

AUDIT ENERGI DAN *MONITORING* BERBASIS IOT UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI PENGGUNAAN LISTRIK DI ART CENTER DENPASAR

Novian Bayu Putranto¹, Agus Dharma², Putu Ayu Rhamani Suryadhi³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

bayuputranto@student.unud.ac.id¹, agd2bali@gmail.com², putusuryadhi@gmail.com³

ABSTRAK

Audit energi diperlukan untuk mengetahui peluang penghematan energi (PHE) sehingga akan mengurangi jumlah tagihan listrik di *Art Center* Denpasar yang digunakan sebagai pusat pementasan budaya di Bali. Lokasi lebih khusus dalam penelitian ini adalah Gedung Ksirarnawa *Art Center* Denpasar di bagian pencahayaan. Audit energi pada penelitian ini digabungkan dengan alat *monitoring* energi listrik berbasis IoT agar penggunaan listrik dapat dipantau secara *Real Time*. *Monitoring* energi listrik berbasis IoT ini menggunakan *Arduino Nano* sebagai pemroses data sekaligus pengirim data ke sebuah layanan situs bernama *Thingspeak* untuk merekam dan menampilkan data dari sensor. Sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus YHDC SCT 013-000 yang diintegrasikan dengan *NodeMCU* sebagai modul untuk menghubungkan ke jaringan *wireless*. Hasil audit energi di *Art Center* Denpasar mendapat potensi Peluang Hemat Energi (PHE) sebesar 33,6 % dengan saran kepada pihak terkait adalah melakukan penggantian lampu menggunakan LED serta melakukan pengaturan waktu *on/off* secara rutin.

Kata Kunci : Audit Energi, *Monitoring*, *Internet of Things*

ABSTRACT

An energy audit is needed to find out energy saving opportunities (PHE) so that it will reduce the amount of electricity bills at the Denpasar Art Center which is used as a cultural performance center in Bali. A more specific location in this research is the Ksirarnawa Art Center Denpasar Building in the lighting section. The energy audit in this study is combined with an IoT-based electrical energy monitoring tool so that electricity usage can be monitored in real time. This IoT-based electrical energy monitoring uses *Arduino Nano* as a data processor as well as sending data to a site service called *Thingspeak* to record and display data from sensors. The sensors used are the ZMPT101B voltage sensor and the YHDC SCT 013-000 current sensor which are integrated with the *NodeMCU* as a module to connect to a wireless network. The results of the energy audit at the Denpasar Art Center got a potential Energy Saving Opportunity (PHE) of 33.6% with suggestions to related parties being to replace lamps using LEDs and to regularly set on/off times.

Key Words : Energy Audit, *Monitoring*, *Internet of Things*

1. PENDAHULUAN

Masyarakat pada umumnya menggunakan berbagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan hidup berupa energi angin, panas, dan listrik. Energi listrik adalah salah satu energi yang paling

banyak digunakan karena mudah dalam penge-lolaannya. Pulau Bali memiliki banyak kesenian unik yang tersebar di berbagai kabupaten kota. Maka untuk melestarikan kesenian terutama budaya Bali, dilakukan acara tahunan yang dihadiri

oleh berbagai wilayah. Lokasi yang rutin digunakan adalah *Art Center* Denpasar atau Taman Werdhi Budaya *Art Centre*. Pesta kesenian Bali (PKB) diselenggarakan setiap tahun pada bulan Juni sampai bulan Juli sejak tahun 1979. Pembukaan PKB biasanya dilaksanakan di depan Monumen Bajra Sandhi Denpasar oleh Presiden RI atau pejabat setingkat Menteri[1].

Setiap pelaksanaan kegiatan PKB dan pengoperasian dalam keadaan normal akan menggunakan sejumlah energi. Energi yang digunakan sangat besar sehingga perlu dilakukan sebuah manajemen energi berupa Audit Energi. Konsumsi energi listrik adalah hal penting yang harus diketahui pada sebuah gedung. Hal ini berhubungan dengan berapa besar energi yang dibayar, seberapa efisien penggunaan energi listrik, serta apakah penggunaan energi listrik tersebut sudah memberikan tingkat kenyamanan sesuai standar. Penelitian ini membatasi daerah monitoring di Gedung Ksirnawa dengan mengaudit besarnya energi pencahayaan. Metode yang digunakan yaitu melakukan pengukuran pada peralatan pencahayaan khususnya lampu serta melakukan pengukuran pada kWh Meter dan PHB.

