

Audit dan Peluang Penghematan Energi Listrik CV Tirta Windu Agung 3 Probolinggo

Rohmanita Duanaputri^{*a)}, Muhammad Fahmi Hakim^{a)}, Ahmad Jamaruddin^{a)}, Tresna Umar Syamsuri^{a)}

(Received 31 Januari 2024 || Revised 12 Februari 2024 || Accepted 13 Februari 2024)

Abstract: *The use of electrical energy in the building and industrial sectors is very important, especially the use and allocation of funds spent is quite large. The results will be compared with predetermined standards. This research was carried out at CV Tirta Windu Agung 3 using a PM5100 and lux meter. IKE value was found to be 13.42 kWh/m²/year. This IKE value is the total of the buildings and ponds. The IKE value still includes very efficient criteria. Based on the results of detailed audit calculations, the value obtained before improvement was 2.23 kWh/m²/year. After improvements it became 1.65 kWh/m²/year. Energy saving opportunities are available in indoor and outdoor lighting systems by replacing CFL (compact fluorescent lamp) lamps with Philips LED lamps. Based on calculations, the savings in electrical energy costs are IDR 41,736/day, resulting in savings of IDR 15,233,640/year. Based on the I_{sc}/I_L calculation above, it can be seen that the I_{sc}/I_L value is 165.4. According to the IEEE 519-2014 standard, the ISC IL value in the range >1000 has a permissible THDi value limit of 15%. The nominal voltage used is 0.4 kV, so the permitted THDv is 8%. Based on table 3.9 THDv and THDi under standard conditions.*

Keywords: *Energy audit, Energy Consumption Intensity (IKE), Savings, Total Harmonic Distortion*

1. Pendahuluan

Penggunaan energi listrik pada sektor industri sangatlah penting, terutama pemakaian serta alokasi dana yang dikeluarkan cukup besar. Untuk menanggulangi pemborosan pemakaian energi yang akan mengakibatkan pembekakan pada pembayaran listrik, maka perlu dilakukan penggunaan energi seefisien mungkin [1]. Oleh karena itu, untuk mendukung program pemerintah tentang efisiensi energi khususnya pada bangunan gedung maka diperlukan analisis hasil nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) untuk mengetahui penggunaan/konsumsi energi dari peralatan elektronik yang digunakan per luas bangunan [2]. Sehingga perlu adanya audit energi untuk mengetahui tingkat konsumsi energi listrik yang digunakan. Audit energi listrik adalah peningkatan efisiensi energi yang digunakan atau proses penghematan energi[3].

Proses audit energi terdiri dari dua bagian yaitu audit energi awal dan rinci [4]. Audit energi awal dilakukan untuk menemukan gambaran umum data awal penggunaan energi dan memperkenalkan istilah-istilah seperti audit singkat dan survei awal [5]. Audit energi rinci adalah audit energi yang dilakukan dengan menggunakan alat-alat ukur yang sengaja dipasang pada peralatan untuk mengetahui besarnya konsumsi energi. Audit energi rinci dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi bangunan gedung, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaiannya cukup besar [6].

CV Tirta Windu Agung 3 merupakan industri yang bergerak dibidang budidaya udang yang terletak di Pajajaran Kabupaten Probolinggo. Industri ini dibangun sejak tahun 2012 dan mulai beroperasi di tahun 2014. Dalam menunjang kelancaran budidaya udang dibutuhkan mesin listrik seperti kincir air serta memerlukan penerangan yang cukup. Pada industri ini terdapat 17 kolam, diantaranya 15 kolam tambak udang dan 1 kolam sebagai penampungan air. Sebanyak 216 kincir air yang terpasang di 15 kolam udang, untuk jumlah perkolam disesuaikan oleh luasan tambak. Trafo yang terpasang 550kVA serta dilengkapi genset untuk menunjang kebutuhan listrik ketika terjadi pemadaman dengan kapasitas 2x400kVA caterpillar. Dengan kebutuhan energi yang cukup besar maka perlu dilakukan audit energi.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Forda Gigih (2021) audit energi yang dilakukan pada gedung A FT UNILA diketahui bahwa besaran listrik yang terukur (tegangan, arus, daya dan energi) masih dalam batasan yang diizinkan nilai IKE yang diperoleh 9,487 kWh/m² /tahun, nilai ini termasuk kategori efisien [7]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menekankan pada audit pada gedung dan nilai IKE, penelitian ini memfokuskan pada audit secara menyeluruh pada gedung (*indoor*) maupun jalan tambak (*outdoor*) serta juga memperhitungkan nilai harmonisa yang terkandung pada sistem. Sehingga tujuan audit ini untuk mengetahui nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE), peluang penghematan dan kandungan harmonisa yang terkandung dalam sistem, kemudian hasilnya akan disesuaikan dengan standar yang sudah ditetapkan IKE dan IEEE.

