

## Rancang Bangun Modul Pengukuran Tidak Langsung Pada KWh Meter Analog Dan Digital Terhadap Kesalahan Pengawatan

Lorisa Hapita Rahman<sup>1</sup>, Supriyanto<sup>2</sup>, Yudi Prana Hikmat<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail: lorisa.hapita.tlis21@polban.ac.id

<sup>2</sup>Email: supriyanto\_suhono@polban.ac.id

<sup>3</sup>Email: yudipranahikmat@yahoo.com

### ABSTRAK

Sistem kWh meter adalah salah satu kemajuan teknologi dalam sektor tenaga listrik. Perusahaan Listrik Negara (PLN) melakukan penggantian penggunaan dari kWh meter analog menjadi kWh meter digital seiring perkembangan zaman, karena kWh meter digital menawarkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan kWh meter analog. Dengan adanya perkembangan kWh meter tersebut dapat menimbulkan potensi kesalahan dalam pengawatan. Kesalahan pengawatan dapat disebabkan oleh kesalahan polaritas karena CT (Current Transformer) dan urutan fasa tegangan. Kesalahan dalam pengawatan akan menyebabkan pengukuran energi menjadi tidak akurat antara yang dikonsumsi dengan yang terukur pada kWh meter. Dalam penelitian ini, dibuat modul pengujian pengaruh kesalahan pengawatan terhadap pengukuran energi pada kWh meter analog dan kWh meter digital. Pengujian ini dapat menghasilkan hasil uji coba pada kWh meter analog, besar daya dan polaritas positif serta negatifnya ditampilkan pada arah putaran dan besar kecepatannya, perhitungan daya berdasarkan putaran piringan kWh meter analog dapat verifikasi menggunakan power meter, kWh meter digital dapat digunakan untuk membaca daya secara langsung.

### Kata Kunci

*Pengukuran Tidak Langsung, kWh Meter Analog - Digital, Kesalahan Pengawatan*

### ABSTRACT

*The kWh meter system is one of the technological advances in the electric power sector. The State Electricity Company (PLN) replaced the use of analog kWh meters to digital kWh meters along with the times, because digital kWh meters offer a higher level of accuracy than analog kWh meters. With the development of the kWh meter, it can cause potential errors in the wiring. Wiring errors can be caused by polarity errors due to CT (Current Transformer) and voltage phase sequence. Errors in wiring will cause energy measurements to be inaccurate between what is consumed and what is measured on the kWh meter. In this study, a module was made to test the effect of wiring errors on energy measurements on analog kWh meters and digital kWh meters. This test can produce test results on analog kWh meters, the amount of power and positive and negative polarity is displayed in the direction of rotation and the amount of speed, the calculation of power based on the rotation of the analog kWh meter disk can be verified using a power meter, digital kWh meters can be used to read power directly.*

### Keywords

*Indirect Measurement, Analog - Digital kWh Meter, Wiring Error*

## 1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman Perusahaan Listrik Negara (PLN) melakukan penggantian penggunaan kWh meter dari analog menjadi [1]. Dengan adanya perkembangan kWh meter dapat menimbulkan potensi kesalahan dalam pengawatan. Kesalahan pengawatan dapat disebabkan oleh kesalahan polaritas karena CT (Current Transformer) dan urutan fasa tegangan [2]. Kesalahan dalam pengawatan akan menyebabkan pengukuran energi menjadi tidak akurat antara yang dipakai dengan yang terukur pada kWh meter, sehingga menyebabkan kerugian pendapatan kWh yang dijual oleh penyedia energi listrik (PLN) [3].

Berdasarkan hal tersebut, kinerja kWh meter sangat bergantung pada pengawatan instalasi yang dapat mengakibatkan pengukuran menjadi tidak akurat. Dengan demikian, penelitian ini dibuat dengan latar belakang keingintahuan penulis mengenai pengaruh kesalahan pengawatan terhadap pengukuran energi pada kWh meter analog dan kWh meter digital.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Alat Pengukur dan Pembatas (APP)

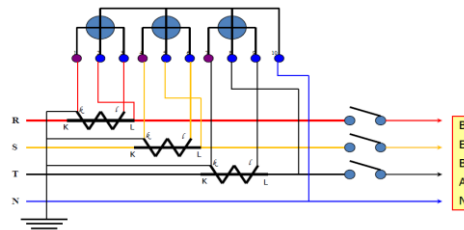
Berdasarkan SPLN No. 50, alat pengukur, pembatas dan perlengkapan yang terpasang dalam kotak yang jenis dan ukurannya telah ditetapkan disebut dengan alat pengukur dan pembatas (APP)

Pengukuran ini bertujuan untuk mengukur jumlah daya dan energi listrik yang digunakan.