Perencanaan manajemen energi listrik diharapkan mudah dipakai dan diakses oleh pengelola untuk mencapai efisiensi dan tingkat kenyamanan yang sesuai dengan standar Indonesia dalam penggunaan energi, khususnya energi listrik. Konsumsi energi listrik adalah hal penting yang harus diketahui pada sebuah gedung. Hal ini berhubungan dengan berapa besar energi yang dibayar, seberapa efisien penggunaan energi listrik, serta apakah penggunaan energi listrik tersebut sudah memberikan tingkat kenyamanan sesuai standar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Energi

Audit energi dan manajemen energi sudah diidentifikasi untuk sarana peningkatan efisiensi energi listrik di suatu perusahaan. Karena pentingnya penghematan energi di Komisi Eropa (EC) yang sangat mendukung implementasi audit energi pada perusahaan dan menerapkannya sehingga dengan melakukan audit energi didapatkan efisiensi energi yang merata. Pencahayaan lampu yang kurang sesuai standar akan

mengakibatkan kurang efisiennya sebuah pekerjaan sehingga diperlukan beberapa lampu yang hemat energi.

2.2 Konservasi Energi

Konservasi energi memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat karena konservasi energi adalah suatu pemanfaatan energi atau sumber daya energi secara rasional dan efisien tanpa harus mengurangi jumlah penggunaan energi yang diperlukan tetapi mempunyai nilai ekonomi yang serendah mungkin sehingga dapat diterima oleh masyarakat dan tanpa mengganggu keadaan lingkungan. Energi tidak dapat dimusnahkan akan tetapi energi dapat berubah menjadi bentuk zat yang berbeda. Saat ini kebutuhan akan energi di Indonesia semakin naik adalah energi listrik. Energi listrik tersebut dihasilkan oleh pembangkit listrik misalnya unit pembangkit tenaga uap, unit pembangkit tenaga air, dan unit pembangkit tenaga gas dan uap yang menggunakan sumber energi primernya dari bahan yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan batu bara[2].

2.3 Audit Energi

Audit energi dan manajemen energi sudah diidentifikasi untuk sarana peningkatan efisiensi energi listrik di suatu perusahaan. Komisi Eropa (EC) menyadari bahwa pentingnya penghematan energi akan sangat mendukung implementasi audit energi pada perusahaan dan menerapkannya sehingga dengan melakukan audit energi akan mendapatkan efisiensi energi yang merata[3].

Mengetahui sekaligus mengevaluasi efisiensi dan efektivitas penggunaan energi listrik pada suatu tempat diperlukan suatu metode yang dinamakan dengan audit energi. Di negara Indonesia, audit energi pada suatu bangunan gedung sudah dibakukan dalam SNI 03-6196-2011 yang merupakan revisi dari SNI 03-6196-2000 membahas "Proses Audit Energi". Efisiensi energi di gedung difokuskan pada pemeliharaan dan operasional gedung serta perbaikan sistem. Audit energi pada gedung mencakup pada sistem operasional seperti *heating, air conditioning, ventilating*.

Perhitungan jumlah konsumsi energi listrik dalam rentang waktu tertentu dapat

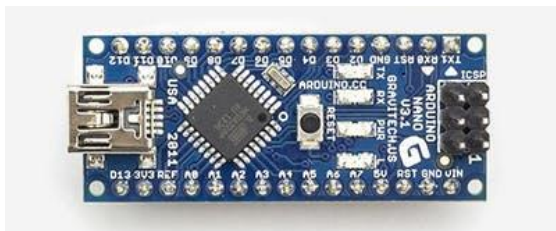
menggunakan Persamaan 1 atau Persamaan 2

$$kWh = (P \times n \times t) / 1000 \quad (1)$$

$$kWh = (V \times I \times \cos \phi \times n \times t) / 1000 \quad (2)$$

2.4 Arduino Nano

Arduino merupakan sebuah platform dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembang, tetapi merupakan kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih. Bentuk dari Arduino Nano dapat dilihat pada Gambar 1.



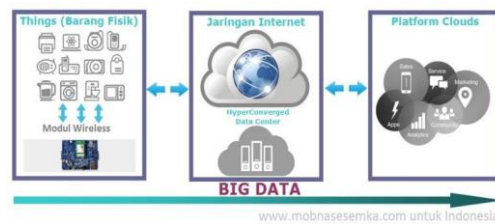
Gambar 1 Arduino Nano[4]

Arduino Nano adalah salah satu board mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis microcontroller ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau Atmega 16 (untuk Arduino versi 2.x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech.

2.5 Internet of things (IoT)

Internet of Things dapat didefinisikan kemampuan berbagai perangkat yang terhubung melalui jaringan internet dan melakukan pemantauan, pengendalian, dan komunikasi. Manfaat dari penerapan teknologi Internet of Things adalah membuat pekerjaan manusia menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien[5].

