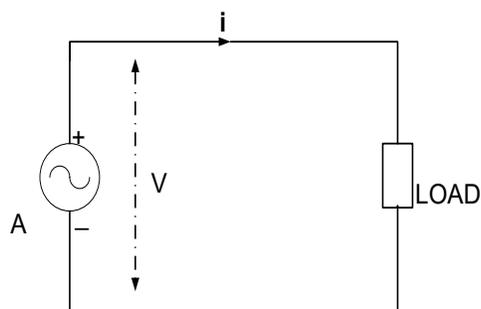
2.1 Daya Listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan Watt, yang merupakan perkalian dari tegangan dan arus. Daya dinyatakan dalam P, tegangan dinyatakan dalam V dan arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \cos\phi$$

Untuk P = Watt



Gambar 1 Aliran arus listrik

a. Daya Aktif

Daya ini sebenarnya adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor yang merupakan daya yang terpakai atau terserap. Kalau kita perhatikan supply dari PLN kerumah-rumah maka daya yang tercatat pada alat kWh meter adalah daya aktif yang akan dibayarkan oleh pelanggan.

Simbol: P

Satuan: Watt

Secara matematis daya rata-rata atau daya nyata merupakan perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan koefisien faktor dayanya. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (untuk satu fasa)}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (untuk tiga fasa)}$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

b. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang muncul diakibatkan oleh komponen pasif diluar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Daya ini seminimal mungkin dihindari walaupun bisa diperkecil, walaupun tidak akan hilang sama sekali dengan cara memperkecil faktor dayanya.

Simbol: Q

Satuan: Volt Ampere Reaktif (VAR)

Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah *transformator*, motor dan lain-lain. Daya reaktif disebut juga daya *imaginer*, vektor untuk daya reaktif bisa bernilai

positif atau negatif bergantung dari reaktansi X (induktor atau kapasitor). Satuan daya reaktif adalah VAR. Adapun persamaan dalam daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (untuk tiga fasa)}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (untuk tiga fasa)}$$

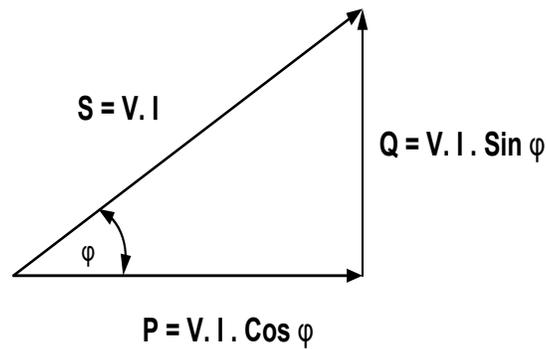
c. Daya Semu

Daya semu adalah daya yang sebenarnya disupply oleh PLN, merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif.

Simbol: S

Satuan: Volt Ampere (VA)

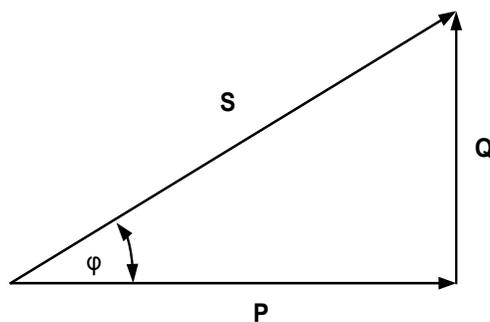
Dimana $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$



Gambar 2 Penjumlahan trigonometri daya aktif, reaktif dan semu

d. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda antar daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri.



Gambar 3 Segitiga Daya

Dimana berlaku hubungan:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S = V \cdot I \text{ (VA)}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \text{ (Watt)}$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \text{ (VAR)}$$

2.1.1 Faktor Daya

Faktor daya dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif dan daya semu yang digunakan dalam listrik arus bolak balik atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \varphi$.

$$\text{Faktordaya} = \frac{\text{Daya aktif (P)}}{\text{Daya semu (S)}}$$

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$

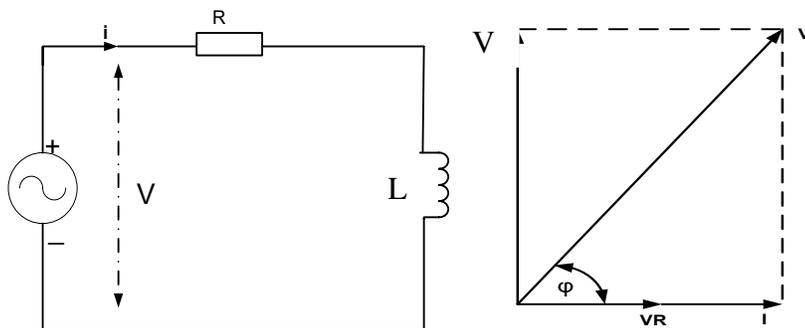
$$\text{Faktor daya} = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi}{V \cdot I} = \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ dalam persamaan daya aktif adalah faktor daya. Dalam industri biasanya diinginkan agar daya semu sekecil mungkin, konsisten dengan daya aktif berguna. Untuk tujuan ini dibuat daya semu sama dengan daya aktif atau dengan kata lain besarnya faktor daya adalah = 1. Faktor daya mempunyai nilai *range* antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen.

2.1.2 Faktor daya tertinggal (*Lagging*)

Faktor daya tertinggal adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Beban / peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif, seperti motor induksi, AC dan *transformator*.
2. Arus tertinggal dari tegangan



Gambar 4 Rangkaian dan diagram fasor faktor daya lagging

Sesuai dengan hukum Kirchoff II, maka:

$$\begin{aligned} V &= V_R + V_L \\ &= I (R + j X_L) \\ &= I (R + j \omega L) \end{aligned}$$

Jadi besarnya impedansi dalam gambar rangkaian 2.7 diatas adalah:

$$Z = R + j \omega L$$

Atau:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Dari gambar 2.7 diatas tampak bahwa arus I tertinggal dari tegangan V sebesar θ^0 .

Sehingga:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= \frac{V_L}{V_R} \\ &= \frac{\omega L}{R} \\ &= \frac{\text{reaktansi}}{\text{resistansi}} \\ \theta &= \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega L}{R} \right) \end{aligned}$$

Dari persamaan $V = V_R + V_L$, dikalikan dengan arus yang melewati rangkaian tersebut merupakan persamaan daya dalam rangkaian ini. Jadi:

$$.V = I . V_R + I . V_L)$$

Daya sesaat yang ada dalam rangkaian AC

$$\begin{aligned} P &= v . i \\ &= V_m \sin \omega t . I_m \sin(\omega t - \theta) \end{aligned}$$

θ = sudut fase antara tegangan dan arus

$P = \frac{V_m \cdot I_m}{2} [\cos \theta - \cos (2\omega t - \theta)]$ Daya rata-rata yang diambil dari satu perioda penuh, antara $t_1 = 0$ dan $t_2 = 2\pi/\omega$ adalah:

$$\begin{aligned} P &= \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cdot \frac{\omega}{2\pi} \int_{t_1}^{t_2} [\cos \theta - \cos (2\omega t - \theta)] \delta t \\ &= \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cos \theta \\ &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos \theta \end{aligned}$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \text{ [Watt]}$$

