

Analysis of Gross Power Using Digital and Analog kWh Meters

Analisis *Gross Power* Kwh Meter Digital Dan Analog

Yosua Mongdong, Glanny Mangindaan, Sartje Silimang

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : yosua.mongdong@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, sartje.silimang@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract — This research is based on the analysis of the accuracy of digital and analog kWh meters at Unit 3 of the Tanggari 2 Hydroelectric Power Plant (PLTA) in measuring gross power. Gross power measurement is crucial in the operation of hydroelectric power plants as it impacts system efficiency and energy management. In this study, a comparison was conducted between digital and analog kWh meters using direct measurement methods and percentage error analysis. The results show that digital kWh meters are more accurate than analog meters, with an average error percentage of 0.23% for off-peak loads and 0.11% - 0.16% during peak loads. The accumulated average error during off-peak and peak loads is 0.203%, which is still within the acceptable tolerance limits according to SNI and IEC 62053 standards. On the other hand, analog kWh meters showed errors ranging from 4.82% to 4.98% for off-peak loads and 4.2% to 4.34% during peak loads, with an average accumulated error of 4.34%, exceeding the tolerance limits set by SNI and IEC 62053 standards. The factors contributing to errors in digital kWh meters are generally due to impact or extreme weather; however, the digital meter used in this study was not affected by such factors. Meanwhile, the errors in analog kWh meters were influenced by factors such as voltage and current significantly below nominal operating levels, mechanical wear on internal components like gears and discs, or the overall age of the meter. The analog kWh meter used in this study was affected by these factors. Based on these results, the use of digital kWh meters is recommended over analog meters in PLTA operations to ensure greater accuracy in electric power measurement.

Keywords: Analog kWh meter; Digital kWh meter; Measurement accuracy; Percentage error.

Abstrak — Penelitian ini berlatar belakan untuk menganalisis akurasi kWh meter digital dan analog di Unit 3 PLTA Tanggari 2 dalam pengukuran daya bruto. Pengukuran daya bruto sangat penting dalam operasi PLTA karena berdampak pada efisiensi sistem dan manajemen energi listrik. Dalam studi ini, perbandingan dilakukan antara kWh meter digital dan analog dengan metode pengukuran langsung dan analisis persentase kesalahan. Hasil menunjukkan bahwa meteran kWh digital lebih akurat dari pada meteran kWh analog dengan rata-rata persentase kesalahan sebesar 0,23% untuk beban di luar puncak dan 0,11% - 0,16% selama beban puncak, akumulasi rata-rata *error*nya saat beban luar puncak dan beban puncak sebesar 0,203% yang masih dalam batas toleransi yang dapat diterima sesuai standar SNI dan IEC 62053. Di sisi lain, meteran kWh analog menunjukkan kesalahan 4,82%-4,98% untuk beban di luar puncak dan 4,2%-4,34% selama beban puncak, akumulasi

rata-rata *error*nya saat beban luar puncak dan beban puncak sebesar 4,34%, yang melebihi batas toleransi standar yang dipakai SNI dan IEC 62053. Faktor penyebab terjadinya *error* untuk kWh digital di karena kan benturan maupun cuaca ekstrim tetapi kWh digital yang dipakai dalam penelitian kali ini tidak terkena faktor tersebut, selanjutnya faktor penyebab terjadinya *error* untuk kWh analog adalah seperti tegangan dan arus yang jauh di bawah nominal operasi atau bisa dikatakan rendah, tingkat keausan mekanis pada komponen internal seperti roda gigi dan piringan atau berbicara soal umur dari kWh meter tersebut dan kWh yang dipakai dalam penelitian kali ini memenuhi faktor tersebut. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan meteran kWh digital disarankan dibandingkan dengan kWh analognya dalam operasi PLTA untuk memastikan akurasi yang lebih besar dalam pengukuran daya listrik.

Kata kunci: Akurasi pengukuran; kWh meter digital; kWh meter analog; Persentase error.

I. PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, dengan proyeksi pertumbuhan mencapai 5,9% tiap tahun hingga tahun 2030 dan proyeksi pertumbuhan energi dunia sebesar 45% hingga 20230[1],[2]. Kondisi ini menuntut optimalisasi pada seluruh sistem pembangkitan, termasuk pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang merupakan salah satu sumber energi terbarukan utama di Indonesia. Salah satu aspek penting dalam menjaga efisiensi dan keandalan operasional PLTA adalah akurasi dalam pengukuran daya listrik, khususnya daya bruto yang dihasilkan langsung oleh turbin dan generator sebelum dikonsumsi oleh sistem internal atau dikompensasi oleh kerugian.

Dalam praktiknya, pengukuran daya bruto di PLTA umumnya menggunakan dua jenis kWh meter, yaitu analog dan digital. KWh meter digital memiliki keunggulan dalam hal akurasi, kestabilan, serta kemampuan mencatat data secara real-time dan kontinu. Sementara itu, kWh meter analog, meskipun masih banyak digunakan karena kesederhanaannya, memiliki keterbatasan dari sisi presisi dan lebih rentan terhadap kesalahan pengukuran akibat pengaruh lingkungan serta usia perangkat[3]. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan meter digital dapat menurunkan tingkat error dalam pengukuran energi, namun angka spesifik seperti klaim

penurunan hingga 5% masih membutuhkan pembuktian lebih lanjut melalui studi empiris [4].

Sayangnya, kajian komparatif yang secara spesifik membandingkan performa kWh meter analog dan digital dalam konteks pengukuran daya bruto di PLTA masih sangat terbatas. Kebanyakan penelitian lebih fokus pada pengembangan teknologi baru atau aspek efisiensi sistem secara umum, tanpa menelaah secara langsung keakuratan dari dua jenis alat ukur ini di lingkungan operasional nyata.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis dan membandingkan performa kWh meter digital dan analog pada Unit 3 PLTA Tanggari 2. Fokus utama penelitian adalah pada evaluasi tingkat error, identifikasi faktor penyebab ketidakakuratan, serta dampak pengukuran terhadap efisiensi dan pengambilan keputusan operasional. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu memberikan rekomendasi praktis dalam pemilihan jenis alat ukur yang paling tepat digunakan di PLTA, serta menjadi kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem monitoring energi di Indonesia.

A. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan memanfaatkan energi air untuk menghasilkan listrik. Sistem ini menggunakan prinsip sederhana, yaitu mengubah energi potensial air menjadi energi listrik melalui berbagai tahapan dan komponen utama yang saling mendukung.

Prosesnya dimulai dengan menyimpan air dari sungai atau waduk di dalam bendungan. Bendungan ini dirancang untuk menciptakan perbedaan ketinggian (head), yang menghasilkan energi potensial karena gravitasi. Air yang disimpan kemudian dialirkan melalui pipa besar yang disebut penstock. Saat air mengalir melalui penstock, energi potensialnya berubah menjadi energi kinetik karena pergerakan air menuju turbin [5]. Energi mekanik dari turbin ini kemudian digunakan untuk memutar generator [6]. Generator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetisme, di mana rotor generator yang diputar oleh turbin menciptakan medan magnet. Medan magnet ini menghasilkan arus listrik pada kumparan stator.