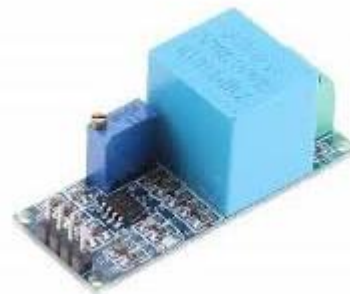
Menurut *Coordinator and Support Action for Global RFID-related Activities Standardisation (CASAGRAS)*, *Internet of things (IoT)* merupakan infrastruktur koneksi jaringan global yang dapat menghubungkan benda fisik dengan virtual melalui teknologi komunikasi. Secara sederhana, IoT mampu menyediakan layanan bagi pengguna agar dapat berkomunikasi dengan perangkat keras melalui koneksi jaringan internet. Komunikasi yang dimaksudkan ialah, proses transfer dan receive data dari pengguna ke perangkat ataupun sebaliknya[6].



Gambar 2 Konsep Internet of things (IoT)[7]

2.6 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor Tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah ZMPT101B. Sensor tegangan ini menggunakan tegangan masukan 5 Volt yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC dengan rentang pengukuran dari 20 Volt sampai 240 Volt. Proses dari pembaca sensor ini adalah dengan cara pensamplingan. Nilai keluaran dari sensor ini akan dihitung oleh Arduino melalui rumus yang telah diprogram untuk mendapatkan besar nilai sesungguhnya. Berikut ini adalah bentuk fisik sensor tegangan ZMPT101B[8].

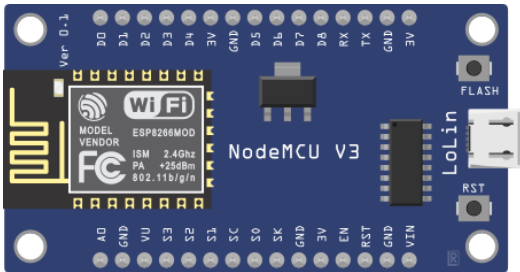


Gambar 3 Sensor Tegangan ZMPT101B[9]

2.7 NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah pengembangan platform IoT *open source* dari ESP8266

dengan *firmware* berbasis e-Lua yang dibuat oleh *Espressif Systems*. NodeMCU menggunakan bahasa pemrograman Lua yang merupakan bagian dari *package* ESP8266 dan dapat diprogram melalui Arduino IDE dengan konfigurasi *library* tambahan. Penggunaan NodeMCU harus dilakukan pemformatan terlebih dahulu agar dapat digunakan dengan baik[10].



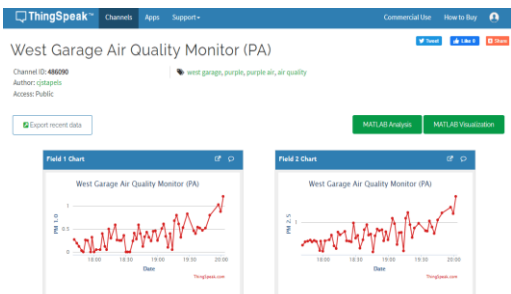
Gambar 4 NodeMCU ESP8266[11]

2.8 Sensor Arus YHDC SCT 013-000

Split-core Current Transformer adalah sensor arus yang menggunakan konsep cara kerja komponen transformator arus. Transformator arus dirancang untuk mendapatkan nilai arus sekunder yang lebih kecil dibandingkan sisi primernya sehingga aman untuk dilakukan dalam pengukuran

2.9 Thingspeak

ThingSpeak merupakan open source "*Internet of Things*" aplikasi dan API untuk menyimpan dan mengambil data dari hal-hal yang menggunakan HTTP melalui Internet atau melalui *Local Area Network* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Tampilan Grafik Thinkspcak[9]

3. METODE PENELITIAN

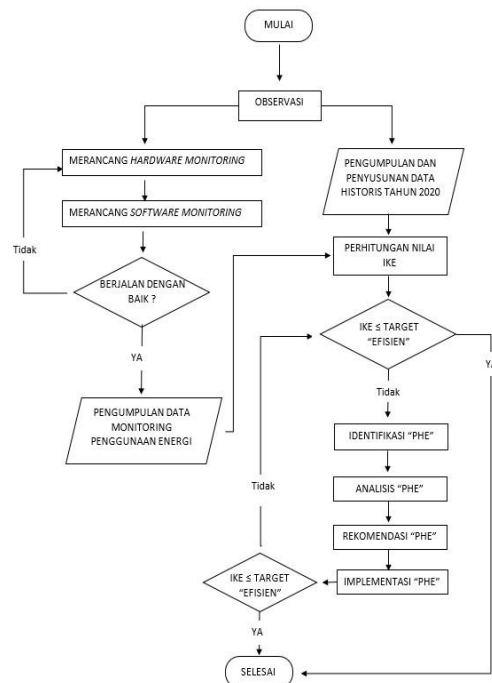
3.1 Peralatan Kerja

Peralatan kerja yang digunakan dalam Audit Energi dalam Peningkatan Efektivitas Penggunaan Listrik di Art Center Denpasar dan *Monitoring* Penggunaan Energi Berbasis *Internet of things* (IoT),

yaitu Komputer / laptop yang sudah terinstal beberapa *software* dalam membuat *Powermeter*, *software* Arduino IDE untuk membuat program pada mikrokontroler Arduino, serta *software firebase* untuk perancangan *database* penyimpanan data secara *real-time*. Peralatan pendukung lainnya, seperti gergaji, *tool set*, solder, timah, dan lainnya.