Jadi daya rata-rata dalam rangkaian AC adalah perkalian antara tegangan efektif, arus efektif dan faktor daya (cosinus dari sudut fasanya). Bila rangkaian bersifat resistif ($\theta = 0$ dan $\cos \theta = 1$), maka:

$$P = V \cdot I \text{ [Watt]}$$

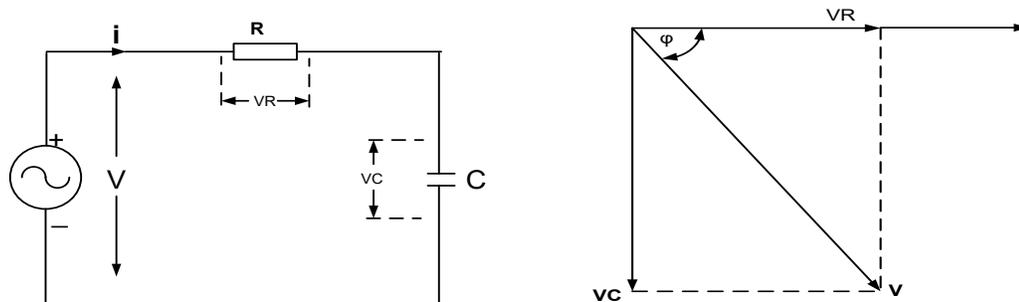
Bila rangkaian bersifat induktif atau kapasitif yaitu bila $\theta = \pm 90$ dan $\cos \theta = 0$, maka:

$$P = 0 \text{ [Watt]}$$

2.1.3 Faktor daya mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Beban / peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif, seperti kapasitor, generator sinkron, motor sinkron.
2. Arus (I) mendahului dari tegangan (V)



Gambar 5 Rangkaian dan diagram phasor faktor daya *leading*

Jadi:

$$\begin{aligned} V &= V_R + V_C \\ &= I (R - jX_C) \\ &= I (R - j \frac{1}{\omega C}) \end{aligned}$$

Besarnya impedansi pada rangkaian diatas adalah:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{V}{I} \\ &= R - j \frac{1}{\omega C} = R - jX_C \text{ [Ohm]} \end{aligned}$$

2.2 PSS Overhead line Model GTU102.2

PSS Overhead Line Model GTU102.2 merupakan modul untuk mensimulasikan jaringan transmisi tegangan tinggi dengan system tegangan AC 3 fasa. Modul simulasi ini menggunakan

system perbandingan besaran listrik asli di lapangan dengan besaran listrik yang digunakan pada modul.

Perbandingan model yang digunakan bisa 1:1.000 untuk tegangan dan arus untuk perbandingan daya nyata dan daya semu menggunakan perbandingan 1: 1.000.000. Berikut ini adalah penggunaan perbandingannya:

Tabel 1 Data Sheet Modle Scale De Lorenzo PSS Overhead Line DL GTU 102.2

<i>Real Network</i>	<i>Line Model</i>
1 KV	1 V
1 KA	1 A
1 MW	1 W
1 MVA	1 VA

Model simulasi PSS *Overhead Line Model* GTU102.2 hanya disarankan untuk menggunakan *moving iron* ammeters dan voltmeter.

PSS *Overhead Line Model* GTU102.2 memiliki beberapa kegunaan, antara lain :

1. Pengukuran tegangan pada operasi tanpa beban.
2. Konsep operasi kapasitansi.
3. Model sejalan dengan peningkatan operasi kapasitansi.
4. Pengukuran hubungan arus dan tegangan dari sebuah transmisi pada operasi sesuai operasi berbeban ; interpretasi persyaratan karakteristik impedansi gelombang, operasi yang tertinggal dan mendahului, efisiensi dan kerugian transmisi.
5. Pengukuran dan interpretasi dari rasio arus dan tegangan pada saluran transmisi ketika hubung singkat tiga fasa.
6. Pengukuran dan interpretasi dari rasio arus dan tegangan pada saluran transmisi dengan campuran ohmic-induktif dan beban induktif murni.
7. Pengukuran dan interpretasi dari rasio arus dan tegangan dari saluran transmisi dengan campuran ohmic-kapasitif dan beban kapasitif murni.
8. Investigasi terhadap kinerja saluran transmisi dengan terisolasi koneksi titik netral dalam kasus kesalahan untuk pentanahan.
9. Pengukuran arus gangguan pentanahan dan munculnya tegangan karena kesalahan fasa.

10. Penentuan induktansi dari gangguan pentanahan untuk menetralkan model saluran transmisi.
11. Investigasi terhadap kinerja saluran transmisi dengan gangguan dan perbandingan dari nilai arus dengan itu yang ditentukan selama gangguan pentanahan dengan terisolasi sistem titik netral.
12. Pengukuran arus kesalahan asimetris hubung singkat dan perbandingan hasil dengan itu untuk gangguan tiga fase.
13. Investigasi tentang pengaruh kompensasi paralel pada stabilitas tegangan pada beban dan kerugian jaringan transmisi.
14. Investigasi tentang pengaruh kompensasi seristabilitas tegangan pada beban.
15. Penggunaan teknik pengukuran untuk menentukan *zero-fase* urutan impedansi dari model saluran udara dan perbandingan nilai ini dengan teori.

2.2 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

Sistem SCADA adalah suatu metode dalam sistem kontrol, dimana operator dapat melakukan fungsi kontrol (*controlling*), pengawasan (*monitoring*) dan pengambilan serta perekaman data (*data acquisition*) dari sebuah sistem yang sedang bekerja. SCADA dapat difungsikan sebagai sistem yang dapat mengumpulkan informasi atau data-data dari lapangan dan kemudian mengirimkannya ke sebuah komputer sentral yang akan mengatur dan mengontrol data-data tersebut. Sistem SCADA tidak hanya digunakan dalam proses-proses industri, misalnya, pabrik baja, pembangkit, dan pendistribusian tenaga listrik (konvensional maupun nuklir), pabrik kimia, tetapi juga pada beberapa fasilitas eksperimen seperti fusi nuklir. (Baily, D., Wright, E. 2003. *Practical SCADA for Industry*).

2.2.1 Fungsi SCADA

Secara umum fungsi SCADA adalah akuisisi data, konversi data, pemrosesan data, *supervisory control, tagging*, pemrosesan *alarm* dan *event*.

1. Akuisi data
Merupakan proses penerimaan data dari peralatan di lapangan.
2. Konversi data
Merupakan proses konversi data-data dari lapangan ke dalam format standart.
3. Pemrosesan data
Penganalisan data yang diterima untuk dilaporkan kepada operator.

4. *Supervisory Control*

Pengendalian dan pemantauan peralatan-peralatan yang ada di lapangan.

5. *Tagging*

Penambahan informasi pada peralatan tertentu.

6. Pemrosesan *alarm* dan *event*

Penginformasian kepada operator apabila ada perubahan di dalam sistem.

Fungsi khusus dari sistem SCADA diantaranya yaitu *telecontrol*, *telesignaling*, *telemetering*.

1. *Telecontrol*

Berfungsi melakukan perintah *Remote Control (open/close)* terhadap peralatan yang ada di lapangan.

2. *Telesignaling*

Berfungsi mengumpulkan data status dan *alarm (open, close, power supply fault, indikasi relay* atau parameter lainnya) yang dianggap perlu, yang dapat membantu operator dalam memonitor peralatan yang berada di lapangan. Dengan ini diharapkan gangguan pada bagian tertentu dapat dideteksi lebih cepat, karena pemantauan dari pusat kontrol dan diketahui dalam waktu yang *Real Time*.