B. kWh Meter Digital

KWh meter digital merupakan meteran listrik yang menggunakan teknologi digital untuk menghitung konsumsi daya dalam kilowatt jam (kWh) dengan presisi tinggi. Perangkat mendeteksi tegangan dan arus yang mengalir melalui rangkaian, menggunakan sensor elektronik untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital, dan memprosesnya untuk menghitung total konsumsi energi [7]. Hasil pengukuran ditampilkan secara real time pada layar digital yang mudah dibaca. Dalam penelitian kali ini menggunakan kWh meter digital dengan tipe PowerLogic ION8650 seperti pada gambar 1.

C. kWh Meter Analog

kWh meter analog merupakan perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik dalam satuan kilowatt-jam (kWh). Prinsip kerjanya melibatkan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan arus dan tegangan, yang memutar cakram aluminium secara

proporsional dengan daya listrik yang dikonsumsi [8]. Dalam penelitian kali ini menggunakan kWh meter analog dengan tipe Landis & Gyr tipe ML246h13-0.3/1.2 seperti pada Gambar 2.

D. Daya Bruto

Daya bruto pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang diukur menggunakan kWh meter mengacu pada jumlah energi listrik total yang dihasilkan oleh generator sebelum dikurangi dengan berbagai kerugian yang terjadi pada sistem pembangkit, seperti kerugian mekanis, listrik, maupun sistem distribusi internal.

Pengukuran daya bruto ini dilakukan langsung pada terminal keluaran generator menggunakan alat ukur energi listrik seperti kWh meter. Alat ini mencatat total energi listrik yang dihasilkan selama periode tertentu, biasanya dalam satuan kilowatt-jam (kWh) [9].

E. Digital

Digital dalam bidang elektro mengacu pada representasi data dalam bentuk bilangan biner, yaitu kombinasi angka 0 dan 1. Data ini digunakan untuk mengukur, mengontrol, dan memproses informasi listrik [10]. Sistem digital beroperasi dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital melalui proses yang disebut sampling dan quantization.

Prinsip Kerja Sistem Digital, Sistem Digital dalam pengukuran energi bekerja dengan cara mengonversi sinyal analog [11], yang bersifat kontinu, menjadi format digital. Misalnya, kWh meter digital menggunakan sensor untuk mendeteksi arus dan tegangan dalam rangkaian listrik.

Sistem digital menawarkan banyak kelebihan, seperti akurasi yang lebih tinggi, kemudahan dalam pembacaan hasil pengukuran melalui tampilan numerik, kemampuan menyimpan dan menganalisis data, serta kemudahan integrasi dengan teknologi modern seperti Internet of Things (IoT) dan smart grid [12].

F. Analog

Analog dalam dunia elektro mengacu pada data yang bersifat kontinu, di mana informasi direpresentasikan melalui variasi nilai tertentu [10]. Dalam sistem analog, informasi ditampilkan melalui perubahan fisik seperti tegangan, arus, atau frekuensi. Sebagai contoh, dalam pengukuran energi listrik, alat ukur analog seperti wattmeter atau kWh meter analog menampilkan konsumsi energi dalam bentuk jarum yang bergerak di atas skala, menunjukkan nilai pengukuran secara langsung.



Gambar 1. kWh Meter Digital



Gambar 2. kWh Meter Analog

Prinsip Kerja Sistem Analog, Sistem analog beroperasi dengan memanfaatkan sinyal listrik yang dapat berubah secara terus-menerus. Dalam pengukuran energi listrik, kWh (kilowatt-jam) adalah satuan yang digunakan untuk mencatat jumlah energi yang dikonsumsi[13].

Sistem analog memiliki kelebihan seperti desainnya yang sederhana dan kemampuan untuk menampilkan data secara langsung dan real-time. Namun, ada pula kelemahannya, yaitu tingkat akurasi yang cenderung lebih rendah serta keterbatasan dalam menyimpan dan memproses data. Selain itu, sistem analog juga lebih mudah terpengaruh oleh noise atau gangguan yang dapat mengurangi ketepatan hasil pengukuran [14].

G.Perhitungan Error

Dalam penelitian ini, fokus utama adalah mengidentifikasi kesalahan (*error*) yang terdapat pada setiap jenis kWh meter dan membandingkan, baik itu kWh meter digital maupun analog. Untuk tahapannya di mulai dari Mencari tahu dengan cara mewawancarai pihak dari PLTA mengenai cara pengukuran tegangan, arus, $\cos \phi$ pada kWh meter yang terpasang baik digital maupun analog, selanjutnya mencari nilai n , yang mana nilai n untuk kWh meter digital adalah jumlah kedipan lampu led pada kWh dan nilai n untuk kWh meter analog adalah jumlah putaran piringan. Nilai n di dapat dengan rentan waktu yang telah di berikan atau di tetapkan sebelum menganalisa.

Setelah mendapat semua nilai yang di perlukan maka dilakukannya untuk perhitungan nilai p atau daya aktif yang di supply dari sumber, dengan perhitungan[15]:

$$P_{aktif} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi = \dots W \text{ (RST)} \quad (1)$$

$$P = P_r + P_s + P_t = \dots W \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan waktu teoritis//waktu yang diperlukan selama “ n ” putaran piringan dengan rumus[15]:

$$Td = \frac{n \times 1000 \times 3600}{P \times k} = \dots s \quad (3)$$

Setelah semua nilai telah di dapat maka langkah terakhir adalah menghitung nilai *error* pada kWh tersebut dengan rumus[15]:

$$Error \text{ kWh Meter 3 fasa} = \frac{Td - t}{t} \times 100 = \dots \% \quad (4)$$

Tabel 1. Batas Kesalahan kWh Meter Digital 3 Phase yang di izinkan

Batas Keasalahan Yang Diizinkan Dalam Persentase	
Kelas	
0,2	$\pm 0,2 \%$
0,5	$\pm 0,5 \%$

Tabel 2. Batas Kesalahan kWh Meter Analog 3 Phase yang di izinkan

Batas Keasalahan Yang Diizinkan Dalam Persentase	
Kelas	
1	$\pm 1 \%$
2	$\pm 2 \%$

H.Batas Kesalahan (Error)

kWh meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik pelanggan. Agar hasil pengukurannya tetap akurat dan dapat dipercaya, setiap kWh meter memiliki batas kesalahan tertentu yang ditetapkan berdasarkan standar dan klasifikasinya.

Di Indonesia, batas kesalahan kWh meter diatur oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar internasional seperti IEC (International Electrotechnical Commission)[4]. Tabel 1 dan Tabel 2 adalah batas kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053 yang dipakai dalam penelitian ini.