Gambar 6 merupakan diagram alir dalam penelitian ini dengan Studi literatur merupakan tahapan awal Tahapan ini merupakan tahapan untuk mengumpulkan data-data relevan yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Adapun data-data yang dikumpulkan dapat berasal dari beberapa sumber referensi, antara lain sebagai berikut:

1. Jurnal ilmiah yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Dokumen kelistrikan yang dimiliki oleh pengelola Art Center Denpasar



Gambar 6 Diagram Alir Audit Energi berbasis IoT

Data diolah hingga pada tahapan akhir dilakukan sebuah perancangan sistem *monitoring* dan perancangan *database real-time* pada *platform Thingspeak*

3.2 Observasi Data

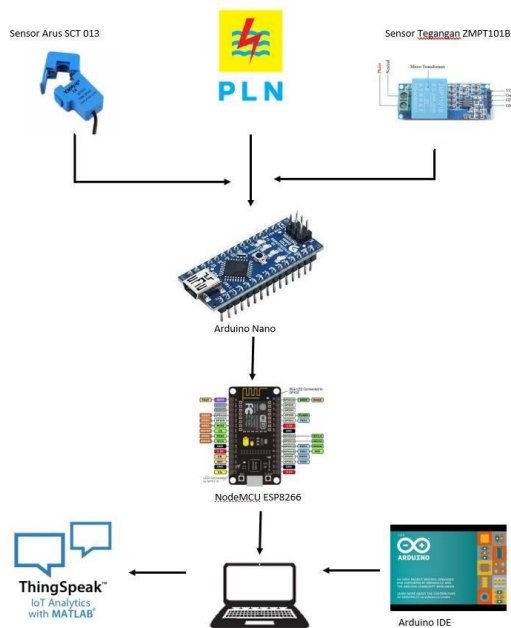
Langkah audit energi awal dengan observasi wawancara kepada pihak

leader/engineering dalam sistem instalasi, konsumsi energi dan pendistribusian listrik. Sehingga data yang harus didapatkan dalam Analisis riset audit energi Art Center Denpasar meliputi:

1. Tata letak lampu, luas setiap ruangan dan konsumsi listrik dalam *kWh*.
2. Penggunaan listrik selama kurun waktu 6 bulan

3.3 Desain Diagram Rangkaian Power Meter

Perancangan alat *monitoring* daya listrik berbasis *Internet of Thing* dapat dirangkai dengan beberapa komponen sesuai pada Gambar 7 yang menggunakan *microcontroller* Arduino Nano untuk mengolah data yang diukur dari sensor arus dan tegangan. Sensor yang digunakan yaitu SCT013 untuk mengukur arus listrik dan ZMPT101b untuk mengukur tegangan. Nilai arus dan tegangan yang diukur oleh sensor akan dimasukkan ke Arduino untuk diolah. Pemrograman tertentu yang telah diinstal dan diproses akan di *upload* ke situs Thingspeak melalui Modul NodeMCU ESP2866 agar dapat terhubung dengan jaringan. Halaman pada situs Thingspeak akan menampilkan secara *realtime* nilai dari Arduino tersebut.



Gambar 7 Diagram Rangkaian Power Meter IoT

3.4 Proses Audit Energi

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengukuran daya listrik pada kondisi terpasang. Data yang telah diperoleh selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui daya listrik yang seharusnya pada kondisi yang telah ada. Perhitungan yang telah dilakukan akan mendapatkan Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Perhitungan IKE pada tahap akhir mengevaluasi ulang terhadap hasil Analisis dan implementasi Peluang Hemat Energi (PHE) dengan menggunakan rumus serta standar efisiensi yang berlaku

Tahap selanjutnya yaitu Analisis Peluang Hemat Energi (PHE). Analisis nilai peluang hemat energi (PHE) dilaksanakan dengan menggunakan metode perbandingan. Potensi perolehan hasil hemat energi dengan rekomendasi anggaran dana yang akan dibayarkan dan sesudah dibayarkan tahun sebelumnya. Peluang Hemat Energi akan menjadi acuan dalam pemilihan keputusan selanjutnya dengan cara memperbaiki komponen listrik yang sudah ada atau mengganti dengan alternatif yang lebih efisien.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Pemakaian Energi Listrik di Gedung Ksirnawa Art Center Denpasar

Art Center Denpasar beralamatkan di Jl. Nusa Indah No.1, Panjer, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Art Center Denpasar memiliki beberapa Gedung *indoor* dan *outdoor* yang digunakan untuk berbagai kegiatan dengan kebutuhan yang berbeda sehingga setiap ruangan memerlukan penerangan dan kondisi suhu ruangan yang nyaman bagi penonton, aktor dan petugas. Art Center Denpasar sendiri mempunyai sistem kelistrikan yang berupa daya sebesar 197 kW x 3 fasa.