3. *Telemetering*

Berfungsi mengukur beban yang terpasang pada alat ukur tenaga listrik (arus, tegangan, daya aktif, frekuensi dll) dan semua peralatan yang ada di lapangan. Hasil pemantauan ini selain digunakan sebagai pencatat data pengoperasian alat juga dapat digunakan dalam kaitannya untuk melakukan *remote control*.

2.3 PLC (*Programmable Logic Controller*)

PLC didefinisikan sebagai suatu perangkat elektronik digital dengan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi yang menjalankan fungsi-fungsi spesifik seperti: logika, sekuen, *timing*, *counting*, dan aritmatika untuk mengontrol suatu mesin industri atau proses industri sesuai dengan yang diinginkan. PLC mampu mengerjakan suatu proses terus menerus sesuai variabel masukan dan memberikan keputusan sesuai keinginan pemrograman sehingga nilai keluaran tetap terkontrol serta mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, waktu, pencacahan

dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital

Keunggulan PLC dibanding sistem konvensional antara lain:

1. Relatif mudah untuk melakukan perubahan pada strategi kontrol yang akan diterapkan, karena logika kontrol yang digunakan diwujudkan dalam bentuk perangkat lunak.
2. Jumlah relai yang diperlukan sangat dikurangi.
3. Lebih mudah untuk menginstalasinya karena pengkabelannya sederhana.
4. Lebih mudah untuk menemukan kesalahan dan kerusakan karena PLC memiliki fasilitas self-diagnosis.
5. Secara umum biaya yang diperlukan lebih kecil, baik dari segi biaya pengadaan maupun pemeliharaan.

Tahan bekerja terus menerus dalam lingkungan kerja yang umum dijumpai di pabrik pabrik, misalnya temperatur tinggi, tekanan tinggi, kelembaban tinggi, atau beracun. Ukuran PLC biasanya dinyatakan dengan jumlah input dan output yang dapat ditangani serta kapasitas memori programnya. PLC mikro biasanya hanya memiliki beberapa I/O saja, sementara tipe mini memiliki puluhan I/O. PLC tipe *rack* memiliki jumlah I/O ratusan atau bahkan ribuan.

METODE PENELITIAN

3.1. Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan mencari cara yang tepat dan efisien dalam mempraktekkan simulasi jaringan overheadline tegangan tinggi yang dikendalikan oleh PLC dan SCADA melalui laptop, kemudian membuat suatu pedoman / petunjuk yang tepat untuk melaksanakannya.

3.2. Studi literatur melalui buku-buku dan jurnal

Studi literature ini dilakukan guna meningkatkan wawasan dan pengetahuan peneliti sehingga penerapan ilmu dan teori dapat dilaksanakan dengan *update* teknologi dan penelitian terkini terkait meliputi teknologi yang *diteliti*. Yaitu melalui studi

kepastakaan terhadap buku-buku yang relevan dan melalui browsing di internet tentang informasi informasi yang mendukung terlaksananya penelitian ini.

3.3. Observasi Penelitian di Laboratorium Elektro Polines

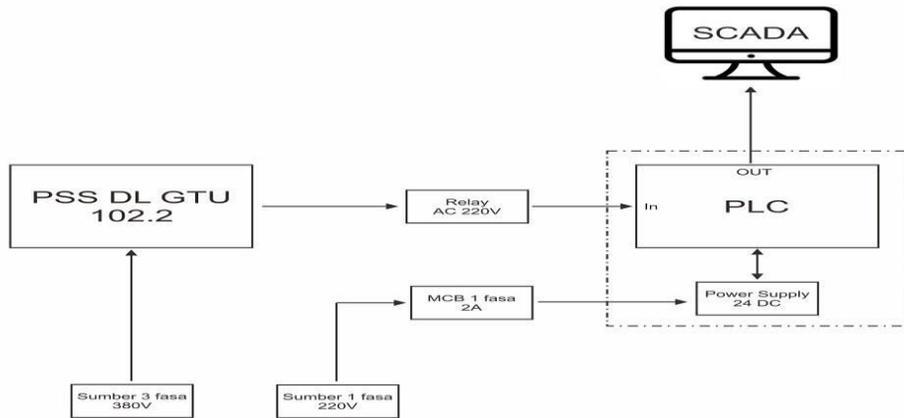
Pengembangan penelitian berbasis dengan sumber daya Laboratorium Mesin-mesin Listrik dan Laboratorium Kendali JTE Politeknik Negeri Semarang. Sumber daya yang dimiliki institusi yang berupa peralatan dan data akan dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk mendukung penelitian ini.

3.4 Peralatan yang dipergunakan

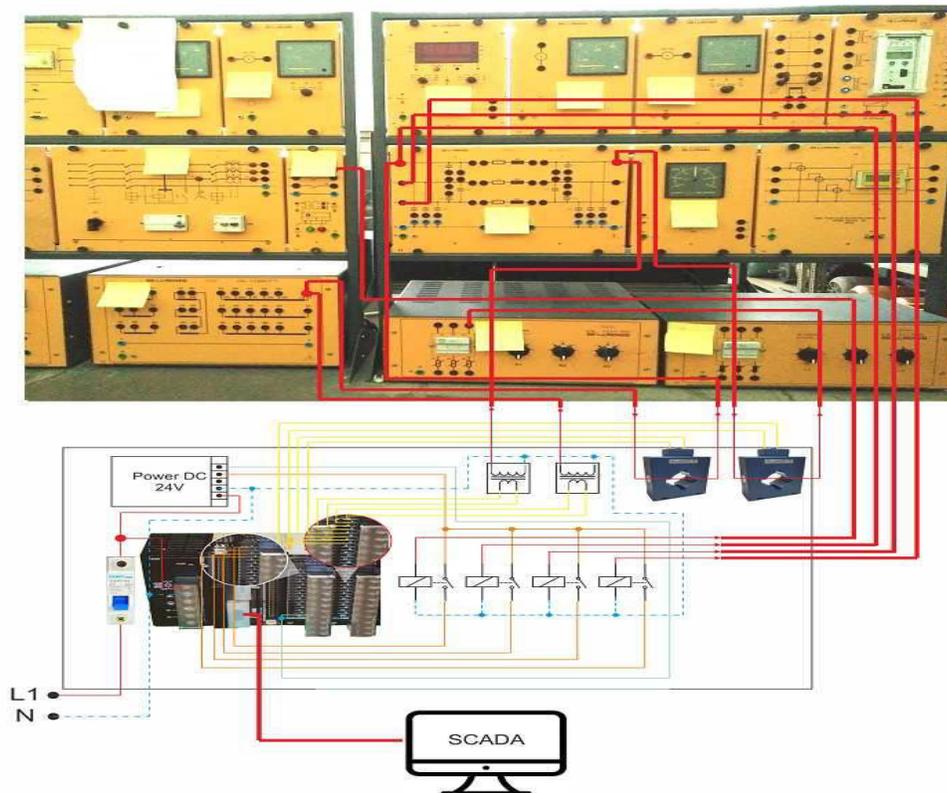
Tabel 3.1 Peralatan yang dipakai

1. Simulasi Jaringan over head line PSS DL GTU 102.2	1 buah
2. Voltmeter	1 buah
3. Ampere meter	1 buah
4. Laptop dengan SCADA	1 buah
5. PLC	1 buah
6. Sumber tegangan 3 fasa dari PLN	1 buah
7 Kabel penghubung secukupnya	1 Unit
8. Trafo CT	1 Unit
9. Beban resistif, induktif dan kapasitif	1 Unit