I. Jenis Galat(Error)

Dalam praktik ilmiah dan teknik, hasil pengukuran tidak lepas dengan namanya galat (*error*). Galat merupakan perbedaan antara nilai yang diukur (eksperimen) dengan nilai sebenarnya (teoritis atau standard), dalam proses pengukuran galat tidak bisa di hindari dan dapat di klasifikasikan dalam dua bentuk utama[16]:

1. Galat Absolut (mutlak), merupakan selisih antara nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai refrensi, dengan rumus :

$$\text{Galat Absolut (mutlak)} = |x_{ukur} - x_{benar}| \quad (5)$$

2. Galat Relatif, merupakan perbandingan antara galat absolut (mutlak) dengan nilai sebenarnya dan biasanya dinyatakan dalam persen, dengan rumus :

$$\text{Galat Relatif} = \left(\frac{\text{Galat Mutlak}}{x_{benar}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

J. Rujukan studi terkini

Tabel 3. Studi-studi terkini dari jurnal-jurnal internasional

Peneliti	Judul	Penelitian
(Alexandre et al.,2024)	Grid-Forming Variable-Speed Full Converter Pumped-Storage Hydropower	Menyajikan tinjauan teknis dan pengantar mengenai teknologi PLTA yakni sistem hidroelektrik yang memungkinkan penyimpanan energi dan pembangkitan ulang[17]
(M. S. Patel, et al.,2020)	Scalable Blood Requirement analysis System Using Location Based Services	Menyajikan mengenai perbandingan akurasi dan keandalan analog kWh meter dengan versi digital atau smart meter.[18]
(Peter, et al.,2008)	Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels	Menyajikan mengenai Daya bruto (gross power output) adalah total energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit, termasuk konsumsi internal dan kehilangan di trafo.[19]

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan tujuan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam terkait uji akurasi *kWh meter* pada lingkungan kerja PT PLN Nusantara Power ULPTA Tanggari. Pendekatan kualitatif ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi data secara langsung di lapangan, serta mendapatkan perspektif dari pihak-pihak yang terlibat secara aktif dalam proses operasional dan teknis.

Terdapat tiga metode utama yang digunakan dalam proses pengumpulan data, yaitu:

1) Metode Observasi

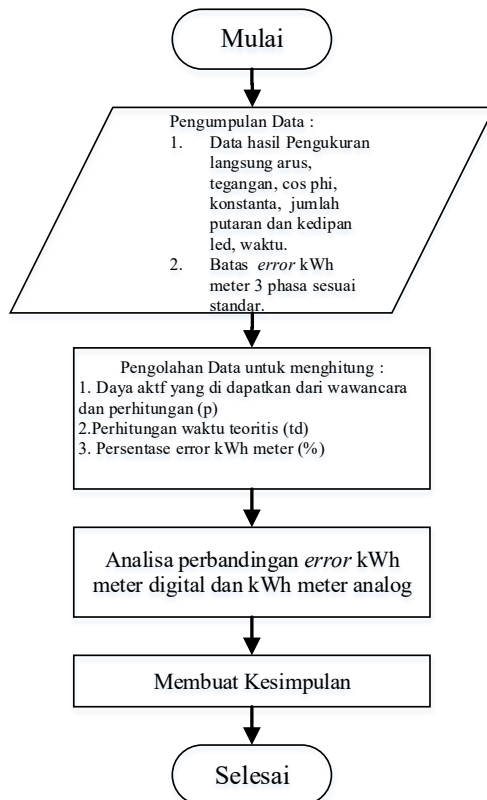
Metode Observasi yaitu penulis melakukan pengamatan secara langsung baik sebelum melaksanakan penelitian maupun saat melaksanakan penelitian pada *kWh Meter Digital* dan Analog daya bruto di area panel dekat turbin generator.

2) Metode Wawancara

Metode wawancara dimana penulis melakukan diskusi keterangan tanya jawab dengan pegawai-pegawai atau pihak-pihak yang terlibat yaitu Bapak pegawai PT PLN Nusantara Power ULPTA Tanggari khususnya staff bidang Team Leader Operasi C/bagian elektrikal guna memperoleh pengetahuan dan data yang diperlukan terkait uji akurasi *kWh meter*.

3) Metode Pustaka

Metode Pustaka dilakukan dengan menelusuri berbagai literatur yang relevan, baik berupa buku, jurnal ilmiah, maupun dokumen teknis yang mendukung analisis dalam penelitian ini.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Gambar 3 menunjukkan langkah-langkah dasar dalam bentuk Flowchart dalam melakukan penelitian kali ini.

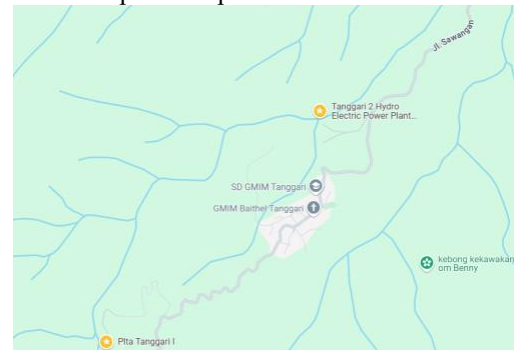
A. Lokasi

Penelitian ini dilakukan di PT PLN Nusantara Power ULPTA Tanggari, Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. PLTA Tanggari merupakan pembangkit listrik tenaga air yang terdiri dari dua lokasi pembangkit listrik besar yaitu Tanggari 1 dan Tanggari 2. Total kapasitas terpasang PLTA Tanggari 1 dan Tanggari 2 adalah 37 MW dan menggunakan danau Tondano sebagai sumber energi air utama.

Gambar 4 menunjukkan Maps PLTA Tanggari 1 dan Tanggari 2.

B. Data kWh Meter Digital

Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan data hasil pengukuran penelitian *kWh meter digital* mencakup parameter tegangan, arus, $\cos \phi$, konstanta, nilai n dan waktu pengukuran. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan alat multimeter untuk memastikan akurasi, sedangkan untuk $\cos \phi$ dan konstanta di dapat dari spesifikasi *kWh Meter* tersebut.



Gambar 4. Maps PLTA Tanggari 1 dan Tanggari 2

Tabel 4. Data penelitian kWh Meter Digital beban luar puncak

Tahap Percobaan	Tegangan (V)			Arus (A)			$\cos \phi$	k (imp/kWh)	n	t (s)
	R-S	S-T	T-R	R	S	T				
1	95,2	95,2	95,2	0,372	0,386	0,38	0,98	555,56	11	300
	95,3	95,2	95,2	0,369	0,384	0,378	0,98	555,56	10	300
	95,3	95,2	95,2	0,369	0,383	0,377	0,98	555,56	10	300
	95,6	95,3	95,5	0,369	0,384	0,377	0,98	555,56	11	300
	95,3	95	95,2	0,368	0,383	0,377	0,98	555,56	10	300
2	95,1	95,2	95	0,37	0,386	0,384	0,98	555,56	10	300
	95,5	95,3	95,2	0,368	0,384	0,378	0,98	555,56	11	300
	95,3	95,2	95,3	0,369	0,384	0,369	0,98	555,56	10	300
	95,5	95,6	95,5	0,378	0,38	0,377	0,98	555,56	11	300
	95,9	95,6	95,3	0,368	0,378	0,388	0,98	555,56	10	300
3	95,5	95,5	96	0,378	0,377	0,38	0,98	555,56	11	300
	95,2	95,5	95,7	0,372	0,37	0,372	0,98	555,56	10	300
	95,4	95,6	95,4	0,37	0,382	0,368	0,98	555,56	11	300
	95,2	95,3	95,5	0,379	0,368	0,38	0,98	555,56	10	300
	95,1	95,3	95,3	0,382	0,377	0,368	0,98	555,56	10	300