Pembatasan mengacu pada proses penetapan jumlah daya maksimum yang dapat dikonsumsi berdasarkan kontrak daya listrik [4].

### 2.2 Sistem Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung

Pada Pengukuran tidak langsung, kWh Meter dihubungkan ke alat pengukur tambahan seperti Trafo Arus (CT) atau Trafo Potensial (PT) sebelum dihubungkan ke suplai tegangan. Dalam pemasangan intalasinya, kWh meter dipasang ke jaringan listrik melalui trafo arus dan beban yang dipasang oleh pelanggan [5].



Gambar 1. Sistem Pengukuran Tidak Langsung (Sumber: PLN, Pengawatan Meter Energi)

### 2.3 Daya Aktif

Daya Sebenarnya yang dikonsumsi sistem listrik, yaitu energi listrik diubah menjadi bentuk energi lain disebut dengan daya aktif. daya semu dikalikan faktor daya (Cosphi) akan menghasilkan daya aktif. Watt (W) adalah satuan pengukuran untuk daya aktif [6].

$$P_{1 \text{ fasa}} = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

$$P_{3 \text{ fasa}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

$\varphi$  = Sudut antara daya semu dengan daya nyata ( $^{\circ}$ )

### 2.4 kWh Meter

KWh meter merupakan alat untuk mengukur konsumsi energi listrik, kWh meter juga digunakan sebagai alat untuk transaksi energi listrik. Hasil kali antara tegangan, arus, faktor daya, dan waktu ( $V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t$ ) secara langsung diukur dengan menggunakan kWh meter. KWh meter digunakan untuk menentukan jumlah energi aktif yang dikonsumsi dalam satuan kWh (kilo Watt hour), dengan 1 kWh sama dengan  $3,6 \cdot 10^6$  [7][8].

Ada dua kategori untuk kWh meter berdasarkan jenisnya, yaitu kWh Meter Analog dan Digital.

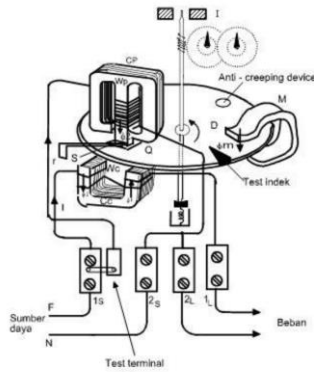
### 2.5 KWh Meter Analog

Konsep induksi medan magnet merupakan cara kerja kWh meter analog, sehingga menyebabkan piringan aluminium bergerak. Counter digit akan bergerak pada piringan untuk menunjukkan berapa banyak daya yang digunakan oleh pengguna.

#### 2.5.1 Bagian-Bagian KWh Meter Analog

Pada gambar 2, menunjukkan komponen dari kWh meter analog. Komponen kWh meter

analog terdiri dari Kotak Meter, Kumputan Arus, Kumputan Tegangan, Piringan, Rem Magnet, Alat Pencatat (Register), Terminal Blok, dan Data KWh Meter.



Gambar 2. Bagian-Bagian KWh Meter Analog (Sumber: PLN, Teori Dasar kWh)

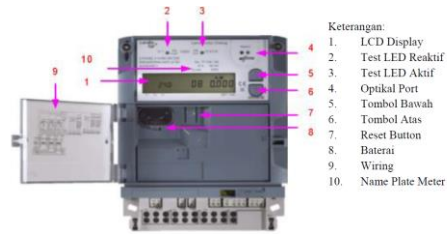
### 2.5.2 Kelemahan dan Keunggulan KWh Meter Analog

Keakuratan kWh meter analog tidak sempurna, kWh meter analog kurang akurat dibandingkan kWh meter digital. Memiliki fitur, komponen lebih sederhana, dan hanya dapat memonitor jumlah daya aktif yang digunakan. Karena terbuat dari komponen sederhana, kWh meter analog memiliki keunggulan terkait harga yang relatif murah.

## 2.6 KWh Meter Digital

Perangkat lunak pada mikroprosesor di dalam kWh meter digital berfungsi sebagai dasar pembuatan kWh meter digital. KWh meter pascabayar digital konstantanya diwakili oleh kedipan, dan tampilannya masih berbentuk register. Keseluruhan operasi kWh meter digital akan menghasilkan energi listrik yang digunakan, dengan informasi pulsa kWh yang tersisa ditampilkan pada layar. KWh meter digital menampilkan data sebagai LCD dan konstanta sebagai kedipan, hal ini menjadi pembeda dari kWh meter analog [7].