Besar konsumsi energi listrik pada gedung ini dihasilkan dari pemakaian beban listrik diantaranya dari pemakaian beban pencahayaan, pengkondisian udara, dan sebagainya. Selain pemakaian alat-alat pertunjukan, pemakaian energi listrik untuk sistem pencahayaan dan sistem pengkondisian udara memerlukan energi listrik yang cukup besar. Besar pemakaian energi listrik ini dapat dihitung dari besar konsumsi energi listrik.

Menghitung besar konsumsi energi listrik setiap ruangan dilakukan dengan cara pengukuran dengan tang ampere, lux meter. Pengukuran dititikberatkan pada sistem pencahayaan dan sistem pengkondisian udara, yang berupa dimensi ruang, $\cos \Phi$, arus listrik AC, dan intensitas penerangan (lux).

4.2 Analisis Sistem Pencahayaan

Gedung Ksirarnawa di **Art Center** Denpasar mempunyai ruangan Theater dan ruang pameran dan beberapa ruangan kecil lainnya. Adanya perbedaan fungsi setiap ruangan, maka berbeda pula tingkat intensitas cahaya yang diperlukan. Tabel 1 menunjukkan penggunaan energi pada kondisi *existing*.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Penggunaan Daya Listrik pada Pencahayaan Kondisi *Existing*

No	Nama Ruang	Banyak Lampu	Luas (m ²)	Daya	Energi Terpakai (kWh)
1	Ruang Utama Pameran	254	2025	40	81,4
2	Ruang Kepala Kantor	10	40	40	2,7
3	KM/WC Barat	4	18	20	0,52
4	KM/WC Timur	5	18	20	0,6
5	Ruang Menyusui	6	30	40	1,6
6	Panggung Teater	18	80	1000	25,1
7	Penonton Lantai 2	57	900	20	8,3
8	Ruang operator	3	20	40	0,8
	Total Daya				121,02

4.3 Perhitungan Kebutuhan Energi Standar Penerangan pada Sistem Pencahayaan

Perhitungan jumlah lampu pada ruang Pameran Gedung Ksirarnawa

- a) Data ruangan:
- Luas (A) = 45 x 45 = 2025 m²
- Jenis Lampu = TL 40 Watt

Fluks Lampu = 2500 Lumen
 (Sesuai lampu TL yang digunakan)
 = 0,8
 = 3,42
 = 2,62 (t – 0,8 m)

- b) Faktor Refleksi
 Faktor refleksi langit-langit (r_p) = 0,7
 Faktor refleksi dinding (r_w) = 0,5
 Faktor refleksi Lantai (r_m) = 0,1
- c) Indeks Ruang (k)
 Dengan menggunakan Persamaan indeks ruang ditentukan:

$$\text{Indek bentuk (k)} = \frac{p \times l}{h (p+l)} = \frac{2025}{3,42 (90)} = 6,57$$

Maka efisiensi (η1) = 0,7

Setelah mengetahui nilai efisiensinya, dapat diketahui berapa jumlah titik lampu yang dapat dipasang pada suatu ruangan dengan memakai Persamaan berikut.

$$n = \frac{E \times A}{\Phi_{\text{lampu}} \times \eta \times d \times x \times n} = \frac{300 \times 2025}{2500 \times 0,7 \times 0,8 \times 2} = 217 \text{ buah titik lampu}$$

Jumlah lampu yang dibutuhkan sebanyak 434 buah, dengan 217 titik lampu.

Tabel 2 dibawah merupakan hasil perhitungan kebutuhan jumlah lampu pada suatu ruangan sesuai dengan standar kebutuhan sistem pencahayaan.

Tabel 2 Konsumsi Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan Sesuai Perhitungan Standar

No	Nama Ruang	Jumlah Lampu	Energi Standar (kWh)
1	Ruang Utama Pameran	434	132
2	Ruang Kepala Kantor	8	2,2
3	KM/WC Barat	2	0,6
4	KM/WC Timur	2	0,6
5	Ruang Menyusui	6	1,2
6	Area Panggung Teater	18	25,1

7	Area Penonton Lantai 2	64	13
8	Ruang operator	3	0,4
	Total		175,1

4.3 Perhitungan Peluang Penghematan pada Sistem Pencahayaan

Adanya perbedaan kebutuhan jumlah lampu pada kondisi *existing* dengan kondisi standar di Gedung Ksirarnawa mengakibatkan perbedaan penggunaan energi, Sehingga, ketika disesuaikan dengan keadaan standar, ini mengalami peningkatan konsumsi energi karena pertambahan jumlah lampu

Salah satu upaya penghematan sistem pencahayaan di Gedung Ksirarnawa Art Center dapat menggunakan lampu LED dengan merk *MASTER LEDtube InstantFit HF T5* dengan 3000 lumen [12]. Perhitungan konsumsi energi ketika menggunakan lampu LED di ruang di Gedung Ksirarnawa dapat dilihat pada perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= (p \times n \times t) / 1000 \\
 &= (23 \times 20 \times 8) / 1000 \\
 &= 3,68 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan konsumsi energi listrik setelah diganti dengan lampu *MASTER LEDtube InstantFit HF T5* yang memiliki nilai lumen lebih besar lampu SL 46 Watt namun lebih hemat energi.