2. Metode Penelitian

2.1 Data Penelitian

Metode yang dipakai untuk penelitian dalam penelitian ini adalah dengan cara pengambilan data berdasarkan pengukuran arus, tegangan, dan daya menggunakan PM5110 serta kuat penerangan (lux) disetiap ruangan dengan menggunakan lux meter. Kemudian data tersebut akan digunakan untuk menentukan analisa konsumsi energi pada CV Tirta Windu Agung 3 Kabupaten Probolinggo dan standart kuat penerangan setiap objek yang diukur. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan narasumber terkait sebagai penunjang data-data yang dirasa masih kurang atau belum cukup.

Data yang didapatkan dari pengukuran PM5100 setiap 30 detik diolah dan dihitung untuk mengetahui konsumsi energi harian yang sudah terhubung dengan *web based* sehingga data terukur secara *realtime*. kemudian akan dibandingkan dengan standart IKE yang sudah ditetapkan untuk bangunan gedung per tahun (kWh/m²/tahun) [8]. Selain itu juga diperhitungkan nilai perhitungan dan pengukuran kuat penerangan di setiap ruangan (*indoor*) dan *outdoor* yang akan distandartkan dengan SNI 03-6575-2001 [9]. Data data yang diperlukan meliputi:

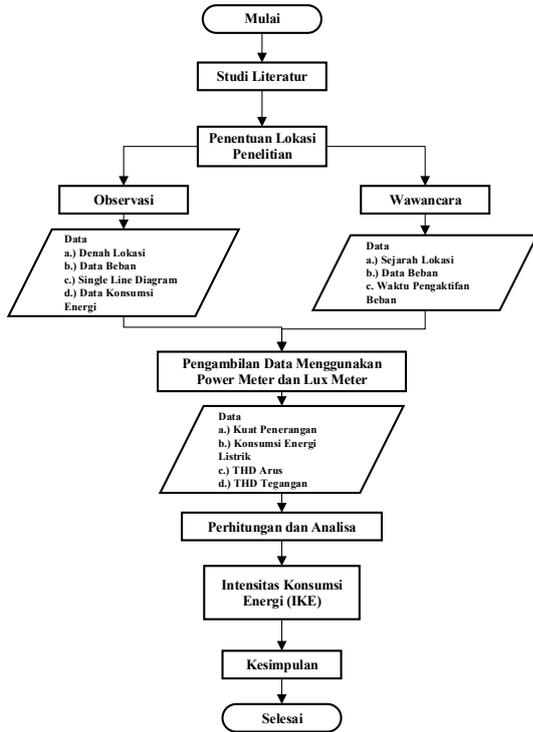
1. Intensitas Konsumsi Energi
2. Kuat Penerangan
3. Peluang dan biaya penghematan energi

*Korespondensi: rohmanitar@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jln. Soehat No 9 Kota Malang, Indonesia

4. THDi
5. THDv

2.2 Flowchart Penelitian



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3. Pembahasan

Dalam pembahasan ini akan uraikan mengenai hasil penelitian meliputi nilai IKE, kuat penerangan, penghematan biaya dan kandungan harmonisa.

3.1 Audit Energi CV Tirta Windu Agung 3

Proses audit energi terdiri dari dua bagian yaitu audit energi awal yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data pemakaian energi terakhir berupa rekening listrik, dokumentasi bangunan berupa gambar denah bangunan. Sedangkan untuk audit rinci dilakukan bila nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik melebihi nilai standar yang ditentukan.