### 2.6.1 Fitur-Fitur KWh Meter Digital



Gambar 3. Bagian Luar KWh Meter Digital (Sumber: PLN, Teori Dasar kWh)

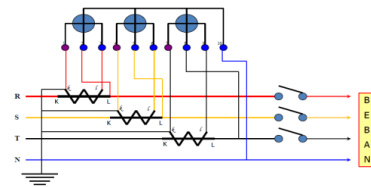
### 2.6.3 Kelemahan dan Keunggulan KWh Meter Digital

Salah satu kelemahan kWh meter digital adalah rentan terhadap gangguan jaringan, karena dapat memengaruhi pengukuran akurat konsumsi listrik. kWh meter digital memiliki beberapa keunggulan, termasuk:

- Dapat mengontrol penggunaan energi listrik karena pembelian listrik dimulai di awal, yang dapat membatasi pemakaian.
- Memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena menggunakan sistem elektronik.
- Dapat mengukur daya reaktif pada sistem.
- Dapat mengurangi kesalahan penagihan biaya listrik karena kesalahan manusia.

## 2.7 Pengawatan Pada KWh Meter

Pengawatan pada kWh meter adalah pengawatan yang menghubungkan kumputan arus dan tegangan setiap fasa [9].



Gambar 4. Pengawatan Pengukuran Tidak Langsung (Sumber: PLN, Pengawatan Meter Energi)

Persamaan dari daya total yang terukur, adalah:

$$P_{\text{total}} = P_R + P_S + P_T \quad (4)$$

Dimana,

$$P_R = V_R \times I_R \times \cos\phi(V_R - I_R) \quad (5)$$

$$P_S = V_S \times I_S \times \cos\phi(V_S - I_S) \quad (6)$$

$$P_T = V_T \times I_T \times \cos\phi(V_T - I_T) \quad (7)$$

Keterangan:

$P_{total}$  = Daya aktif total (Watt)

$P_r$  = Daya aktif pada fasa R (Watt)

$P_s$  = Daya Aktif pada fasa S (Watt)

$P_t$  = Daya Aktif pada fasa T (Watt)

$V_r$  = Tegangan pada fasa R (Volt)

$V_s$  = Tegangan pada fasa S (Volt)

$V_t$  = Tegangan pada fasa T (Volt)

$I_r$  = Arus pada fasa R (Ampere)

$I_s$  = Arus pada fasa S (Ampere)

$I_t$  = Arus pada fasa T (Ampere)

$\phi(V_r-I_r)$  = Beda sudut antara tegangan dan arus pada fasa R ( $^\circ$ )

$\phi(V_s-I_s)$  = Beda sudut antara tegangan dan arus pada fasa S ( $^\circ$ )

$\phi(V_t-I_t)$  = Beda sudut antara tegangan dan arus pada fasa T ( $^\circ$ )

### 2.8 Perhitungan Daya Terukur Pada KWh Meter

Kilo Watt Hour Meter atau kWh Meter, mengukur k ribu watt dalam satu jam. Setiap papan nama memiliki angka konstan yang tertulis di atasnya, seperti k putaran per kWh, yang mengindikasikan bahwa dibutuhkan k putaran piringan per jam untuk menghasilkan 1 kWh. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung daya listrik yang terukur pada kWh meter:

$$P = \frac{3600 \times n}{C \times t} \times 1000 \quad (8)$$

Keterangan:

$P$  = Daya Listrik (Watt)

3600 = Konversi jam ke detik

$N$  = Putaran piring (Put/detik)

$C$  = Konstanta Meter (put/kWh)

$t$  = waktu putaran (s)

### 2.9 Trafo Arus / Current Transformer (CT)

Untuk meningkatkan batas pengukuran atau memberikan keamanan dalam pengukuran tidak langsung, CT digunakan untuk mengubah arus besar menjadi arus kecil. Jaringan atau peralatan akan dimonitor dihubungkan secara seri dengan

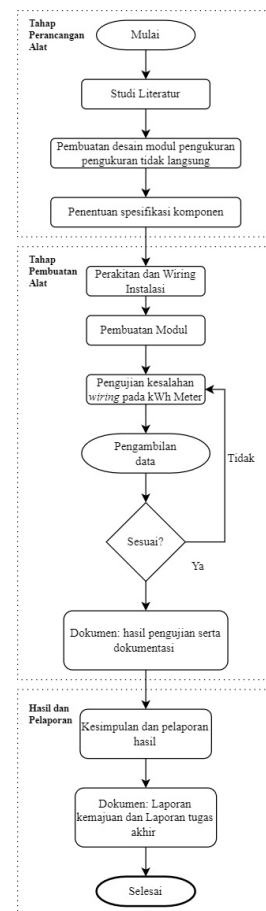
kumparan primer trafo arus, dan relai proteksi atau pengukur dihubungkan ke kumparan sekunder [10].