Tabel 3 Konsumsi Energi Listrik untuk sistem pencahayaan menggunakan lampu LED

No	Nama Ruangan	Jumlah Lampu	Daya Lampu	Energi Terpakai (kWh)
1	Ruang Utama Pameran	434	23	79,8
2	Ruang Kepala Kantor	8	23	1,8
3	KM/WC Barat	2	10	0,32
4	KM/WC Timur	2	10	0,4

5	Ruang Menyusui	6	23	1,1
6	Area Panggung Teater	18	1000	25,1
7	Area Penonton Lantai 2	64	20	10,5
8	Ruang operator	3	23	0,5
	Total			119,52

4.4 Menghitung Persentase Peluang Penghematan Energi Listrik

Setelah mengetahui jumlah kebutuhan energi pada kondisi standar setelah di Audit dengan kondisi *existing* maka selanjutnya dapat diketahui nilai persentase penghematan

Tabel 4 Persentase Penghematan pada Gedung Ksirarnawa Art Center Denpasar

No	Nama Ruangan	Energi Listrik (kWh) Existing	Konsumsi Energi Listrik Audit (kWh)	Persentase Penghematan (%)
1	Ruang Utama Pameran	132	79,8	40
2	Ruang Kepala Kantor	2,2	1,8	18
3	KM/WC Barat	0,5	0,32	36
4	KM/WC Timur	0,5	0,4	20
5	Ruang Menyusui	1,2	1,1	8
6	Area Panggung Teater	20,1	25,1	-25
7	Area Penonton Lantai 2	18,2	10,5	42
8	Ruang operator	0,4	0,5	-25
	Total	175,1	119,52	32

Tabel 5 menunjukkan besar persentase penghematan sehingga dapat kita ketahui IKE pra dan pasca audit kondisi standar dari persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{IKE pra audit} &= (\text{kWh} \times 30) / \text{m}^2 \\
 &= (175,1) \times 30
 \end{aligned}$$

$$= 5253 \text{ kWh/m}^2/\text{bln}$$

IKE pasca audit = (kWh x 30) / m²

$$= 119,52 \times 30$$

$$= 3.585,6 \text{ kWh/ m}^2/\text{bln}$$

Nilai nersentase dari perhitungan diatas akan mendapatkan nilai pasca audit dengan persamaan berikut :

$$\gamma = \frac{IKE \text{ pra audit} - IKE \text{ pasca audit}}{IKE \text{ pra audit}} \times 100\%$$

$$= \frac{5253 - 3485,6}{5253} \times 100\%$$

$$= 33,6 \%$$

Hasil perhitungan dan analisis diatas dapat diketahui pada Tabel 4.6, persentase penghematan dengan membandingkan kondisi standar dan kondisi penghematan dapat dilihat bahwa total dari kondisi standar sebesar 175,1 kWh menjadi kondisi penghematan 119,52 kWh. Perhitungan diatas juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan penghematan total, nilai rata-rata seluruh ruangan pada Gedung Ksirarnawa Art Center mengalami penurunan sebesar 33,6 % dari IKE pra dan pasca audit kondisi standar sebesar 5.253 kWh/m²/bln menjadi 3.585,6 kWh/m²/bln.

4.3 Peluang Besar Penghematan Biaya Tagihan Art Center Denpasar

Peluang penghematan didapat dari hasil Audit dengan biaya pada Tabel 6.

Tabel 5 Tarif Dasar Listrik untuk Seluruh Golongan[13].



PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)
APRIL - JUNI 2022

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	RESULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA KVA/h (Rp/kVA/h)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	**	1.392,00	1.392,00
2.	R-1/TR	1.200 VA	**	1.444,70	1.444,70
3.	R-1/TR	2.200 VA	**	1.444,70	1.444,70
4.	R-2/TR	3.000 VA s.d. 5.000 VA	**	1.444,70	1.444,70
5.	R-3/TR	5.000 VA ke atas	**	1.444,70	1.444,70
6.	B-2/TR	5.000 VA s.d. 200 KVA	**	1.444,70	1.444,70
7.	B-3/TM	di atas 200 KVA	**	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78	-
8.	I-3/TM	di atas 200 KVA	**	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78	-
9.	I-4/T	30.000 KVA ke atas	***	Blok WBP dan Blok LWBP = 995,74	-
10.	P-1/TR	5.000 VA s.d. 200 KVA	**	1.444,70	1.444,70
11.	P-2/TM	di atas 200 KVA	**	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78	-
12.	P-3/TR	200 KVA	**	1.444,70	1.444,70
13.	L/TR, TM, TT	-	-	1.644,52	-