3.1.1 Audit Awal

Pada audit awal dilakukan pengambilan data berupa denah gedung, denah tambak, *single line* diagram, beban terpasang, pemakaian energi dan rekening listrik. Tujuan dari audit energi awal adalah untuk mengukur produktifitas dan efisiensi penggunaan energi dan mengidentifikasi kemungkinan penghematan. Berikut merupakan luas lokasi penelitian di CV Tirta Windu Agung 3 Kabupaten Probolinggo.

TABEL 3.1 LUAS DAN BEBAN YANG TERPASANG

No	Lokasi	Luas (m ²)	Daya (VA)
1	Gedung	494	5.117
2	Tambak	47.033	196.648
Total		47.497	228.117

Untuk mengetahui konsumsi energi harian maka digunakan PM5100 sebagai alat ukur. Parameter yang diukur daya P,Q dan R. Berikut tabel hasil pengukuran pada tanggal 2-4 Juni 2023.

TABEL 3.2 RATA-RATA HASIL KONSUMSI ENERGI SETIAP JAM

No	Waktu Pengujian	P (kW)	Q (kVAR)	S (kVA)
----	-----------------	--------	----------	---------

1	2 Juni 2023	106,72	9,01	108,12
2	3 Juni 2023	111,29	15,13	117,34
3	4 Juni 2023	130,14	7,51	136,29

Tabel di atas merupakan hasil rata-rata konsumsi energi setiap jamnya. Untuk mengetahui total energi harian dengan mengalikan dengan 24 jam perubahan beban yang terjadi tidak signifikan dikarenakan penggunaan beban yang relatif tetap. Selanjutnya merupakan perhitungan biaya tagihan listrik berdasarkan hasil pengukuran. Dalam perhitungan tagihan berdasarkan biaya WBP(18.00-22.00) dan LWBP (22.00-18.00). Untuk tarif listrik LWBP sebesar Rp. 1.035 dan WBP 1.553. Perhitungan ini merupakan tarif WBP dan LWBP harian, sehingga biaya tagihan listrik di CV Tirta Windu Agung 3 berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

TABEL 3.3 BIAYA ENERGI WBP DAN LWBP

Tanggal	WBP (kWh)	LWBP (kWh)	Total
2 Juni 2023	Rp.674.002	Rp.2.198.340	Rp.2.872.342
3 Juni 2023	Rp. 734569	Rp. 2401200	Rp. 3135769
4 Juni 2023	Rp. 795136	Rp. 2825550	Rp. 3620686

Berdasarkan perhitungan penggunaan listrik diatas berada dikisar Rp.2.872.342-Rp.3.620.682 perharinya sehingga dapat dikalkulasi penggunaan listrik selama sebulan berdasarkan ketiga data tersebut berkisar Rp. 86.170.260 - Rp.94.073.070. Hasil perhitungan biaya berdasarkan pengukuran ini akan dilakukan perbandingan dengan tagihan listrik CV Tirta Windu Agung 3 di aplikasi PLN *mobile*. Berikut pemakaian energi dan tagihan listrik periode September 2022 -Agustus 2023.

TABEL 3.4 PEMAKAIAN DAN TAGIHAN LISTRIK 1 TAHUN

No	Bulan	Total LWBP dan WBP (kWh)	Biaya
1	September	65672,15	Rp 76.245.363
2	Oktober	22661,66	Rp 26.310.189
3	November	74091,47	Rp 86.020.194
4	Desember	93850,99	Rp 108.960.999
5	Januari	18820,95	Rp 21.851.118
6	Februari	54373,86	Rp 63.128.047
7	Maret	78.604	Rp 90.889.820
8	April	29.181	Rp. 33.841.804
9	Mei	53.164	Rp. 61.538.238
10	Juni	15.164	Rp. 17.627.681
11	Juli	76.456	Rp. 88.738.593
12	Agustus	54.964	Rp. 64.299.255
Total 1 Tahun		637.451	Rp. 739.463.990

Hasil pengukuran akan dibandingkan dengan biaya tagihan listrik melalui aplikasi PLN *mobile*. Pengujian dilakukan di bulan juni sehingga akan dibandingkan dengan tagihan listrik bulan juli dikarenakan merupakan pelanggan pascabayar. Biaya pada hasil pengukuran sebesar Rp.94.073.070 sedangkan pada tagihan listrik Rp.88.738.593, selisih yang didapatkan sekitar 6%.