#### 2.9.1 Rasio Trafo Arus

Rasio CT merupakan persyaratan mendasar untuk CT, digunakan untuk menentukan bagaimana menunjukkan nilai arus di lapangan. Dengan mengasumsikan sebuah konduktor dengan rasio arus terhadap tegangan 2000/5A, jika nilai terukur pada sekunder CT adalah 2.5A, arus aktual yang mengalir melalui konduktor tersebut adalah 1000A.

### 3. METODOLOGI PELAKSANAAN

Diagram alir digunakan untuk menjelaskan proses atau urutan pada pelaksanaan penelitian.



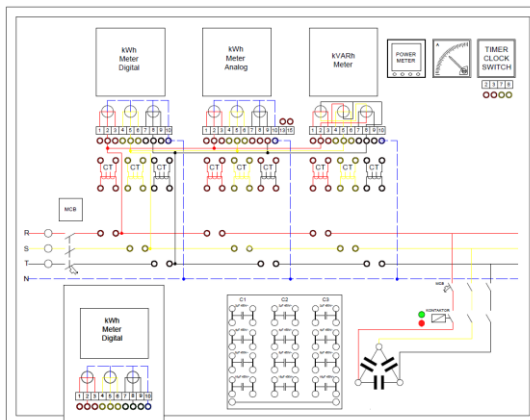
Gambar 5. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Metodologi pelaksanaan dimulai dengan melakukan proses studi literatur. Selanjutnya, pada tahap perancangan alat dimulai dengan menentukan keseluruhan spesifikasi komponen,

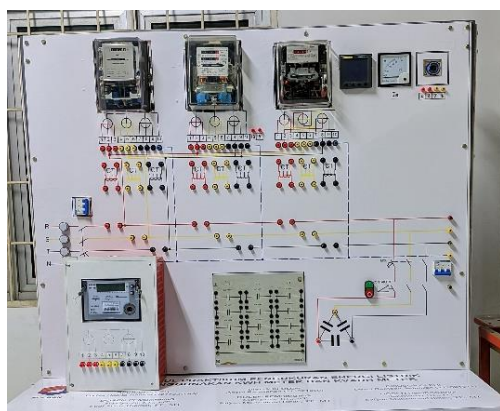
pembuatan desain layout modul pengukuran tidak langsung, lalu dilakukan perancangan rangkaian untuk pengujian kesalahan pengawatan pada pengukuran tidak langsung dengan menggambar variasi pengawatan serta kondisi phasor yang akan dihasilkan dan melakukan perhitungan idealnya sesuai dengan rumus dan Langkah terakhir adalah menyusun *Bill of Quantity* sesuai kebutuhan.

Setelah selesai merancang alat, langkah berikutnya adalah melaksanakan pembuatan alat. Proses pembuatan alat yaitu menyiapkan Alat dan bahan serta merakit Alat yaitu modul praktikum pengukuran tidak langsung pada kwh meter analog dan digital terhadap kesalahan pengawatan listrik dilakukan sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pengujian apakah hasilnya sudah sesuai dengan perhitungan rancangan yang telah dilakukan apabila sudah sesuai maka dilakukan pembuatan analisis hasil dan terakhir yaitu dilakukan pengambilan kesimpulan.



Gambar 6. Rancangan Modul



Gambar 7. Realisasi Modul

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Spesifikasi Alat Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung

Berdasarkan tahapan yang sudah dilakukan sesuai dengan metodologi, maka spesifikasi alat secara keseluruhan dapat diketahui sebagai berikut:

1. Sumber tegangan 3 fasa yaitu 220/380 Volt
2. Beban yang digunakan adalah 9 buah lampu pijar dengan daya total 900 watt
3. Frekuensi 50 Hz
4. Trafo arus dililit sebanyak 6 kali sehingga rasionya menjadi 1:1
5. KWh Meter Analog merk GAE, type Three-Phase 4-Wire WH3-252, Vn 3x220/380V, In 5A, F 50Hz, Putaran 200rev/kWh, Class 1
6. KWh Meter Digital Merk EDM1, Type Mk10E 3P3W/3P4W, Vn 3x57,7/100V-3x230/400V, In 5(10)A, F 50Hz, Class 0,5S
7. Power Meter Square D type Power Logic PM800