Catatan:
*) Dibasiskan Rekening Minimum (RM).
RM1 = 40 (Luar Nyalai x Daya Terhubung (kVA) x Biaya Pemakaian.
**) Dibasiskan Rekening Minimum (RM).
RM2 = 40 (Luar Nyalai x Daya Terhubung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyalai - kWh per bulan dibagi dengan kVA terasambung.
***) Dibasiskan Rekening Minimum (RM).
RM3 = 40 (Luar Nyalai x Daya Terhubung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyalai - kWh per bulan dibagi dengan kVA terasambung.
****) Biaya tambahan pemakaian daya reaktif (kVArh) dibebankan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kalibrasi selembar (1,4 x s < 2), dibebankan oleh Direksi Perusahaan Penerima (Penerima) PT Perusahaan Listrik Negara.
WBP : Waktu Beban Puncak.
LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Peluang Biaya Penghematan
= (5253 – 3.585,6) kWh x Rp1.444,70
= Rp.2.408.892

4.4 Kalibrasi Alat

Kalibrasi diperlukan untuk memastikan nilai pengukuran alat IoT dengan alat ukur sebenarnya. Data kalibrasi alat dapat diperoleh dari perbandingan pada alat monitoring berbasis IoT dengan alat ukur arus listrik yang dihubungkan ke Panel Hubung Bagi (PHB). Perbandingan data hasil pengukuran nilai arus Max dan Min dapat diuraikan seperti pada Tabel 7.

Tabel 6 Perbandingan Nilai Arus Max dan Min Alat Ukur berbasis IoT dengan Clamp Meter

Fasa	Besarnya arus pada alat IoT (A)		Besarnya arus pada Clamp Meter (A)	
	Min	Max	Min	Max
R	4,16	4,78	4,3	4,73
S	2,4	2,83	2,54	2,88
T	2,18	2,56	2,26	2,62

Berdasarkan data hasil kalibrasi dengan Amperemeter, didapatkan nilai arus maximal dan minimal dengan perbedaan persentase dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Fasa R

$$p = \frac{4,76 - 4,73}{4,73} \times 100\%$$

$$p = \frac{0,03}{4,73} \times 100\% = 0,6\%$$

Fasa S

$$p = \frac{2,83 - 2,89}{2,89} \times 100\%$$

$$p = \frac{0,06}{2,89} \times 100\% = 2\%$$

Fasa T

$$p = \frac{2,79 - 2,77}{2,77} \times 100\%$$

$$p = \frac{0,02}{2,77} \times 100\% = 1\%$$

Nilai hasil perbandingan antara Alat *Monitoring* berbasis IoT dengan Amperemeter sudah di bawah 10% sehingga dapat digunakan untuk pengukuran beban listrik.

Cara pemasangan alat monitoring energi listrik dengan alat pengukur arus listrik (*Amperemeter*) pada PHB dapat dilihat pada Gambar 8. Sensor dipasang di setiap jalur fasa R, S dan T kemudian dibandingkan dengan besar yang terukur pada alat monitoring berbasis IoT. Apabila ada perbedaan yang cukup banyak, maka akan dilakukan perbaikan dalam pemrograman sistem pada Arduino Nano melalui komputer hingga mendapatkan nilai paling mendekati

Gambar 8 Kalibrasi pada alat dan Ampere Meter fasa R

4.5 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran data listrik pada fasa R dapat ditampilkan dalam Tabel 7

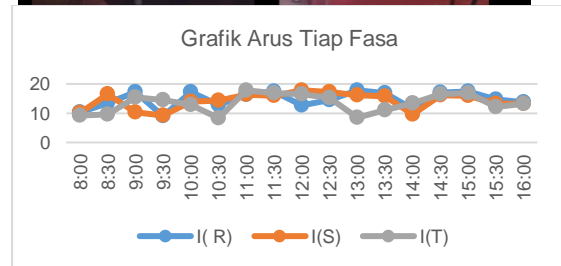
Tabel 7 Data Monitoring Fasa R

Time	I(R) (Ampere)	Pf(R)	W(R) (Watt)
08:00	10,33	0,74427	1662,689
08:30	14,25446	0,818835	2588,349
09:00	10,46738	0,74688	1692,213
09:30	11,00248	0,757047	1809,175
10:00	13,84419	0,81104	2483,472
10:30	11,3868	0,764349	1895,112
11:00	16,3627	0,858891	3157,994
11:30	17,3722	0,878072	3449,26
12:00	11,77232	0,771674	1982,953
12:30	14,54	0,82426	2662,482