CV Tirta Windu Agung 3 memiliki luas 47.497 m² yang terdiri dari bangunan dan tambak. Dimana jumlah total penggunaan listrik selama setahun adalah 637.451 kWh berdasarkan tagihan di aplikasi PLN *mobile* dengan total biaya Rp. 739.463.990. Sehingga perhitungan IKE berdasarkan persamaan berikut [10].

$$IKE = \frac{637.451}{47.497 (m^2)} = 13,42 \text{ kWh/m}^2/\text{Tahun} \quad (2-1)$$

3.1.2 Audit Rinci

Audit energi rinci merupakan tahap lanjutan yang dilakukan auditor ketika perbandingan hasil pengukuran belum memenuhi

standar yang berlaku, baik di penerangan, pengkondisi ruangan dan standar IKE serta melakukan identifikasi peluang-peluang penghematan energi berdasarkan rekomendasi peluang penghematan energi. Pada penelitian ini akan mengidentifikasi terkait standar penggunaan penerangan di *indoor* (dalam ruangan) dan *outdoor* (tambak).

Perhitungan Kuat Penerangan Indoor

Pengukuran tingkat pencahayaan lampu harus sesuai dengan SNI 03-6197-2000, SNI 03-6575-2001, SNI 16-7062-2004 dan SNI 6197-2011. Pada pengukuran ini tingkat pencahayaan lampu pada ruangan disesuaikan dengan luas, tinggi, indeks, lumen dan kuat penerangan [11]. Contoh perhitungan dan pengukuran pencahayaan lampu yang dilakukan pada kamar tidur sebagai berikut.

Panjang = 3 m Lebar = 3 m Tinggi = 3 m
 Bidang Kerja = 0,75 m² Luas = 27,5 m² Lumen (Q) =
 Indeks Ruang (K), Koefisien (Kp) dan Depresiasi (Kd)

$$K = \frac{p \times l}{h(p+l)} \frac{3 \times 3}{2,25(3+3)} = 0,67 \quad (2-2)$$

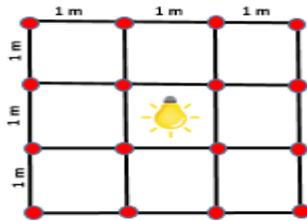
Pada bangunan dinding, lantai, dan atap memiliki warna putih dimana nilai indeks ruangan 0,86 sehingga nilai Kp pada berdasarkan Utilisation *factor table* memiliki nilai Kp 0,9 dan jika tidak diketahui data pasti untuk nilai Kd, maka faktor ini dapat ditentukan Kd 0,9 [12].

Perhitungan Kuat Penerangan

$$E = \frac{Q_{total} \times Kp \times Kd}{A} = \frac{1360 \times 0,9 \times 0,9}{9} = 100,33 \text{ lux} \quad (2-3)$$

Pengukuran Kuat Perangan Indoor

Metode pengukuran kuat penerangan dilakukan berdasarkan SNI 16-7062-2004. sehingga memiliki luas 9 m² berdasarkan SNI 16-7062-2004 luas ruangan kurang dari 10 meter persegi, titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak setiap 1 (satu) meter. Berdasarkan gambar dibawah didapatkan 16 titik pengukuran.



Gambar 3.1 Pengukuran Titik Kuat Penerangan Indoor

$$E = \frac{79+84+89+83+78+98+107+100+93+111++78+82+91+87 +80}{16} = 92 \text{ lux}$$

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai 92 lux dan diperhitungan 100,33 lux. Berdasarkan tabel kuat penerangan SNI 03-6575-2001 untuk kamar tidur memiliki standar kuat penerangan 120 lux, sehingga berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan belum standar. Berikut merupakan tabel perhitungan dan pengukuran secara keseluruhan untuk gedung.