3.5. Rangkaian Percobaan

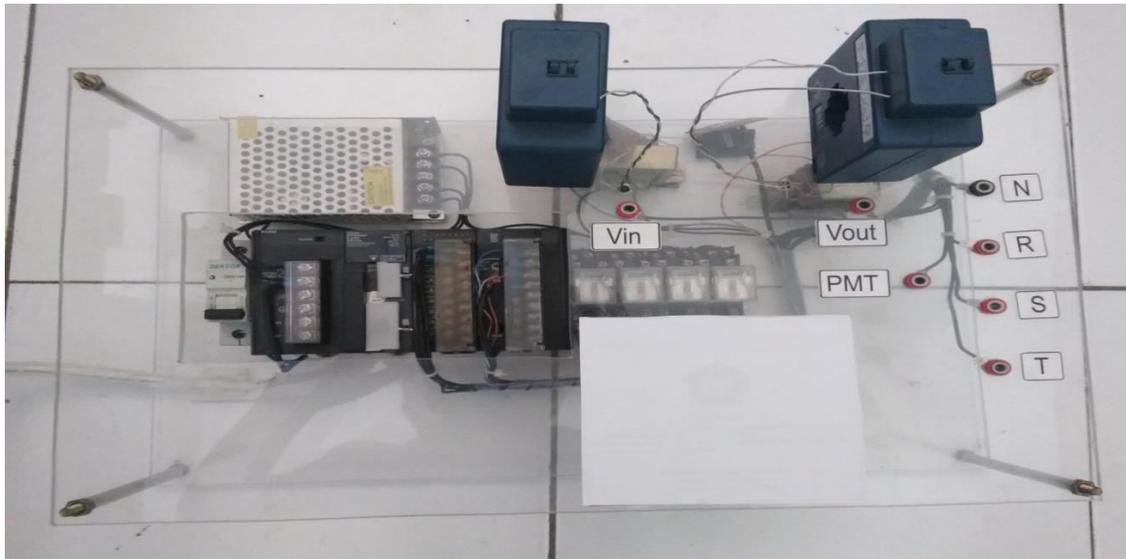


Gambar 6 Rangkaian Percobaan



Gambar 7 Rangkaian Percobaan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

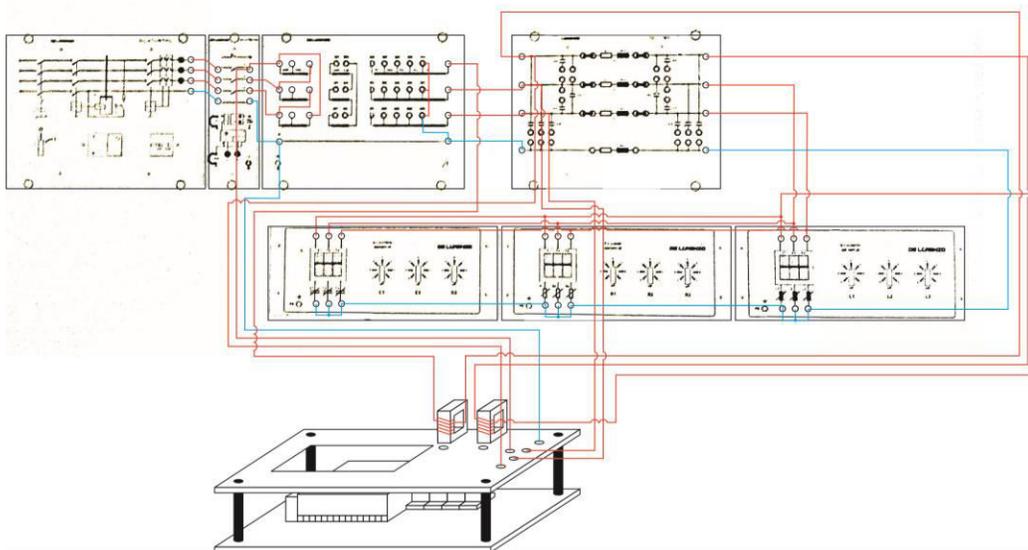


Gambar 8 Visualisasi Peralatan

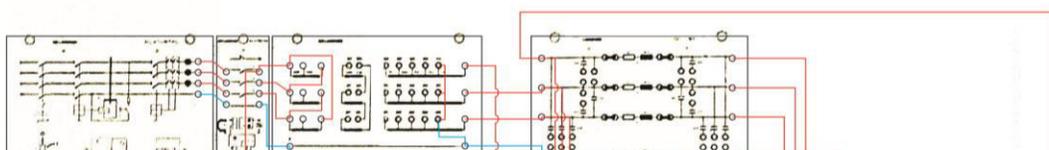
4.1 Uji Coba Alat

Urutan pengujian alat sebagai berikut:

- a. Merangkai rangkaian percobaan pada modul PSS *Overhead Line Model* sesuai dengan jenis percobaan.
- b. Menghubungkan *Trainer* dengan PSS *Overhead Line Model* dan komputer berbasis SCADA



Gambar 9 Wiring Diagram percobaan kompensasi paralel



4.2.2 Percobaan Kompensasi Paralel

4.2.2.1 Percobaan dengan beban $R_1 - R_5$ dengan posisi (L_2 dan C_2) dengan panjang kabel

USB 1,5m

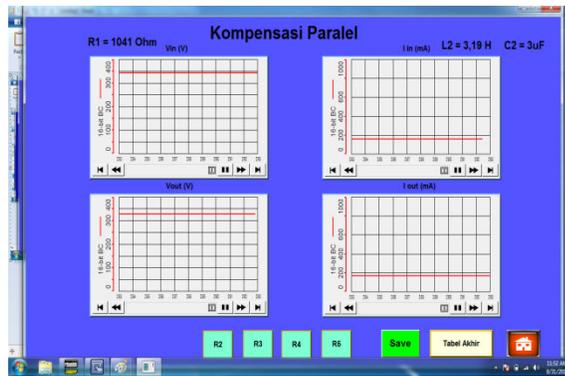
Untuk beralih ke halaman tabel percobaan untuk melihat atau memantau hasil nilai besaran yang terukur pada praktikum maka kita harus mengklik pilihan save terlebih dahulu pada halaman grafik. Pilihan save digunakan untuk menyimpan nilai yang ada di grafik untuk ditampilkan pada tabel percobaan kemudian nilai arus input dan tegangan input yang terukur akan diproses dalam program PLC untuk mengetahui besar nilai daya input yang kemudian akan ditampilkan pada tabel percobaan juga. Setelah memilih pilihan save kemudian pilih sub *menu* Tabel akhir untuk melihat keseluruhan hasil pengukuran.