Tabel 5. Data penelitian kWh Meter Digital beban puncak

Tahap Percobaan		Tegangan (V)			Arus (A)			$\cos \phi$	k (imp/kWh)	n	t (s)
		R	S	T	R	S	T				
1	1	90,6	91	90,6	0,589	0,586	0,569	0,98	555,56	15	300
	2	90,5	90,7	90,3	0,577	0,572	0,574	0,98	555,56	14	300
	3	90,8	90,7	90,5	0,588	0,573	0,578	0,98	555,56	15	300
	4	90,5	90,3	90,2	0,572	0,567	0,57	0,98	555,56	14	300
	5	90,3	90,2	90,2	0,572	0,58	0,588	0,98	555,56	14	300
2	1	90,2	90,1	90	0,582	0,589	0,59	0,98	555,56	14	300
	2	90,5	90,2	90,3	0,588	0,567	0,577	0,98	555,56	14	300
	3	90,3	90,2	90,2	0,572	0,577	0,58	0,98	555,56	14	300
	4	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	555,56	15	300
	5	90,8	90,6	90,6	0,56	0,569	0,572	0,98	555,56	15	300
3	1	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	555,56	14	300
	2	90,3	90,3	90,3	0,574	0,577	0,58	0,98	555,56	14	300
	3	90,5	90,7	90,3	0,577	0,572	0,574	0,98	555,56	14	300
	4	90,8	90,7	90,7	0,572	0,569	0,588	0,98	555,56	16	300
	5	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	555,56	15	300

Tabel 6. Data penelitian kWh Meter Analog beban luar puncak

Tahap Percobaan		Tegangan (V)			Arus (A)			$\cos \phi$	k (imp/kWh)	n	t (s)
		R	S	T	R	S	T				
1	1	95,2	95,2	95,2	0,372	0,386	0,38	0,98	375	34	300
	2	95,3	95,2	95,2	0,369	0,384	0,378	0,98	375	32	300
	3	95,3	95,2	95,2	0,369	0,383	0,377	0,98	375	33	300
	4	95,6	95,3	95,5	0,369	0,384	0,377	0,98	375	35	300
	5	95,3	95	95,2	0,368	0,383	0,377	0,98	375	32	300
2	1	95,1	95,2	95	0,37	0,386	0,384	0,98	375	32	300
	2	95,5	95,3	95,2	0,368	0,384	0,378	0,98	375	34	300
	3	95,3	95,2	95,3	0,369	0,384	0,369	0,98	375	33	300
	4	95,5	95,6	95,5	0,378	0,38	0,377	0,98	375	35	300
	5	95,9	95,6	95,3	0,368	0,378	0,388	0,98	375	37	300
3	1	95,5	95,5	96	0,378	0,377	0,38	0,98	375	37	300
	2	95,2	95,5	95,7	0,372	0,37	0,372	0,98	375	34	300
	3	95,4	95,6	95,4	0,37	0,382	0,368	0,98	375	34	300
	4	95,2	95,3	95,5	0,379	0,368	0,38	0,98	375	32	300
	5	95,1	95,3	95,3	0,382	0,377	0,368	0,98	375	32	300

C. Data kWh Analog

Tabel 6 dan Tabel 7 merupakan data hasil pengukuran penelitian kWh meter analog mencakup parameter tegangan, arus, $\cos \phi$, konstanta, nilai n dan waktu pengukuran. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan alat multimeter untuk memastikan akurasi, sedangkan untuk $\cos \phi$ dan konstanta di dapat dari spesifikasi kWh Meter tersebut.

Tabel 7. Data penelitian kWh Meter Analog beban puncak

Tahap Percobaan		Tegangan (V)			Arus (A)			$\cos \phi$	k (imp/kWh)	n	t (s)
		R	S	T	R	S	T				
1	1	90,6	91	90,6	0,589	0,586	0,569	0,98	375	45	300
	2	90,5	90,7	90,3	0,577	0,572	0,574	0,98	375	42	300
	3	90,8	90,7	90,5	0,588	0,573	0,578	0,98	375	46	300
	4	90,5	90,3	90,2	0,572	0,567	0,57	0,98	375	41	300
	5	90,3	90,2	90,2	0,572	0,58	0,588	0,98	375	42	300
2	1	90,2	90,1	90	0,582	0,589	0,59	0,98	375	43	300
	2	90,5	90,2	90,3	0,588	0,567	0,577	0,98	375	43	300
	3	90,3	90,2	90,2	0,572	0,577	0,58	0,98	375	41	300
	4	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	375	45	300
	5	90,8	90,6	90,6	0,56	0,569	0,572	0,98	375	46	300
3	1	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	375	45	300
	2	90,3	90,3	90,3	0,574	0,577	0,58	0,98	375	42	300
	3	90,5	90,7	90,3	0,577	0,572	0,574	0,98	375	43	300
	4	90,8	90,7	90,7	0,572	0,569	0,588	0,98	375	46	300
	5	90,5	90,6	90,4	0,569	0,567	0,588	0,98	375	45	300

Tabel 8. Hasil hitungan kWh Meter digital beban luar puncak

Tahap Percobaan		PR (W)	PS (W)	PT (W)	PAktif (W)	Td (s)	error
1	1	60,042	62,301	61,333	183,676	388,072	0,294
	2	59,620	61,978	61,010	182,608	354,855	0,183
	3	59,620	61,817	60,849	182,286	355,483	0,185
	4	59,808	62,044	61,040	182,891	389,736	0,299
	5	59,458	61,687	60,849	181,994	356,053	0,187
2	1	59,656	62,301	61,848	183,805	352,544	0,175
	2	59,583	62,044	61,010	182,637	390,280	0,301
	3	59,620	61,978	59,620	181,218	357,577	0,192
	4	61,202	61,590	61,040	183,833	387,740	0,292
	5	59,833	61,266	62,690	183,789	352,576	0,175
3	1	61,202	61,040	61,848	184,091	387,197	0,291
	2	60,042	59,907	60,357	180,305	359,387	0,198
	3	59,844	61,915	59,521	181,280	393,202	0,311
	4	61,171	59,458	61,526	182,156	355,737	0,186
	5	61,591	60,913	59,458	181,962	356,116	0,187

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan presentase error kWh Meter Digital

Secara umum, kWh meter memiliki tingkat persentase kesalahan, di mana setiap kWh meter menunjukkan persentase yang berbeda-beda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh proses pembuatan serta kelas klasifikasi dari masing-masing KWH meter.

Tabel 9. Hasil hitungan kWh Meter digital beban puncak

Tahap	Percobaan	PR (W)	PS (W)	PT (W)	PAktif (W)	Td (s)	error
1	1	90,472	90,409	87,400	268,281	362,303	0,208
	2	88,531	87,958	87,876	264,366	343,158	0,144
	3	90,518	88,112	88,685	267,315	363,614	0,212
	4	87,764	86,805	87,167	261,736	346,606	0,155
	5	87,570	88,697	89,920	266,187	340,811	0,136
2	1	89,002	89,973	90,026	269,001	337,245	0,124
	2	90,219	86,709	88,336	265,263	341,997	0,140
	3	87,570	88,238	88,697	264,504	342,978	0,143
	4	87,304	87,093	90,119	264,516	367,460	0,225
	5	86,208	87,400	87,861	261,469	371,743	0,239
3	1	87,304	87,093	90,119	264,516	342,963	0,143
	2	87,876	88,336	88,795	265,007	342,328	0,141
	3	88,531	87,958	87,876	264,366	343,158	0,144
	4	88,055	87,497	90,418	265,970	389,815	0,299
	5	87,304	87,093	90,119	264,516	367,460	0,225

Berdasarkan data hasil pengukuran yang terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5, persentase *error* pada kWh meter digital dapat dianalisis menggunakan perhitungan manual, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus nomor 1 sampai 4.