### 4.2 Langkah Pengujian

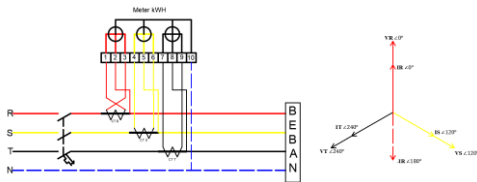
#### 4.2.1 Pengujian Pada KWh Meter Analog

1. Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Rangkai modul pengawatan sesuai dengan rangkaian yang akan diuji
3. Setelah alat dirangkai, cek kembali rangkaian
4. Sambungkan dengan sumber 3 fasa tegangan 380 V
5. Sambungkan beban lampu pijar menggunakan kabel jumper
6. Nyalakan sumber dan pastikan kWh meter analog, power meter dan ampere meter membaca nilai yang terukur
7. Lihat piringan pada kWh meter analog ketika tanda hitam berada pada bagian tengah alat ukur. Hitung jumlah piringan menggunakan stopwatch secara bersamaan.
8. Catat pengukuran dari power meter pada tabel 1 dan lakukan perhitungan untuk mencari nilai daya aktif (Watt) dengan rumus
9. Lakukan perhitungan daya masing-masing fasa dan daya total pada tabel 2

- Lakukan pengukuran dengan melakukan beberapa variasi kesalahan pengawatan arus dengan menukar salah satu polaritas CT. Variasi kesalahan pengawatan arus dapat dilihat pada gambar 8 sampai dengan gambar 10.

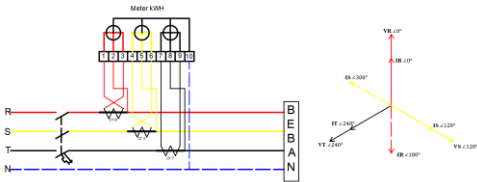
#### Pengawatan Salah (Polaritas CT Sekunder dibalik)

- Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dibalik



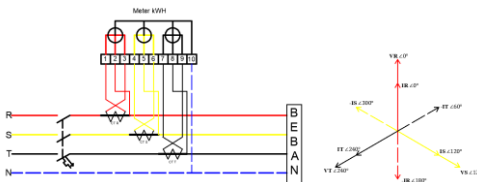
Gambar 8. Pengawatan Polaritas CT R dibalik dan Kondisi Fasor  
(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

- Pengawatan Polaritas CT R dan S dibalik



Gambar 9. Pengawatan Polaritas CT R dan S dibalik dan Kondisi Fasor  
(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

- Pengawatan Polaritas CT R, S dan T dibalik



Gambar 10. Pengawatan Polaritas CT R, S dan T dibalik dan Kondisi Fasor  
(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

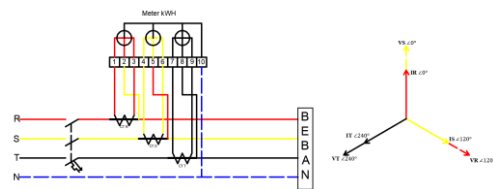
#### 4.2.2 Pengukuran pada kWh meter digital

- Lakukan pengukuran dengan mengikuti Langkah pengujian pada kWh meter analog dari 1 sampai 5
- Nyalakan sumber dan pastikan kWh meter digital membaca nilai yang terukur

- Tekan select pada kWh meter digital sampai muncul tulisan setB
- Catat pengukuran pada masing-masing fasa dan catat pada tabel 3
- Lakukan perhitungan daya total yang dihasilkan dari percobaan
- Lakukan pengukuran dengan melakukan beberapa variasi kesalahan pengawatan arus dan kesalahan pengawatan tegangan. Variasi kesalahan pengawatan tegangan dapat dilihat pada gambar 11 sampai dengan gambar 14.