TABEL 3.5 PERHITUNGAN DAN PENGUKURAN KUAT PENERANGAN INDOOR

Ruangan	E Perhitungan (Lux)	E Pengukuran (Lux)	E Standar (Lux)	Keterangan
Kantor	157,97	132	200	Tidak Standar
Gudang Pakan	188	73	60	Standar

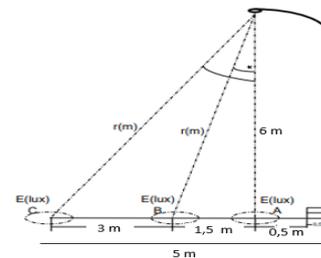
Gudang Panen	95	70	60	Standar
Parkir	172	107	100	Standar
Musholah	69	62	200	Tidak Standar
Kamar Tidur 1	100	92	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 2	100	92	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 3	100	85	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 4	100	93	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 5	100	97	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 6	115	102	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 7	115	112	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 8	115	107	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 9	115	109	120	Tidak Standar
Kamar Tidur 10	115	109	120	Tidak Standar
Ruang Tamu	154	161	120	Standar
Kamar Mandi 1	272	173	250	Tidak Standar
Kamar Mandi 2	272	156	250	Tidak Standar
Kamar Mandi 3	272	177	250	Tidak Standar
Teras 1	189	167	60	Standar
Teras 2	176	144	60	Standar
Lorong 1	120	77	60	Standar
Lorong 2	107	75	60	Standar
Pos 1	160	89	120	Standar
Pos 2	160	102	120	Standar
Dapur	230	188	250	Tidak Standar
Ruang Genset	120	69	60	Standar
Ruang Kubikel	99	78	60	Standar

Perhitungan Kuat Penerangan Outdoor.

Penerangan jalan raya mempunyai 2 fungsi pokok yaitu fungsi: fungsi keamanan dan fungsi ekonomi [13].Perhitungan tingkat penerangan *outdoor* pada CV Tirta Windu Agung 3 yaitu akses jalan menuju antar tambak. Jalan ini termasuk dalam kategori jalan lokal yang memiliki standart SNI 7391:2008 penerangan 2-5 lux [14]. Pada CV Tirta Windu Agung 3 memiliki lebar 5 meter, tinggi tiang 6 meter dan lengan lampu 0,5 meter. Jarak antar lampu disetiap petaknya berbeda beda tergantung pada luasan dan jumlah lampu disetiap petak, dimana memiliki rentan jarak antar lampu 29-40 meter.

Perhitungan Kuat Penerangan

Jarak = 33m t = 6 m
 P = 42 watt ω = 4π
 K = 65 lm J = 1,5m



GAMBAR 3.2 LAMPU PENERANGAN OUTDOOR

Sudut ruang cahaya ditentukan dalam satuan steradian adalah 4π dan dari persamaan efikasi $K = \frac{\Phi}{P}$, flux dapat dihitung dengan koefisien lampu 65 lm/W (data teknis lampu type helix 42

watt). Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [15].

$$\Phi = K \times P = 65 \text{ lm/watt} \times 42 \text{ watt} = 2730 \text{ lm} \quad (2-4)$$

$$\text{Sehingga : } l = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{2730}{4 \times 3,14} = 217,4 \quad (2-5)$$

Menghitung kuat cahaya ($E = \frac{1}{R^2} \cos \alpha$) pada titik B. Pertama, hitung jari jari pencahayaan/ jarak cahaya atau "r".

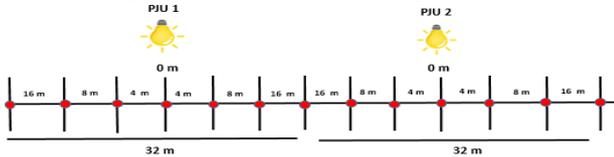
$$r = \sqrt{t^2 + j^2} \quad (2-6)$$

$$= \sqrt{6^2 + 1,5^2}$$

$$= 6,18 \text{ m}$$

$$\text{Maka: } E = \frac{1}{r^2} \cos \alpha = \frac{217,4}{38,19} \times \frac{6}{6,18} = 5,52 \text{ lux} \quad (2-7)$$

Untuk perhitungan dilakukan pada radius 0, 4, 8, 16 dan 32 m yang tertera pada gambar 3.2. Untuk persamaan yang digunakan seperti contoh diatas dengan menyesuaikan jarak yang digunakan, dari hasil perhitungan kemudian diambil rata-rata. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kuat penerangan rata-rata 3,94 lux.