Berdasarkan data pada Tabel 4, rumus nomor 1 dipergunakan untuk menghitung daya aktif pada fasa R,S,T:

$$PR = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,372 \times 0,98 = 60,042W$$

$$PS = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,386 \times 0,98 = 62,301W$$

$$PT = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,38 \times 0,98 = 61,333W$$

Setelah di hitung daya aktif pada fasa R,S,T, rumus nomor 2 dipergunakan untuk menghitung total daya aktif :

$$PAktif = 60,042 + 62,301 + 61,333 = 183,676W$$

Selanjutnya ketika daya aktif total telah didapat, rumus nomor 3 di pergunakan untuk menghitung waktu teoritis yang nantinya akan di pergunakan pada perhitungan *error* nanti:

$$Td = \frac{11 \times 1000 \times 3600}{183,676 \times 555,56} = 388,072s$$

Ketika telah didapat semua yang di perlukan untuk menghitung *error*, rumus nomor 4 dipergunakan untuk menghitung nilai *error*:

$$error = \frac{388,072 - 300}{300} \times 100 = 0,294\%$$

Perhitungan di atas adalah hasil perhitungan *error* pada kWh Meter digital beban luar puncak untuk tahap 1 percobaan 1, untuk tahap lainnya dan percobaan lainnya dapat dilakukan menggunakan cara dan rumus perhitungan yang sama.

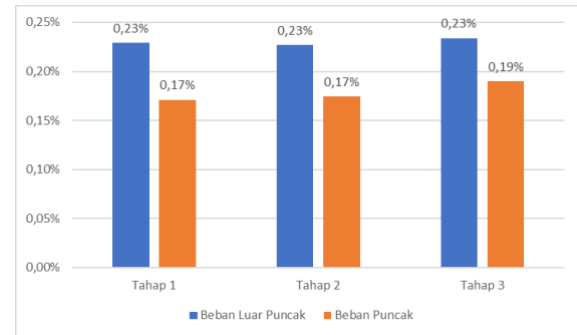
Tabel 8 dan Tabel 9 adalah hasil perhitungan kWh Meter digital baik pada saat beban luar puncak maupun beban puncak.

Tabel 10. Hasil rata-rata *error* kWh Meter digital beban luar puncak

Rata-Rata Error (%)		
Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
0,229%	0,227%	0,234%

Tabel 11. Hasil rata-rata *error* kWh Meter digital beban puncak

Rata-Rata Error (%)		
Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
0,171%	0,174%	0,190%

Gambar 5. Diagram hasil perhitungan rata-rata *error* kWh Meter Digital di tiap tahap

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 dapat dilihat *error* tertinggi pada kWh meter digital adalah pada percobaan ketiga tahap 3 beban luar puncak dengan besar *error* hingga 0,31% sedangkan persentase *error* terendah pada kWh meter digital ini adalah pada percobaan kesatu tahap 2 beban puncak dengan besar persentase *error* yaitu 0,12%.

Dari Tabel 7 dan Tabel 8 dihitung kembali rata-rata persentase *error* kWh meter digital di kondisi beban luar puncak dan beban puncak. Rata-rata persentase *error* kWh ditunjukkan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Dari Tabel 10 dan Tabel 11 mengenai hasil perhitungan data rata-rata *error* pada kWh Meter digital pada saat beban luar puncak dan beban puncak, Gambar 5 merupakan hasil perhitungan rata-rata *error* pada kWh meter digital yang telah di bulatkan hasilnya.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat rata-rata *error* tertinggi pada kWh meter digital adalah pada percobaan tahap 1-3 tepatnya pada saat beban luar puncak dengan besar *error* hingga 0,23% sedangkan persentase *error* terendah pada kWh meter digital ini adalah pada percobaan tahap 1 dan 2 tepatnya pada saat beban puncak dengan besar persentase *error* yaitu 0,17%.

Berdasarkan Gambar 5 yang menyajikan perhitungan rata-rata *error* pada setiap tahap, *error* tersebut dapat diidentifikasi secara lebih mendalam mengenai jenis-jenis *error* yang terjadi identifikasi ini mencakup baik *error* absolut (mutlak) maupun *error* relatif, yang masing-masing memberikan perspektif berbeda dalam mengevaluasi tingkat akurasi dan ketepatan model yang digunakan. Berdasarkan Gambar 5 rata-rata *error* tertinggi berada pada 0,23% maka untuk nilai *error* absolut (mutlak) dan *error* relatif sebagai berikut:

Nilai *error* standard yang di izinkan $\pm 0,2\%$ (kelas 0,2)

Nilai rata-rata *error* yang di ukur tertinggi yaitu 0,23%

Nilai *error* absolut (mutlak) : $|0,23\% - 0,2\%| = 0,03$

Nilai *error* relatif : $\frac{0,03}{0,2} \times 100\% = 0,15\%$

Selanjutnya, berdasarkan Gambar 4.4 rata-rata *error* terendah berada pada 0,17% maka untuk nilai *error* absolut (mutlak) dan *error* relatif sebagai berikut:

Nilai *error* standard yang di izinkan $\pm 0,2\%$ (kelas 0,2)

Nilai rata-rata *error* yang di ukur terendah yaitu 0,17%

Nilai *error* absolut (mutlak) : $|0,17\% - 0,2\%| = 0,03$

Nilai *error* relatif : $\frac{0,03}{0,2} \times 100\% = 0,15\%$

B. Perhitungan presentase error kWh Meter Analog

Hasil kWh meter analog ini memiliki *error* toleransi yang relatif sedikit besar dibanding dengan kWh meter digital. Selanjutnya berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 6 dan Tabel 7 dapat digunakan untuk menganalisa hasil persentase *error* kWh meter dengan perhitungan manual yang dapat dihitung dengan rumus nomor 1 sampai 4.

Berdasarkan data pada Tabel 6, rumus nomor 1 dipergunakan untuk menghitung daya aktif pada fasa R,S,T:

$$PR = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,372 \times 0,98 = 60,042W$$

$$PS = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,386 \times 0,98 = 62,301W$$

$$PT = \sqrt{3} \times 95,2 \times 0,38 \times 0,98 = 61,333W$$

Setelah di hitung daya aktif pada fasa R,S,T, rumus nomor 2 dipergunakan untuk menghitung total daya aktif :

$$PAktif = 60,042 + 62,301 + 61,333 = 183,676W$$

Selanjutnya ketika daya aktif total telah didapat, rumus nomor 3 di pergunakan untuk menghitung waktu teoritis yang nantinya akan di pergunakan pada perhitungan *error* nanti:

$$Td = \frac{34 \times 1000 \times 3600}{183,676 \times 375} = 1777,04s$$

Ketika telah didapat semua yang di perlukan untuk menghitung *error*, rumus nomor 4 dipergunakan untuk menghitung nilai *error*:

$$error = \frac{1777,04 - 300}{300} \times 100 = 4,923\%$$

Perhitungan di atas adalah hasil perhitungan *error* pada kWh Meter analog beban luar puncak untuk tahap 1 percobaan 1, untuk tahap lainnya dan percobaan lainnya dapat dilakukan menggunakan cara dan rumus perhitungan yang sama.

Tabel 12 dan Tabel 13 adalah hasil perhitungan kWh Meter analog baik pada saat beban luar puncak maupun beban puncak.