Berikut ini tabel dan grafik pengukuran persatuan besaran untuk melihat secara detail nilai hasil pengukuran yang didapat

1. Percobaan Beban R_1 (1041Ω)

Tabel 2 Hasil pengukuran V_{in} , V_{out} , I_{in} pada kompensasi paralel C_2 ($3\mu F$) dengan beban R_1 (1041Ω) dan L_2 ($3,19mH$)

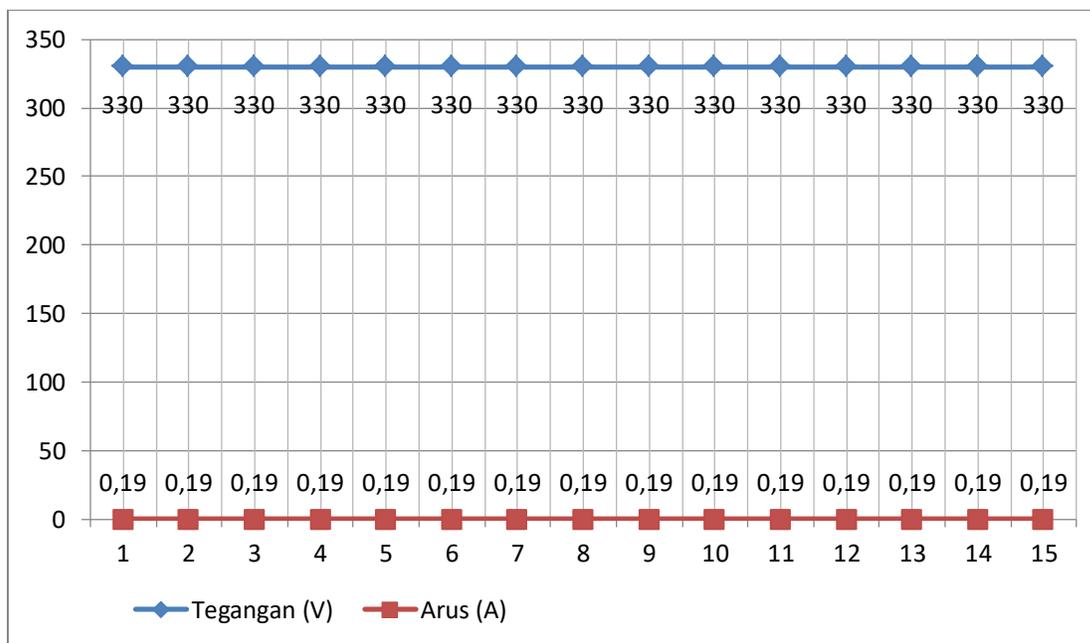
Detik (s)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
1	348	330	190
2	348	330	190
3	348	330	190
4	348	330	190
5	348	330	190
6	348	330	190
7	348	330	190
8	348	330	190
9	348	330	190
10	348	330	190
11	348	330	190
12	348	330	190
13	348	330	190
14	348	330	190
15	348	330	190



Gambar 11 Grafik hasil pengukuran V_{in} , V_{out} , I_{out} pada kompensasi paralel C_2 ($3\mu\text{F}$) dengan beban R_1 (1041Ω) dan L_2 ($3,19\text{mH}$)

Tabel 3 Hasil pengukuran Tegangan dan Arus pada kompensasi paralel C_2 ($3\mu\text{F}$) dengan beban R_1 (1041Ω) dan L_2 ($3,19\text{mH}$)

Time	Tegangan (V)	Time	Arus (mA)
1	330	1	190
2	330	2	190
3	330	3	190
4	330	4	190
5	330	5	190
6	330	6	190
7	330	7	190
8	330	8	190
9	330	9	190
10	330	10	190
11	330	11	190
12	330	12	190
13	330	13	190
14	330	14	190
15	330	15	190

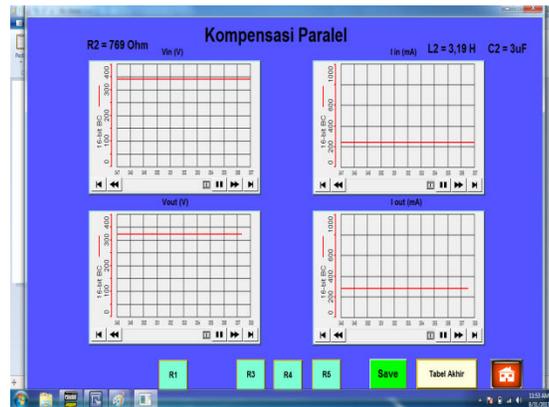


Gambar 12 Grafik Tegangan terhadap Arus kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R1 (1041Ω) dan L2 (3,19mH).

2. Percobaan beban R2 (769Ω)

Tabel 4 Hasil pengukuran Vin, Vout, Iin pada kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R2 (769Ω) dan L2 (3,19mH)

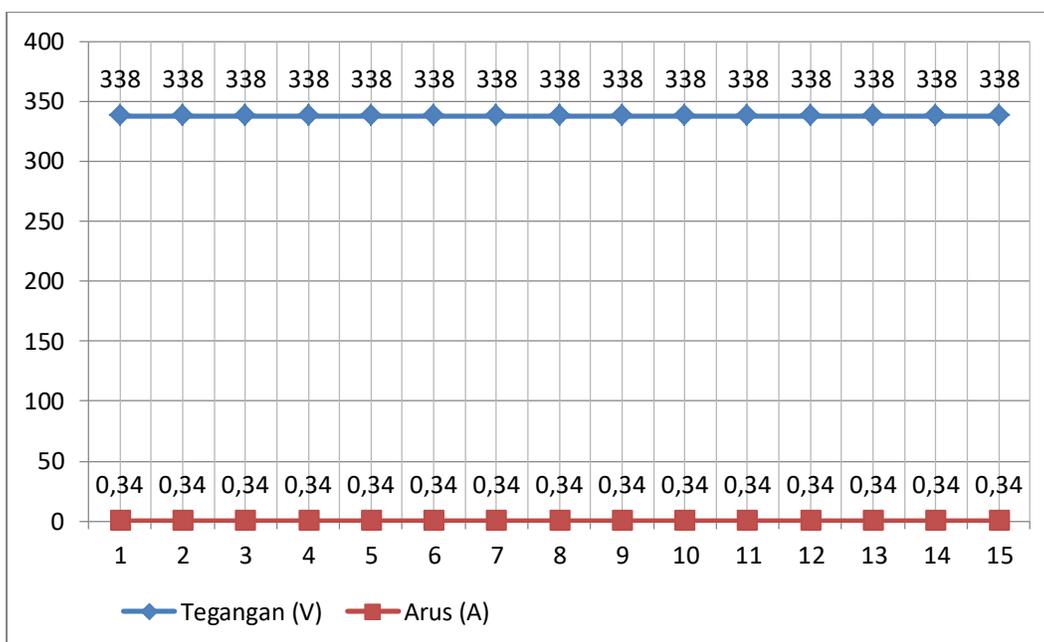
Detik (s)	Vin (V)	Vout (V)	Iout (mA)
1	346	327	240
2	346	327	240
3	346	327	240
4	346	327	240
5	346	327	240
6	346	327	240
7	346	327	240
8	346	327	240
9	346	327	240
10	346	327	240
11	346	327	240
12	346	327	240
13	346	327	240
14	346	327	240
15	346	327	240



Gambar 13 Grafik hasil pengukuran Vin, Vout, Iout pada kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R2 (769Ω) dan L2 (3,19mH)

Tabel 5 Hasil pengukuran Tegangan dan Arus pada kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R2 (769Ω) dan L2 (3,19mH)

Time	Tegangan (V)	Time	Arus (mA)
1	327	1	240
2	327	2	240
3	327	3	240
4	327	4	240
5	327	5	240
6	327	6	240
7	327	7	240
8	327	8	240
9	327	9	240
10	327	10	240
11	327	11	240
12	327	12	240
13	327	13	240
14	327	14	240
15	327	15	240