GAMBAR 3.1 PENGUKURAN TITIK KUAT PENERANGAN INDOOR

Pengukuran Kuat Penerangan Outdoor

Metode yang digunakan untuk mengukur kuat penerangan dengan mengukur titik radius yang direncanakan pada gambar 3.2.

TABEL 3.6 PERHITUNGAN DAN PENGUKURAN KUAT PENERANGAN OUTDOOR

Petak	E Perhitungan (Lux)	E Pengukuran (Lux)	E Standar (Lux)	Keterangan
1	3,94	4,14	2-5	Standar
2	4,24	4	2-5	Standar
3	3,94	3,71	2-5	Standar
4	3,94	3,57	2-5	Standar
5	3,94	4,29	2-5	Standar
6	3,94	3,57	2-5	Standar
7	3,94	3,43	2-5	Standar
8	4,24	4,83	2-5	Standar
9	3,94	3	2-5	Standar
10	3,94	3,43	2-5	Standar
11	3,94	3,14	2-5	Standar
12	3,94	3,14	2-5	Standar
13	3,94	4	2-5	Standar
14	3,94	2,86	2-5	Standar
15	3,94	3,29	2-5	Standar
16	3,94	4,14	2-5	Standar

3.2 Rekomendasi Perbaikan dan Penghematan Energi

Perbaikan dan penghematan energi dilakukan pada sistem penerangan indoor dan outdoor yang belum standar. Dengan melakukan perubahan jenis lampu CFL (*compact fluorescent lamp*) menjadi LED. Selain itu dengan meningkatkan lumen lampu yang disesuaikan dengan kebutuhan lux pada ruangan. Untuk ruang indoor perhitungan kebutuhan perbaikan lampu sama halnya

menggunakan persamaan 2-2 dan 2-3 dengan merubah standart kebutuhan lumen dimasing masing ruangan melalui perhitungan. Selanjutnya akan mengetahui kebutuhan lumen yang sesuai, kemudian mencari jenis lampu LED sesuai dengan kebutuhan lumen berdasarkan perhitungan. Nilai efikasi pada LED dengan 137,369 lumen/watt dan CFL dengan 68,681 lumen/watt [16].

Perbaikan penerangan indoor pada lampu teras dimana Pada teras memiliki kuat penerangan perhitungan 189 lux dan 155 pada pengukuran untuk standarnya 60lux hal tersebut sudah memenuhi standart namun belum efisien. Setelah dilakukan perbaikan berdasarkan perhitungan maka dibutuhkan lampu 1xLED Philips 12 watt. Sehingga dengan perencanaan ulang lampu dapat menghemat 30 watt. Hal ini bisa dikatan efisien dimana yang awalnya menggunakan lampu CFL (*compact fluorescent lamp*) dengan daya 42 watt lumen 2900 lumen namun setelah perbaikan menggunakan lampu LED philips 12 watt dengan lumen 1360. Dengan penggunaan lampu yang lebih efisien dapat menghemat energi sebesar 30 watt dilampu teras.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan seluruh sistem penerangan pada tambak (*outdoor*) hasil yang didapatkan sudah standar, namun penggunaan lampu pada tambak belum efisien. Sehingga perlu dievaluasi dan direncanakan ulang, dikarenakan lumen lampu yang dihasilkan rendah namun memiliki daya yang tinggi, maka disini perlu pemilihan lumen yang tepat pada lampu dengan pemilihan lampu yang lebih efisien. Perbaikan penerangan outdoor dengan mengganti jenis lampu CFL menjadi LED. Berdasarkan perhitungan dan pengukuran lux yang di hasilkan sudah sesuai diantara 2-5 sehingga cukup merubah jenis lampu. Dimana yang awalnya menggunakan jenis lampu CFL 42 watt dengan lumen 2730 namun setelah perbaikan menggunakan lampu LED philips 25 watt dengan lumen 2700, dapat menghemat 17 watt.