Berdasarkan Tabel 12 dan Tabel 13 dapat dilihat *error* tertinggi pada kWh meter analog adalah pada percobaan kelima tahap 2 beban luar puncak dengan besar *error* hingga 5,44% sedangkan persentase *error* terendah pada kWh meter analog ini adalah pada percobaan ketiga tahap 2 beban puncak dengan besar persentase *error* yaitu 3,96%.

Tabel 12. Hasil hitungan kWh Meter analog beban luar puncak

Tahap	Percobaan	PR (W)	PS (W)	PT (W)	PAktif (W)	Td (s)	error
1	1	60,042	62,301	61,333	183,676	1777,046	4,923
	2	59,620	61,978	61,010	182,608	1682,289	4,608
	3	59,620	61,817	60,849	182,286	1737,933	4,793
	4	59,808	62,044	61,040	182,891	1837,155	5,124
	5	59,458	61,687	60,849	181,994	1687,967	4,627
2	1	59,656	62,301	61,848	183,805	1671,333	4,571
	2	59,583	62,044	61,010	182,637	1787,155	4,957
	3	59,620	61,978	59,620	181,218	1748,168	4,827
	4	61,202	61,590	61,040	183,833	1827,745	5,092
	5	59,833	61,266	62,690	183,789	1932,653	5,442
3	1	61,202	61,040	61,848	184,091	1929,483	5,432
	2	60,042	59,907	60,357	180,305	1810,261	5,034
	3	59,844	61,915	59,521	181,280	1800,533	5,002
	4	61,171	59,458	61,526	182,156	1686,468	4,622
	5	61,591	60,913	59,458	181,962	1688,267	4,628

Tabel 13. Hasil hitungan kWh Meter analog beban puncak

Tahap	Percobaan	PR (W)	PS (W)	PT (W)	PAktif (W)	Td (s)	error
1	1	90,472	90,409	87,400	268,281	1610,249	4,367
	2	88,531	87,958	87,876	264,366	1525,161	4,084
	3	90,518	88,112	88,685	267,315	1651,986	4,507
	4	87,764	86,805	87,167	261,736	1503,805	4,013
	5	87,570	88,697	89,920	266,187	1514,727	4,049
2	1	89,002	89,973	90,026	269,001	1534,566	4,115
	2	90,219	86,709	88,336	265,263	1556,191	4,187
	3	87,570	88,238	88,697	264,504	1488,066	3,960
	4	87,304	87,093	90,119	264,516	1633,171	4,444
	5	86,208	87,400	87,861	261,469	1688,919	4,630
3	1	87,304	87,093	90,119	264,516	1633,171	4,444
	2	87,876	88,336	88,795	265,007	1521,470	4,072
	3	88,531	87,958	87,876	264,366	1561,474	4,205
	4	88,055	87,497	90,418	265,970	1660,337	4,534
	5	87,304	87,093	90,119	264,516	1633,171	4,444

Dari Tabel 12 dan Tabel 13 dihitung kembali rata-rata persentase *error* kWh meter analog di kondisi beban luar puncak dan beban puncak. Rata-rata persentase *error* kWh ditunjukkan pada Tabel 14 dan Tabel 15.

Dari Tabel 14 dan Tabel 15 mengenai hasil perhitungan data rata-rata *error* pada kWh Meter analog pada saat beban luar puncak dan beban puncak, Gambar 6 merupakan hasil perhitungan rata-rata *error* pada kWh meter analog yang telah di bulatkan hasilnya

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat rata-rata *error* tertinggi pada kWh meter analog adalah pada percobaan tahap 2 tepatnya pada saat beban luar puncak dengan besar *error* hingga 4,98 % sedangkan persentase *error* terendah pada kWh meter digital ini adalah pada percobaan tahap 1 tepatnya pada saat beban puncak dengan besar persentase *error* yaitu 4,2%.

Berdasarkan Gambar 6 yang menyajikan perhitungan rata-rata *error* pada setiap tahap, *error* tersebut dapat diidentifikasi secara lebih mendalam mengenai jenis-jenis *error* yang terjadi

identifikasi ini mencakup baik *error* absolut (mutlak) maupun *error* relatif, yang masing-masing memberikan perspektif berbeda dalam mengevaluasi tingkat akurasi dan ketepatan model yang digunakan. Berdasarkan Gambar 6 rata-rata *error* tertinggi berada pada 4,98% maka untuk nilai *error* absolut (mutlak) dan *error* relatif sebagai berikut:

Nilai *error* standard yang di izinkan $\pm 2\%$ (kelas 2)
 Nilai rata-rata *error* yang di ukur tertinggi yaitu 4,98%
 Nilai *error* absolut (mutlak) : $|4,98\% - 2\%| = 2,98$

Nilai *error* relatif : $\frac{2,98}{2} \times 100\% = 149\%$

Selanjutnya, berdasarkan Gambar 4.8 rata-rata *error* terendah berada pada 4,2% maka untuk nilai *error* absolut (mutlak) dan *error* relatif sebagai berikut:

Nilai *error* standard yang di izinkan $\pm 2\%$ (kelas 2)
 Nilai rata-rata *error* yang di ukur terendah yaitu 4,2%
 Nilai *error* absolut (mutlak) : $|4,2\% - 2\%| = 2,2$

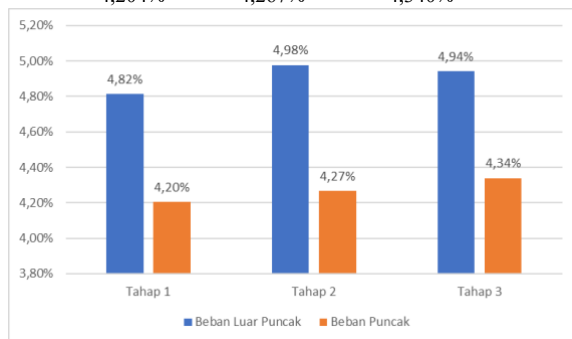
Nilai *error* relatif : $\frac{2,2}{2} \times 100\% = 110\%$

Tabel 14. Hasil rata-rata *error* kWh Meter analog beban luar puncak

Rata-Rata Error (%)		
Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
4,815%	4,978%	4,943%

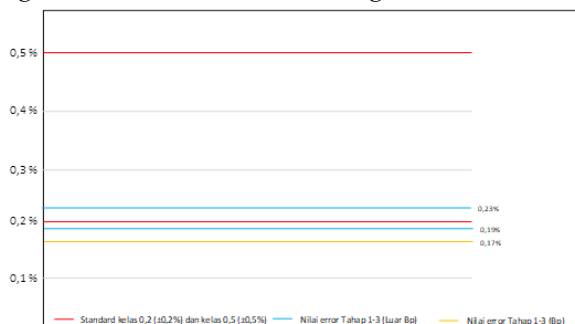
Tabel 15. Hasil rata-rata *error* kWh Meter analog beban puncak

Rata-Rata Error (%)		
Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
4,204%	4,267%	4,340%



Gambar 6. Diagram hasil perhitungan rata-rata *error* kWh Meter analog di tiap tahap

C. Tingkat Akurasi Nilai Error kWh Digital



Gambar 7. Grafik Tingkat akurasi rata-rata nilai *error* kWh Meter Digital Tahap 1-3