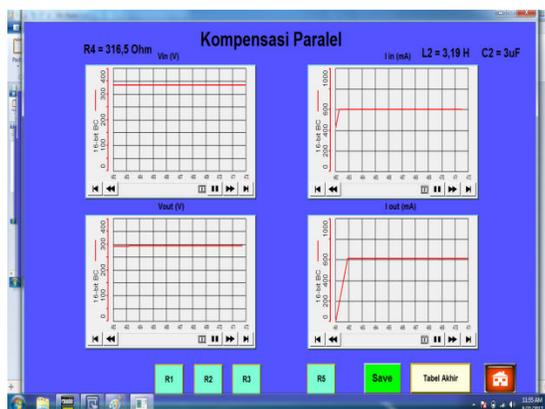
Gambar 14 Grafik Tegangan terhadap Arus kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R2 (769Ω) dan L2 (3,19mH)

3. Percobaan beban R3 (443Ω)

Tabel 6 Hasil pengukuran Vin, Vout, Iin pada kompensasi paralel C2 (3uF) dengan beban R3 (443Ω) dan L2 (3,19mH)

Detik (s)	Vin (V)	Vout (V)	Iout (mA)
1	344	298	600
2	344	300	600
3	344	300	600
4	344	300	600
5	344	300	600
6	344	300	600
7	344	300	600
8	344	300	600
9	344	300	600
10	344	300	600
11	344	300	600
12	344	300	600
13	344	300	600
14	344	300	600
15	344	300	600

3



Gambar 15 Grafik hasil pengukuran V_{in} , V_{out} , I_{out} pada kompensasi paralel C_2 ($3\mu F$) dengan beban R_3 (443Ω) dan L_2 ($3,19mH$)

4.2.2 Percobaan Kompensasi Seri

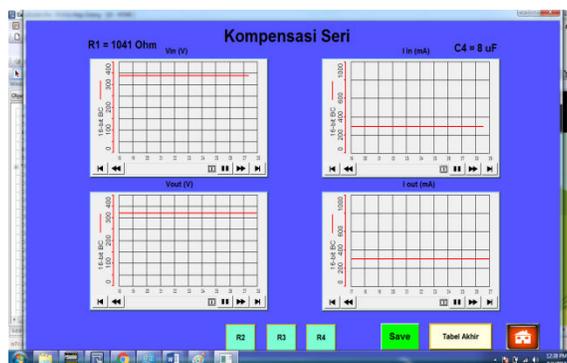
4.2.3.1 Percobaan beban $R_1 - R_4$ dengan posisi (C_4)

Berikut ini adalah tampilan tabel dan diagram grafik hasil pengukuran percobaan kompensasi seri C_4 ($8\mu F$).

1. Percobaan beban R_1-L_1

Tabel 7 Hasil pengukuran V_{in} , V_{out} , I_{in} pada kompensasi seri C_4 ($8\mu F$) dengan beban R_1 dan L_1

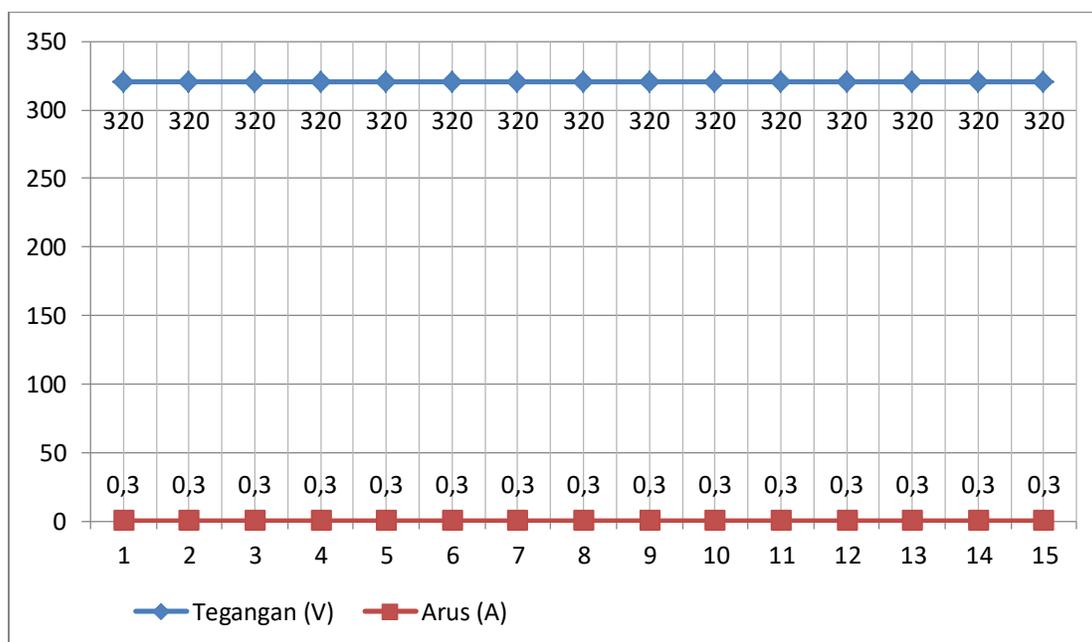
Detik (s)	V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
1	338	320	300
2	338	320	300
3	338	320	300
4	338	320	300
5	338	320	300
6	338	320	300
7	338	320	300
8	338	320	300
9	338	320	300
10	338	320	300
11	338	320	300
12	338	320	300
13	338	320	300
14	338	320	300
15	338	320	300



Gambar 16 Grafik hasil pengukuran Vin, Vout, Iin pada kompensasi seri C4 (8uF) dengan beban R1 dan L1

Tabel 8 Hasil pengukuran Tegangan terhadap Arus pada kompensasi seri C4 (8uF) dengan beban R1 dan L1

Time	Tegangan (V)	Time	Arus (mA)
1	320	1	300
2	320	2	300
3	320	3	300
4	320	4	300
5	320	5	300
6	320	6	300
7	320	7	300
8	320	8	300
9	320	9	300
10	320	10	300
11	320	11	300
12	320	12	300
13	320	13	300
14	320	14	300
15	320	15	300

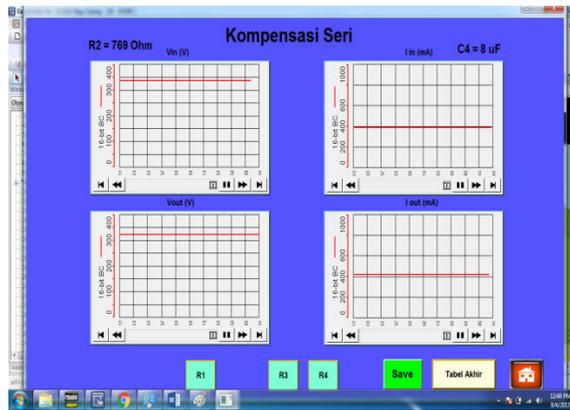


Gambar 17 Grafik Tegangan terhadap Arus kompensasi seri C2 (3uF) dengan beban R1 dan L1

2. Percobaan beban R2-L2

Tabel 9 Hasil pengukuran Vin, Vout, Iin pada kompensasi seri C4 (8uF) dengan beban R2 dan L2