13:00	12,5893	0,787197	2174,559
13:30	17,17813	0,874384	3392,323
14:00	16,6405	0,864169	3236,937
14:30	16,97092	0,870447	3332,028
15:00	17,37092	0,878047	3448,883
15:30	14,67	0,82673	2696,544
16:00	13,726	0,808794	2453,615

4.6 Grafik Hasil Monitoring

Data yang direkam oleh Alat *Monitoring*, dapat disajikan dalam grafik sehingga dapat dilihat besar pemakaian listrik di masing-masing fasa, sehingga dapat digunakan untuk melakukan penghematan pada waktu – waktu tertentu. Grafik arus tiap fasa ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Arus Tiap Fasa

4.7 Pembahasan Data Hasil Monitoring

Berdasarkan data pada Gambar 9, penggunaan listrik tertinggi pada pukul 10:00 hingga 12:30 dan pukul 14:00 hingga 15:30. Penggunaan tertinggi tersebut karena dilaksanakan pentas seni di Gedung Ksirnawa. Peluang penghematan energi dapat dilakukan dengan cara mengurangi penggunaan listrik

5 SIMPULAN

Hasil penelitian pada gedung Ksirnawa Art Center Denpasar, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya Intensitas Konsumsi Energi di gedung Ksirnawa Art Center

Denpasar pada kondisi *Existing* yaitu sistem pencahayaan sebesar 3.630,6 kWh/m²/bulan

2. Besarnya Intensitas Konsumsi Energi di gedung Ksirarnawa Art Center Denpasar setelah diaudit dengan penggunaan sesuai standar dan dengan mengefisienkan pemakaian energi memiliki potensi pemakaian sebesar 3.585,6 kWh/ m²/bln dengan potensi efisiensi sebesar 33,6 % dengan peluang biaya penghematan sebesar Rp.2.408.892 / bulan

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Hanso, 2018, "Bali Art Center Denpasar, Pilihan Tepat Menelusuri Budaya Kesenian Unik Khas Bali," vol. 4. pp. 1–23, [Online]. Available:<https://www.kintamani.id/bali-art-center-denpasar-pilihan-tepat-menelusuri-budaya-kesenian-unik-khas-bali/>.
- [2] R. Fitriadi and Y. Werdaningsih, 2016. "Audit Energi Dengan Pendekatan Metode Ahp (Analytical Hierarchy Process) Untuk Penghematan Energi Listrik (Studi Kasus : PT . ABC)," *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, pp. 126–134,
- [3] L. Nabitz, 2018. "Transposing The Requirements of the Energy Efficiency Directive on Mandatory Energy Audits for Large Companies: A Policy - Cycle - based review of the National Implementation in the EU-28 Member States," *Energy Policy*, no., pp. 1–14,
- [4] "Arduino Nano R3." <https://create.arduino.cc/projecthub/products/arduino-nano-r3>. Website (Akses 16 Juli 2022)
- [5] I. P. E. D. N. Dani Maulana, I Gusti Agung Putu Raka Agung, 2022. "SISTEM MONITOR BUDI DAYA SARANG BURUNG WALET BERBASIS ESP32-CAM," *Jurnal Spektrum*, vol. 9, no. 1, pp. 143–150,
- [6] M. N. A. M. David Setiadi, 2018. "PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IoT) PADA SISTEM MONITORING IRIGASI (SMART IRIGASI)," vol. 8.
- [7] "Penjelasan dan Cara Kerja Konsep Internet of Things (IoT)." <https://mobnasesemka.com/internet-of-things/>. Website (accessed Jun. 13, 2022).
- [8] F. H. Somari, 2017. "SISTEM DATA LOGGER PERALATAN ELEKTRONIK BERBASIS ANDROID," .
- [9] O. A. Ridfi, R. Handayani, and Taftazani, 2021. "Monitoring Penggunaan Listrik Pada Rumah Tangga Menggunakan Arduino Berbasis Web Server Dan Android," *eProceedings Appl. Sci.*, vol. 7, no. 4, pp. 774–784.
- [10] Rahmawati, 2017 . "Dasar Teori NodeMCU V3." [Online]. Available:http://eprints.akakom.ac.id/4914/3/3_143310009_BAB_II.pdf.
- [11] "ESP8266 NodeMCU LoLin." <https://forum.fritzing.org/t/esp8266-nodemcu-lolin/6386> (accessed Jul. 16, 2022).
- [12] "MasterConnect LEDtube IA 1500mm UO 25W865 T8 | 929002210902 | Philips lighting." https://www.lighting.philips.co.id/id/prof/led-lamps-and-tubes/tabungled/masterconnect-ledtube-em-mainst8/929002210902_EU/product (accessed Jun. 13, 2022).
- [13] PLN, 2022. "Tarif Adjustment." [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/pelanggan/tarif-tenaga-listrik/tariff-adjustment>.