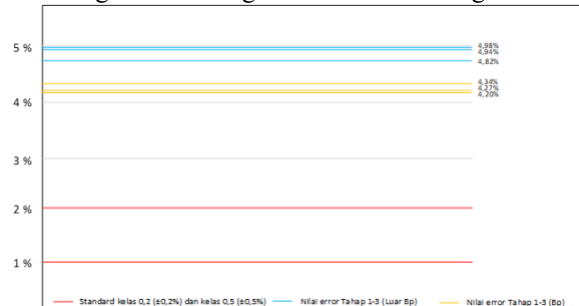
Gambar 7 merupakan perbandingan akurasi nilai *error* dari rata-rata tiap tahap dan mendapatkan hasil nilai *error* tertinggi berada pada 0,23% dan nilai *error* terendah pada 0,17% dan dapat di lihat bahwa dari rata-rata yang di dapat dari tahap 1-3 akurasi nilai *error* masih sangat dekat dalam batas toleransi standard kesalahan yang ada, Berdasarkan hasil perbandingan akurasi antara nilai *error* tertinggi dan terendah pada tahap 1-3 dan juga perbandingan akurasi pada rata-rata nilai *error* yang di dapat dengan standard kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053, pengujian kWh meter digital ini bisa dikatakan masih dalam batas toleransi dan akurasinya bisa dikatakan baik karena tidak begitu jauh dengan nilai standard kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053 atau yang dipakai dalam penelitian kali ini.

D. Tingkat Akurasi Nilai Error kWh Analog

Gambar 8 merupakan perbandingan akurasi nilai *error* dari rata-rata tiap tahap dan mendapatkan hasil nilai *error* tertinggi berada pada 4,98% dan nilai *error* terendah pada 4,2% dan dapat di lihat bahwa dari rata-rata yang di dapat dari tahap 1-3 akurasi nilai *error* sudah jauh dari batas toleransi standard kesalahan yang ada, Berdasarkan hasil perbandingan akurasi antara nilai *error* tertinggi dan terendah pada tahap 1-3 dan juga perbandingan akurasi pada rata-rata nilai *error* yang di dapat dengan standard kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053, pengujian kWh meter analog ini bisa dikatakan sudah tidak baik disebabkan oleh batas toleransi dan akurasinya jauh dengan nilai standard kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053 atau yang dipakai dalam penelitian kali ini.

E. Pembahasan perbandingan dan akurasi

Pada penelitian ini adalah menganalisa perbandingan tingkat persentase *error* kWh meter daya bruto digital dan analog pada unit 3 PLTA Tanggari 2. Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang telah dijalani selama 3 tahap bahwa hasil *error* kWh meter digital yang diperoleh masih dalam toleransi baik dan juga berada pada akurasi yang baik berdasarkan standard *error* yang dipakai yaitu berata-rata dalam kisaran 0,23% dalam kondisi luar puncak dan kisaran 0,17% - 0,19% dalam kondisi beban puncak, hal ini dikatakan dalam kondisi baik karena masih dalam cakupan range akurasi batas kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053 yang bisa di lihat pada Gambar 7 dan dianggap kondisi meter yang digunakan masih layak dan belum dikatakan *error*. Hasil kWh meter digital ini memiliki *error* toleransi yang relatif kecil, tapi berbanding terbalik dengan kWh meter analog.



Gambar 8. Grafik Tingkat akurasi rata-rata nilai *error* kWh Meter Analog Tahap 1-3

Sementara untuk hasil penelitian dan perhitungan yang telah dijalani selama 3 tahap terhadap hasil *error* kWh meter analog yang diperoleh sudah dalam toleransi dan kondisi akurasi *error* yang tidak baik, yaitu merata-rata dalam kisaran 4,82% - 4,98% dalam kondisi luar puncak dan kisaran 4,2% - 4,34% dalam kondisi beban puncak, tingkat *error* pada kWh meter analog ini dikatakan sudah tidak baik karena sudah tidak dalam cakupan range akurasi batas kesalahan yang diizinkan SNI dan IEC 62053 yang bisa di lihat pada Gambar 8 dan dianggap kondisi meter yang digunakan sudah tidak layak dan bisa dikatakan *error*.

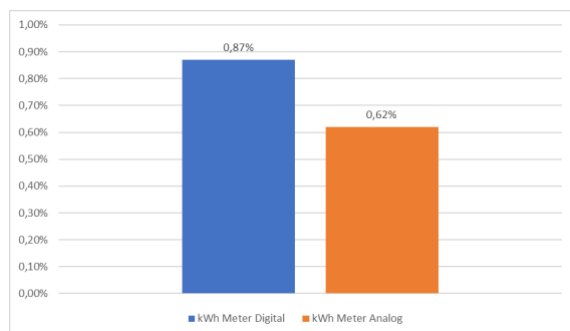
F. Faktor penyebab Error

Hasil perhitungan di atas bisa di akibatkan oleh beberapa faktor, untuk persentase *error* pada kWh meter digital dapat di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rentan terhadap benturan maupun cuaca ekstrim, dimana akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Untuk kWh meter digital yang dipakai dalam penelitian kali ini untungnya terhindar dari faktor penyebab kWh meter digital tersebut *error*, sehingga bisa dilihat dari hasil yang di dapat tingkat akurasi nilai *error* nya masih dalam kondisi baik.

Persentase *error* pada kWh meter analog dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti tegangan dan arus yang jauh di bawah nominal operasi atau bisa dikatakan rendah, tingkat keausan mekanis pada komponen internal seperti roda gigi dan piringan atau berbicara soal umur dari kWh meter tersebut. Selain itu, kWh meter analog lebih rentan terhadap perubahan lingkungan, seperti suhu dan getaran, yang dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam pembacaan energi. Berdasarkan perhitungan data yang diperoleh. Untuk kWh meter analog yang dipakai dalam penelitian kali ini bisa di bilang memenuhi dari beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat akurasi nilai *error* kWh meter analog tersebut, seperti usia dari kWh meter analog tersebut bisa di bilang sudah tua, dan lain-lain. Sehingga dampaknya bisa dilihat dari hasil yang didapat dari tingkat akurasi nilai *error* nya yang sudah dalam kondisi buruk atau tidak baik.

G. Perbandingan penelitian terdahulu

Berdasarkan penelitian terdahulu yang berjudul “Analisis perbandingan kWh Meter Analog dengan kWh Meter digital 3 Fasa di tinjau dari segi *error* kWh Meter” oleh Hot Parulian Saragih, gambar 9 adalah hasil penelitian tersebut dalam bentuk grafik.



Gambar 9. Hasil penelitian terdahulu

Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa hasil penelitian terdahulu kWh Meter Digitalnya lebih tinggi di bandingkan dengan kWh Meter Analog walaupun sama-sama bisa di bilang masih baik dalam akurasi *error*nya. Berbeda dengan penelitian kali ini kWh Meter digital lebih baik akurasi di bandingkan dengan kWh Meter Analog.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang peneliti lakukan, Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

1) Perbandingan Pengukuran:

kWh Meter Digital Rata-rata *error* 0,203% atau dalam *error* absolut (mutlak) sebesar 0,003 dan *error* relatif sebesar 1,5%, yang mendekati sesuai standar SNI & IEC 62053 (kelas 0,2). kWh Meter Analog Rata-rata *error* 4,34% atau dalam *error* absolut (mutlak) sebesar 2,34 dan *error* relatif sebesar 117% , melebihi batas standar (kelas 1 & 2).