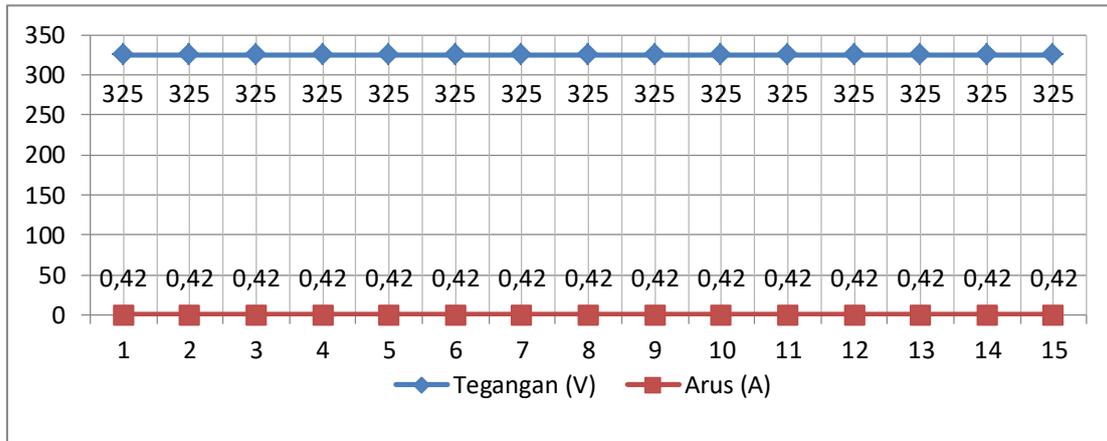
Detik (s)	Vin (V)	Vout (V)	Iout (mA)
1	336	325	420
2	336	325	420
3	336	325	420
4	336	325	420
5	336	325	420
6	336	325	420
7	336	325	420
8	336	325	420
9	336	325	420
10	336	325	420
11	336	325	420
12	336	325	420
13	336	325	420
14	336	325	420
15	336	325	420



Gambar 18 Grafik hasil pengukuran V_{in} , V_{out} , I_{out} pada kompensasi seri $C4$ ($8\mu\text{F}$) dengan beban $R2$ dan $L2$

Tabel 10 Hasil pengukuran Tegangan terhadap Arus pada kompensasi seri $C4$ ($8\mu\text{F}$) dengan beban $R2$ dan $L2$

Time	Tegangan (V)	Time	Arus (mA)
1	325	1	420
2	325	2	420
3	325	3	420
4	325	4	420
5	325	5	420
6	325	6	420
7	325	7	420
8	325	8	420
9	325	9	420
10	325	10	420
11	325	11	420
12	325	12	420
13	325	13	420
14	325	14	420
15	325	15	420

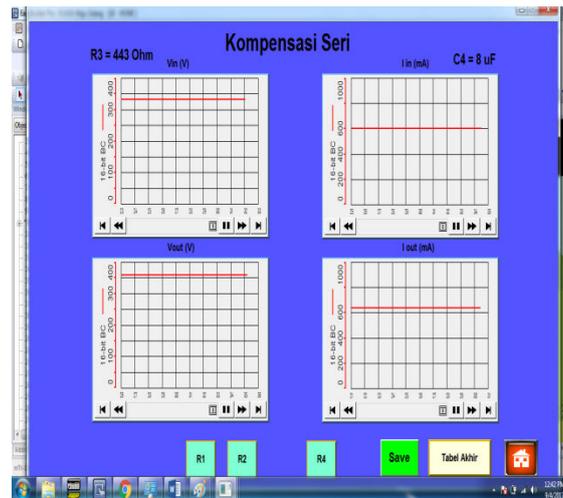


Gambar 19 Grafik Tegangan terhadap Arus kompensasi seri C2 (3uF) dengan

3. Percobaan beban R3 -L3

Tabel 11 Hasil pengukuran Vin, Vout, Iin pada kompensasi seri C4 (8uF) dengan beban R3 dan L3

Detik (s)	Vin (V)	Vout (V)	Iout (mA)
1	332	360	640
2	332	360	640
3	332	360	640
4	332	360	640
5	332	360	640
6	332	360	640
7	332	360	640
8	332	360	640
9	332	360	640
10	332	360	640
11	332	360	640
12	332	360	640
13	332	360	640
14	332	360	640
15	332	360	640



Gambar 10 Grafik hasil pengukuran Vin, Vout, Iout pada kompensasi seri C4 (8uF) dengan beban R3 dan L3

4.2.3 Tampilan Tabel Akhir Pengukuran

1. Percobaan Kompensasi Paralel L2 dan C2

R	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	Cos θ
R1	341	0.18	31	326	0.19	31	0.99
R2	340	0.24	46	321	0.28	49	0.99
R3	336	0.43	81	306	0.47	80	0.99
R4	333	0.59	110	290	0.60	98	0.99
R5	329	0.78	145	270	0.79	120	0.99

Gambar 11 Tabel akhir percobaan kompensasi paralel L2 dan C2

2. Percobaan Kompensasi Paralel L4 dan C4

R	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	Cos θ
R1	341	0.21	40	326	0.25	46	0.98
R2	339	0.28	52	322	0.30	55	0.98
R3	335	0.44	82	307	0.48	82	0.98
R4	332	0.59	109	290	0.62	100	0.98
R5	328	0.77	142	269	0.83	123	0.98

Gambar 22 Tabel akhir percobaan kompensasi paralel L4 dan C4

3. Percobaan Kompensasi seri C4



R	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)
R1	338	0.29	90	319	0.30	47
R2	336	0.39	66	323	0.42	68
R3	332	0.60	100	360	0.64	117
R4	332	0.70	117	407	0.74	162

Gambar 23 Tabel akhir percobaan kompensasi seri C4

4.3 Analisa Hasil Pengukuran

4.3.1 Analisa Hasil Pembacaan

1. Pada setiap grafik dapat terlihat bahwa pada saat PMT dinyalakan data tegangan akan langsung terbaca dan ditampilkan di grafik, sedangkan data arus akan terbaca selang beberapa detik setelahnya. Hal tersebut terjadi karena proses pembacaan trafo CT yang lambat sehingga input analog PLC pembacaan arus tertinggal beberapa detik dari pembacaan input analog pembacaan tegangan.
2. Pada trafo tegangan sisi output (Vout) jika sumber tegangan atau PMT dimatikan, tegangan yang terbaca pada input analog PLC tidak langsung mengilang seperti pada trafo tegangan sisi input (Vin) melainkan akan ada sisah tegangan yang terbaca. Tegangan sisah ini akan turun secara perlahan hingga hilang berkisar antara 30 s/d 40 detik.

4.3.2 Analisa Regulasi Tegangan

Berdasarkan pada rumus persamaan 2.50 dapat dicari regulasi tegangan berdasarkan Vin dan Vout pada percobaan kompensasi parallel dan seri.

1. Pada Rangkaian Kompensasi Paralel dengan beban R, L, dan C efisien pada beban L4, C4 dan R1, yaitu dimana nilai Kapasitansi yang lebih besar. Sehingga menghasilkan tegangan output dengan drop tegangan sekecil mungkin.
2. Dapat dilihat pula pada nilai regulasi tegangan bahwa drop terkecil terdapat pada rangkaian dengan beban L4, C4, dan R1 yaitu sebesar 1,53%.