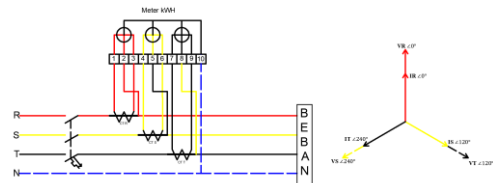
#### Pengawatan Salah (Fasa Tegangan dibalik)

- Pengawatan Fasa Tegangan R dan S ditukar (VS - IR, VR -IS, VT - IT)



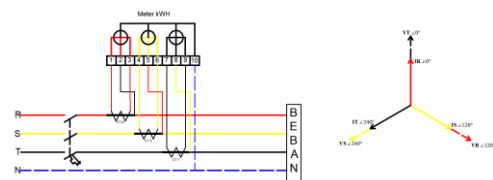
Gambar 11. Pengawatan Fasa Tegangan R dan S ditukar dan Kondisi Fasor  
(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

- Pengawatan Fasa Tegangan S dan T ditukar (VR - IR, VT -IS, VS - IT)



Gambar 12. Pengawatan Fasa Tegangan S dan T ditukar dan Kondisi Fasor  
(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

- Pengawatan Fasa Tegangan R, S dan T ditukar (VT - IR, VR -IS, VS - IT)

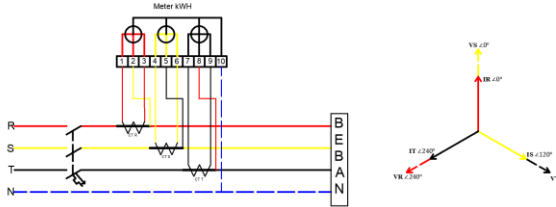


Gambar 13. Pengawatan Fasa Tegangan R, S dan T ditukar dan Kondisi Fasor



(Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

#### 4. Pengawatan Fasa Tegangan R, S dan T ditukar (VS - IR, VT -IS, VR – IT)



Gambar 14. Pengawatan Fasa Tegangan R, S dan T ditukar dan Kondisi Phasor (Sumber: Digambar ulang oleh penulis dari (PLN, Pengawatan Meter Energi))

### 4.3 Hasil Pengujian

#### 4.3.1 Pengujian Pada KWh Meter Analog

Sesuai dengan tabel 1 dan mengacu pada persamaan 8 cara menghitung Daya Aktif (Watt) menggunakan putaran piringan pada kWh meter analog. Contoh perhitungan pada pengukuran daya menggunakan kWh meter Analog dalam kondisi pengawatan normal

$$P = \frac{3600 \times n}{C \times t} \times 1000$$

$$P = \frac{3600 \times 5}{200 \times 131} \times 1000$$

$$P = 687,02 \text{ Watt}$$

Pada pengukuran pengawatan normal daya yang terbaca sesuai dengan hasil perhitungan pengukuran 1 putaran = 26 detik adalah 687,02 Watt. Perhitungan selanjutnya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Daya menggunakan kWh meter analog pada studi kesalahan pengawatan

No	Pengukuran	Putaran (n)	t (s)	Arah Putaran	C (kWh/putaran)	P (Watt)	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)		
							Vr	Vs	Vt	Ir	Is	It
Pengawatan												
1	Pengawatan Normal VR - IR, VS - IS, VT - IT	5	131	Kanan	200	687,02	224	228	226	1,02	0,98	0,76
Pengawatan Salah (Polaritas CT Sekunder dibalik)												
2	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dibalik	5	402	Kanan	200	223,88	224	228	226	1	0,96	0,68
3	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dan S dibalik	5	329	Kiri	200	273,56	224	228	226	1	0,97	0,85
4	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R, S dan T dibalik	5	140	Kiri	200	642,86	224	229	226	0,99	1	0,81

#### 4.3.2 Daya Masing – Masing Fasa

Berdasarkan data dari tabel 1 dihitung menggunakan persamaan 4 sampai 7, contoh pada pengawatan normal (VR - IR, VS -IS, VT – IT) nilai dari daya total adalah

$$P_r = V_r \times I_r \times \cos\phi(V_r - I_r)$$

$$= 224 \times 1,08 \times \cos\phi(0^\circ - 0^\circ)$$

$$= 224 \times 1,08 \times 1$$

$$= 228,5 \text{ Watt}$$

$$P_s = V_s \times I_s \times \cos\phi(V_s - I_s)$$

$$= 228 \times 0,98 \times \cos\phi(120^\circ - 120^\circ)$$

$$= 223 \text{ Watt}$$

$$P_t = V_t \times I_t \times \cos\phi(V_t - I_t)$$

$$= 226 \times 0,76 \times \cos\phi(240^\circ - 240^\circ)$$

$$= 172 \text{ Watt}$$

$$P_{total} = P_r + P_s + P_t$$

$$= 228 + 223 + 172$$

$$= 624 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan daya total menggunakan power meter pada pengawatan normal adalah 624 Watt. Untuk hasil perhitungan lainnya ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Perhitungan Daya Berdasarkan Power Meter