2) Faktor Penyebab Error:

kWh Meter Digital penyebab *error*nya adalah rentan terhadap benturan, cuaca ekstrem dan medan elektromagnetik, namun tidak terjadi dalam pengujian atau penelitian kali ini khususnya untuk benturan dan cuaca ekstrem, walaupun faktor lain seperti medan elektromagnetik harus diperhatikan dan di teliti lebih lanjut lagi. Sedangkan kWh meter analog penyebab *error*nya dipengaruhi tegangan/arus rendah & keausan mekanis (umur alat) dan dalam penelitian kali ini kWh meter analog yang di uji memenuhi dari faktor-faktor penyebab kWh meter analog kurang baik dalam akurasi nilai *error*nya.

3) Akurasi pengukuran

Hasil akurasi nilai *error* berdasarkan hitungan dan grafik yang telah ada, akurasi nilai *error* pada kWh meter digital paling mendekati dengan standard nilai *error*, dibandingkan dengan kWh meter analog yang dilihat berdasarkan perhitungan dan grafik yang ada sudah jauh dengan standard nilai *error* yang dipakai penelitian kali ini. Standard yang dipakai untuk akurasi nilai *error* yaitu SNI dan IEC 62053.

B. Saran

Setelah merampungkan hasil penelitian ini berikut saran-saran yang dapat peneliti sampaikan, kesalahan atau *error* yang terjadi jangan sampai merugikan pihak-pihak yang ada yaitu pihak pengelola yaitu PLN dan pihak pemakai yaitu konsumen, Pihak pengelola harus segera mengganti atau mengkalibrasi kWh meter yang dinyatakan *error* di luar batas standard karena, dan kWh meter digital sebagai standard bahan pelaporan utama disebabkan oleh akurasi berdasarkan hasil yang di teliti lebih baik di bandingkan dengan kWh meter analog. Namun demikian, perlu diperhatikan lagi faktor lain yang tidak bisa dilihat seperti kerentanan terhadap gangguan medan elektromagnetik.

V. KUTIPAN

- [1] “IEO 2008: Konsumsi Energi Diperkirakan Tumbuh 5,9% hingga 2030,” ESDM. Accessed: Mar. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ieo-2008-konsumsi-energi-diperkirakan-tumbuh-59-hingga-2030>

- [2] “Hingga 2030, Permintaan Energi Dunia Meningkat 45 %,” ESDM. Accessed: Mar. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-2030-permintaan-energi-dunia-meningkat-45->
- [3] “Design of 3 Phase kWh Meter Communication Based on Internet of Things (IoT) Using LoRa,” SciSpace - Paper. Accessed: Mar. 21, 2025. [Online]. Available: <https://scispace.com/papers/design-of-3-phase-kwh-meter-communication-based-on-internet-2p1ov5ba>
- [4] A. Sumanto, Y. C. Arif, and S. D. Nugraha, “Alat Pendeteksi Kesalahan Pembacaan kWh Meter 1 Fasa dengan Notifikasi SMS disertai Lokasi,” vol. 15, no. 2, 2023.
- [5] N. C. A. Saputra, A. Hafid, and A. Faharuddin, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Air Terjun Gollae Kabupaten Pangkep,” vol. 14, pp. 52–59, 2022.
- [6] A. A. H. Kurnial and M. Sahal, “Comparative Study of Generator Efficiency in Hydroelectric Power Plant and Microhydro Power Plant,” vol. 3, no. 1, 2025.
- [7] M. S. Gazali, “PROTOTYPE PENGUKUR LISTRIK PINTAR BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS)”.
- [8] D. Gunawan, D. Erwanto, and Y. Shalahuddin, “Studi Komparasi Kwh Meter Pascabayar Dengan Kwh Meter Prabayar Tentang Akurasi Pengukuran Terhadap Tarif Listrik Yang Bervariasi,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektron.-Telekomun.-Komput.*, vol. 7, no. 1, p. 158, Jun. 2018, doi: 10.36055/setrum.v7i1.3408.
- [9] T. Haryani, W. Wardoyo, and A. Hidayat, “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI SALURAN IRIGASI MATARAM,” *J. Hidroteknik*, vol. 1, no. 2, p. 75, Sep. 2015, doi: 10.12962/jh.v1i2.1672.
- [10] D. Susilo and R. D. Laksono, *Rangkaian Digital untuk Teknik Elektro*, 1 vols. UNIPMA Press Universitas PGRI Madiun, 2023.
- [11] S. M. Prasetyo, M. B. Agusti, D. A. Mahesa, F. Maulana, and A. Rafly, “Teknologi Komunikasi Digital Dan Analog: Konversi, Transmisi,” vol. 1, no. 6, 2024.
- [12] D. Wijanarko, “Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things Menggunakan Application Programming Interface (API),” *J. Teknol. Inf. Dan Terap.*, vol. 10, no. 2, pp. 132–135, Jan. 2024, doi: 10.25047/jtit.v10i2.337.
- [13] “(PDF) Review of kVAh (Kilo Volt Ampere Hour) Billing-Pros and Cons to Utility and Consumers,” ResearchGate. Accessed: Mar. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/377575362_Review_of_kVAh_Kilo_Volt_Ampere_Hour_Billing-Pros_and_Cons_to_Utility_and_Consumers
- [14] A. Halomoan, Y. S. Rohmah, and S. Aulia, “PERANCANGAN SIMULATOR MODULASI DAN DEMODULASI AM PADA KANAL AWGN DAN RAYLEIGH”.
- [15] H. P. Saragih, S. T. Hj. Zuraidah Tharo, S. T. Pristisal Wibowo, and U. Universitas Pembangunan Panca Budi, “Analisis Perbandingan KWH Meter Analog Dengan KWH Meter Digital 3 Fasa Ditinjau Dari Segi Error KWH Meter,” *Repos. - Univ. Pembang. Panca Budi*, vol. 21067, no. 21067, Art. no. 21067, Oct. 2021.
- [16] N. Ramadhan, L. Mardiana, and L. S. Hudha, “RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK V-I SOLAR CELL DENGAN BEBAN ELEKTRIK KONFIGURASI MOSFET DAN MCP4725”.
- [17] A. Christe, T. Thurnherr, and M. Vasiladiotis, “Grid-Forming Variable-Speed Full Converter Pumped-Storage Hydropower”.
- [18] R. M. R. R. and D. P., “SCALABLE BLOOD REQUIREMENT ANALYSIS SYSTEM USING LOCATION BASED SERVICES,” vol. 07, no. 05.
- [19] International Energy Agency, *Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels*. OECD, 2009. doi: 10.1787/9789264061996-en.

Yosua David Mongdong, lahir di Manado pada tanggal 08



Maret 2004. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Kengza Mongdong dan Tan Kok Soen. Alamat tempat tinggal Teling Atas Jl. 14 Februari No. 186, Lingkungan 3, Kelurahan Teling Atas, Kecamatan Wanea, Kota Manado. Penulis mulai menempuh pendidikan di TK Permata Hati Manado (2008). Kemudian penulis melanjutkan kejenjang Sekolah Dasar di SD Kristen Eben Haezar 2 Manado (2009-2015), setelah itu melanjutkan studi kejenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Kristen Eben Haezar 2 Manado (2015-2018), kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Kristen Eben Haezar Manado (2018-2021). Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi S-1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi. Selama perkuliahan penulis bergabung dengan organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Elektro (HME).