4.3.3 Analisa Simulasi Untuk Parameter Penting Dalam Kontruksi Saluran Transmisi

Berdasarkan *Data Sheet* PSS pada table 2.1 dapat dicari perbandingan antara tegangan dan arus pada simulasi dan *real*-nya sebagai berikut:

Diketahui:

Arus max percobaan = 0,83 A (pada percobaan kompensasi parallel

L4 & C4 pada beban (R5)

Arus max sesungguhnya = 0,83 x 1000

(1A=1A) = 830 A

Teg. max percobaan = 412 V (pada percobaan kompensasi seri C4 pada beban L2 & R2)

Teg. max sesungguhnya = 412 x 1000

(1V=1kV) = 412 kV

Penampang yang digunakan penampang ACSR (*Alumunium Cable Steel Reinford*) dengan spesifikasi diambil dari *Data Sheet* konduktor sebagai berikut:

Ukuran luas nominal penampang (A) = 410 mm²

Kuat tarik minimum (T) = 13.890 Kg

Berat penampang (W) = 1.673 Kg/Km

Tahanan listrik penampang (Ω /km) = 0,0702 Ω /Km

Panjang penampang (km) = 360 Km

Jarak gawang (S) = 500 m

Berdasarkan rumus persamaan 2.59 kita dapat mencari besar nilai andongan/sag (D) penghantar:

$$\begin{aligned} D &= \frac{W \times S^2}{8 T} \\ &= \frac{1,673 \times 500^2}{8 \times 13.890} \\ &= \frac{418.250}{111.120} \\ &= 3,763 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus persamaan 2.60 kita dapat mencari nilai panjang penghantar sebenarnya (L₀) dalam 1 gawang:

$$\begin{aligned}L_0 &= S \left(1 + \frac{8 \times 3,763^2}{3 \times S}\right) \\&= 500 \left(1 + \frac{8 \times 3,763^2}{3 \times 500}\right) \\&= 500 \left(1 + \frac{113,281}{1500}\right) \\&= 500 (1,075) \\&= 537,5 \text{ m}\end{aligned}$$

Total penghantar yang digunakan untuk saluran sepanjang 360 Km adalah

$$\begin{aligned}L_{tot} &= 360.000 + \left(\frac{1000}{500} \times 37,5 \times 360\right) \text{ m} \\&= 360.000 + 27.000 \\&= 387.000 \text{ m} \\&= 387 \text{ km}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan data tersebut dapat ditentukan juga jarak bebas antar konduktor, yaitu dengan menggunakan rumus VAB (Van Buitenleidingen)

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{6D}{g} b + \frac{Vn}{150} \\&= \frac{6 \times 410}{1673} 3,763 + \frac{412}{150} \\&= 5,533 + 2,746 \\&= 8,2 \text{ m}\end{aligned}$$

Sedangkan jarak bebas minimum vertikal (*clearance*) menurut IEC60076-3 SE 2000-03 menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}C &= 5,182 + \left(0,305 \times \frac{(kV-33)}{33}\right) \text{ m} \\&= 5,182 + \left(0,305 \times \frac{(412-33)}{33}\right) \\&= 5,182 + (0,305 \times 11,484) \\&= 5,182 + 3,503 \\&= 8,685 \text{ m}\end{aligned}$$

Jika tinggi maksimal bangunan yang dilewati transmisi tersebut ialah bangunan 2 lantai ($\pm 15\text{m}$). Maka dapat diketahui jarak andongan terendah di tengah gawang ke permukaan bumi adalah.

$$h = 15 + 8,685$$

$$= 23,685 \text{ m}$$

Sehingga jika dimisalkan saluran transmisi menggunakan tower jenis korset dengan sirkuit tunggal maka dapat dicari tinggi minimum menara tersebut adalah,

$$\begin{aligned} H &= D + h + \text{tinggi kawat konduktor terhadap kawat tanah } (\pm 3\text{m}) \\ &= 3,763 + 23,685 + 3 \\ &= 30,448 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga dengan menggunakan penghantar *ACSR (Aluminium Cable Steel Reinford)* 410/26 mm² dengan spesifikasi tersebut serta dengan menggunakan tower jenis korset didapatkan data berupa:

Tinggi andongan	= 3,763 m
Panjang penghantar sebenarnya dalam 1 gawang sebesar	= 537,5 m
Total panjang penghantar sesungguhnya pada transmisi	= 387 km
Jarak bebas antar konduktor	= 8,2 m
Jarak bebas minimum vertikal (<i>clearance</i>)	= 8,685 m
Jarak sisi terendah andongan dengan permukaan bumi	= 23,685 m
Tinggi tower jenis korset yang digunakan	= 30,448 m

SIMPULAN

Fitur analog input pada PLC dapat digunakan untuk melakukan pengukuran besaran listrik seperti tegangan dan arus pada suatu jaringan transmisi serta dapat dimonitoring secara *Real Time* melalui komputer berbasis SCADA.

1. Untuk melakukan Telemetry, nilai sebenarnya suatu besaran listrik yang terdapat pada jaringan transmisi perlu dikonversi agar sesuai dengan spesifikasi pembacaan input analog PLC diperlukan sebuah konverter berupa *PotentialTransformer* untuk mengubah nilai tegangan serta *CurrentTransformer* untuk mengubah nilai arus yang mengalir.
2. Diperlukan suatu komponen pengkondisi sinyal untuk merubah tegangan AC menjadi DC, serta untuk menstabilkan nilai DC tersebut agar dapat dibaca oleh analog input PLC.
3. Disetiap langkah percobaan kompensasi paralel, diperoleh $\cos\phi$ yang hampir mendekati nilai 1

4. Untuk memperoleh nilai $\cos\phi$ yang mendekati nilai 1, diperlukan pemasangan kapasitor secara paralel yang besarnya mendekati dengan nilai beban induktifnya suatu jaringan
5. Besarnya beban resistif tidak mempengaruhi $\cos\phi$ pada suatu jaringan transmisi
6. Penggunaan kompensasi paralel efektif untuk mengurangi *drop* tegangan pada saat beban resistif besar (pada percobaan kompensasi paralel C4&L4 posisi beban R1 *drop* tegangan berkurang hingga 40V, sedangkan pada beban R5 *drop* tegangan hanya berkurang sekitar 15V)
7. Kompensasi seri efektif untuk mengurangi besarnya reaktansi saluran sehingga *drop* tegangan akan berkurang
8. Penggunaan kompensasi seri tidak mempengaruhi besarnya nilai $\cos\phi$ pada suatu jaringan transmisi
9. Penggunaan kompensasi seri sangat efektif untuk menaikkan tegangan pada sisi penerima/output jika beban resistif besar dan pada saluran transmisi yang berjarak sangat jauh (pada percobaan kompensasi seri C4 beban R1&L1 tegangan output naik 60V, sedangkan pada beban R4&C4 tegangan output berkurang berkisar 40V dibandingkan tegangan input)

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, Hikmah. 2017. *Konsep Segitiga Daya*. Diambil dari <http://www.alfianelectro.com/konsep-segitiga-daya/> (9 Juli 2017)
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2011. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*. Jakarta : Yayasan PUIL
- DR. A. Arismunandar. 1979. *Teknik Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta : PT Pradnya Paramita
- Hutauruk. T.S, Ir. 1985. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga
- Irnien. 2016. *Pengukuran dan Kesalahan*. Diambil dari : <http://irnie.files.wordpress.com/2016/09/pengukuran-dan-kesalahan> (22Juli 2017)
- Lorenzo, De.2017. *Overhead Line Model DL GTU102*.Italy: Rozzano
- Sofian Yahya. 2015. *Rancang Bangun Protipe Perangkat Pengukuran dan Monitoring Besaran Listrik Menggunakan PLC Berbasis LabVIEW*.