No	Pengukuran	P (Watt)				P (kW)
		Pr	Ps	Pt	Ptotal	
Pengawatan Normal						
1	Pengawatan Normal VR - IR, VS -IS, VT - IT	228,48	223,4	171,8	623,7	0,624
Pengawatan Salah (Polaritas CT Sekunder dibalik)						
2	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dibalik	-224	218,9	153,7	148,6	0,149
3	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dan S dibalik	-224	221,2	192,1	-253	-0,253
4	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R, S dan T dibalik	-221,8	-229	-183	-634	-0,634

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 pengujian menggunakan kWh meter analog dan Power Meter didapatkan bahwa:

- 1) Daya 3 fasa adalah penjumlahan dari Pr+Ps+Pt.
- 2) Kesalahan fasa terbalik pada salah satu fasa mengakibatkan menjadi daya pengurang (negatif).
- 3) Putaran piringan Ketika pengawatan satu arus terminal CT terbalik akan berputar ke arah kanan dengan kecepatan melambat.
- 4) Putaran piringan Ketika dua pengawatan arus terminal CT terbalik akan berputar ke arah kiri.
- 5) Putaran piringan Ketika tiga pengawatan arus terminal CT terbalik akan berputar ke arah kiri dengan kecepatan yang sama.

### 4.3.3 Pengujian Pada KWh Meter Digital

Berdasarkan tabel 3 pengukuran pada kWh meter digital, perhitungan pada pengawatan terbalik antara Fasa tegangan R dan S

$$\begin{aligned} P_r &= V_r \times I_r \times \cos\phi(V_r - I_r) \\ &= 229 \times 0,99 \times \cos\phi(120^\circ - 0^\circ) \\ &= -0,149 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= V_s \times I_s \times \cos\phi(V_s - I_s) \\ &= 224 \times 0,98 \times \cos\phi(0^\circ - 120^\circ) \\ &= -0,075 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_t &= V_t \times I_t \times \cos\phi(V_t - I_t) \\ &= 227 \times 0,65 \times \cos\phi(240^\circ - 240^\circ) \\ &= -0,156 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_r + P_s + P_t \\ &= -0,149 - 0,075 + 0,156 \\ &= -0,068 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

Pada pengawatan Fasa Tegangan R dan S ditukar (VS - IR, VR -IS, VT - IT) daya total yang terbaca adalah -0,68 kWatt. Untuk hasil perhitungan lainnya ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2. Pengujian Pada KWh Meter Digital

No	Pengukuran	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			P (kWatt)				Ptotal (Watt)
		Vr	Vs	Vt	Ir	Is	It	Pr	Ps	Pt	Ptotal	
	Pengawatan Normal											
1	Pengawatan Normal VR - IR, VS -IS, VT - IT	224	228	226	1,02	0,98	0,76	0,217	0,202	0,185	0,604	604
	Pengawatan Salah (Polaritas CT Sekunder dibalik)											
2	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dibalik	224	228	226	1	0,96	0,68	-0,22	0,219	0,16	0,159	159
3	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R dan S dibalik	224	228	226	1	0,97	0,85	-0,22	-0,22	0,189	-0,25	-251
4	Pengawatan Polaritas CT Sekunder R, S dan T dibalik	224	229	226	0,99	1	0,81	-0,22	-0,22	-0,168	-0,61	-606
	Pengawatan Salah (Fasa Tegangan ditukar)											
5	Pengawatan Fasa Tegangan R dan S	229	224	227	0,99	0,98	0,65	-0,15	-0,075	0,156	-0,07	-68
6	Pengawatan Fasa Tegangan S dan T	225	227	229	1,02	1	0,78	0,228	-0,149	-0,052	0,027	27
7	Pengawatan Fasa Tegangan R, S dan T	227	225	229	0,99	0,98	0,66	-0,07	-0,076	-0,027	-0,17	-174
8	Tegangan R, S dan T ditukar (VS - IR, VT -	230	228	225	1,01	0,99	0,8	-0,15	-0,148	-0,113	-0,41	-414

Berdasarkan tabel 3 pengujian menggunakan kWh meter digital diketahui bahwa:

- 1) Daya 3 fasa adalah penjumlahan dari Pr + Ps + Pt. Kesalahan fasa terbalik pada salah satu fasa mengakibatkan menjadi daya pengurang (negatif).
- 2) Ketika pengawatan satu arus terminal CT terbalik maka daya yang terbaca menjadi negatif dan daya totalnya 1/3x dari nilai daya total pengawatan normal.
- 3) Ketika pengawatan dua arus terminal CT terbalik maka daya yang terbaca menjadi negatif dan daya totalnya -1/3x dari nilai daya total pengawatan normal.

- 4) Ketika pengawatan tiga arus terminal CT terbalik maka daya yang terbaca menjadi negatif dan daya totalnya -3x dari nilai daya total pengawatan normal.
- 5) Ketika pengawatan 2 fasa tegangan tertukar maka daya yang terbaca adalah dan daya totalnya 0x dari nilai daya total pengawatan normal.
- 6) Ketika pengawatan 3 fasa tegangan tertukar maka daya yang terbaca adalah dan daya totalnya -1,5x dari nilai daya total pengawatan normal.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Telah dibangun modul praktikum pengukuran tidak langsung energi listrik menggunakan kWh meter Analog dan digital untuk percobaan kesalahan pengawatan tegangan dan arus.
2. Nilai pengukuran tidak langsung dengan variasi kesalahan pengawatan dapat diverifikasi melalui:
  - a) Pada kWh meter analog, besar daya dan polaritas positif serta negatifnya ditampilkan pada arah putaran dan besar kecepatannya.
  - b) Perhitungan daya berdasarkan putaran piringan kWh meter analog dapat verifikasi menggunakan power meter.
  - c) KWh mampu meter digital dapat digunakan untuk membaca daya secara langsung.
3. Hasil pengukuran daya akibat variasi kesalahan pengawatan:
  - a) Percobaan kesalahan pengawatan pada kWh meter analog dapat menampilkan verifikasi yaitu kesalahan pengawatan terbalik pada 1 buah polaritas CT, 2 buah polaritas CT dan 3 buah polaritas CT.
  - b) Percobaan kesalahan pengawatan pada kWh meter digital dapat menampilkan verifikasi yaitu kesalahan pengawatan terbalik pada 1 buah polaritas CT, 2 buah polaritas CT, 3 buah polaritas CT dan kesalahan urutan fasa tegangan.

### 5.2 Saran

1. Studi lanjutan mengenai modul pengukuran tidak langsung dengan studi kesalahan pengawatan dapat ditingkatkan melalui pengontrolan berbasis IOT.



## UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan pendanaan biaya penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. . Saragih, “ANALISIS PERBANDINGAN KWH METER ANALOG DENGAN KWH METER DIGITAL 3 PHASA DITINJAU DARI SEGI ERROR KWH METER,” 2020.
- [2] P. P. (PERSERO), “DIAGRAM PENGAWATAN,” *Pus. Pendidik. dan Pelatih.*, pp. 45–53.
- [3] B. Rudianta and A. Syakur, “PENGARUH PENGAWATAN TERBALIK KABEL SEKUNDER CT (CURRENT TRANSFORMER) METER ENERGI 3 PHASA,” *J. Tek. Elektro, Univ. Diponegoro*, vol. 19, no. 3, pp. 334–339, 2023.
- [4] PT.PLN (Persero), “APP Pengukuran Langsung Fase Tiga untuk Pelanggan 3,9 kVA s/d 41,5 kVA,” 2011.
- [5] P. P. (PERSERO), “APP TR Pengukuran Tidak Langsung Fase Tiga Untuk Pelanggan 53 kVA s/d 197 kVA,” *SPLN D3.015-2 2012*, no. 483, 2012.
- [6] N. Setiaji, “Analisis Konsumsi Daya dan Distribusi Tenaga Listrik,” *J. Univ. Suryadarma*, no. 1, 2022.
- [7] P. P. (PERSERO), “Pengenalan APP,” *Pus. Pendidik. dan Pelatih.*
- [8] D. Asmono, S. Pengajar, J. Teknik, E. Politeknik, and N. Bandung, “Dampak Kesalahan Pengawatan Pada Pengukuran Energi Listrik Tidak Langsung,” *J. TEDC*, vol. 8, no. 1, pp. 7–13, 2019.
- [9] G. Pramudyo Angga Irawan, S. Nisworo, and D. Pravitasari, “Studi Variasi Wiring KWh Meter Elektronik Tiga Fasa.”
- [10] A. W. Hasanah, T. Koerniawan, and Y. Yuliansyah, “Kajian Ketelitian Current Transformer (CT) Terhadap Kesalahan Rasio Arus pada Pelanggan 197 kVA,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 9–16, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i1.390.