3.3 Perhitungan IKE dan Penghematan Biaya

Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sangat dibutuhkan untuk mengetahui berapa besar pemakaian energi pada suatu sistem bangunan gedung sehingga mempermudah penentuan efisiensi energi pada gedung di CV Tirta Windu Agung 3. Perbaikan dan penghematan biaya pemakaian energi difokuskan pada sistem penerangan indoor dan outdoor. Kemudian akan ditotal secara keseluruhan untuk mengetahui penghematan biaya yang didapat. Berikut merupakan tabel perhitungan IKE dan penghematan energi sistem penerangan sebelum dan sesudah perbaikan. Dengan alokasi pengaktifan beban 12 Jam

TABEL 3.7 PENGGUNAAN ENERGI SEBELUM DAN SESUDAH PERBAIKAN

No	Lokasi	Sebelum	Sesudah	Penghematan
1	Indoor	1,384 kW	0,663 kW	0,721 kW
2	Outdoor	5,334 kW	3,175 kW	2,159 kW
Total		6,718 kW	3,838 kW	2,88 kW

Tabel di atas merupakan beban yang terpasang pada sistem penerangan untuk lokasi outdoor dan indoor. Pengaktifan beban penerangan selama 12 jam (17.30-05.30). Untuk mengetahui penggunaan energi selama setahun maka dikalikan dengan 365 (1tahun). Berikut merupakan perhitungan nilai IKE sebelum dan sesudah perbaikan serta perhitungan penghematan biaya.

IKE sebelum Perbaikan

$$IKE = \frac{6,718 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \times 365 \text{ hari}}{10354,25} = 2,23 \text{ kWh/m}^2/\text{Tahun}$$

IKE sesudah Perbaikan

$$IKE = \frac{3,838 \text{ kWh} \times 12 \text{ jam} \times 365 \text{ hari}}{10354,25} = 1,65 \text{ kWh/m}^2/\text{Tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai IKE sesudah dan sebelum perbaikan sudah termasuk kategori sangat efisien karena menurut Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasannya di Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia yaitu untuk kategori sangat efisien 10-20 kWh/m² untuk gedung yang tidak ber AC [17].

Penghematan Biaya

Setelah melakukan audit penggunaan energi dan perencanaan peluang penghematan energi selanjutnya akan dilakukan perhitungan penghematan biaya yang didapat. Sehingga akan dihitung penggunaan sebelum dan sesudah penghematan. Berikut biaya penghematan yang didapat setelah perbaikan.

$$Penghematan = 6,718 \text{ kWh} - 3,838 \text{ kWh} = 2,88 \text{ kWh}$$

$$LWBP = 1.035/\text{kWh} (22.00 - 06.00)$$

$$WBP = 1.553/\text{kWh} (18.00 - 22.00)$$

$$\text{Total kWh/hari} = \text{Total beban} \times \text{Jam pemakaian}$$

$$LWBP = 2,88 \text{ kWh} \times 8 \text{ jam} = 23,04 \text{ kWh}$$

$$= 39,04 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.035/\text{kWh}$$

$$= \text{Rp. } 23.846$$

$$WBP = 2,88 \text{ kWh} \times 4 \text{ jam} = 19,8 \text{ kWh}$$

$$= 11,52 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.553/\text{kWh} = \text{Rp. } 17.890$$

$$\text{Total Biaya Penghematan} = LWBP + WBP$$

$$= \text{Rp. } 23.846 + \text{Rp. } 17.890 = \text{Rp. } 41.736$$

Sehingga didapatkan penghematan tagihan listrik sebesar Rp.41.736 /hari atau Rp 15.233.640/tahun.

3.4 Kandungan Harmonisa

Kandungan harmonisa dalam sistem listrik merujuk pada komponen gelombang sinusoidal yang memiliki frekuensi yang merupakan kelipatan ganjil dari frekuensi dasar sistem listrik [18]. Peralatan listrik yang menyebabkan terjadinya harmonisa terdapat pada instalasi bangunan industri, gedung komersial dan perumahan merupakan peralatan yang bersifat beban non-linier [19]. Gelombang arus yang mengandung komponen harmonisa disebut arus yang terdistorsi. Kandungan harmonisa gelombang arus dan tegangan dapat dinyatakan dalam suatu ukuran yang umum dipakai yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*) [20].

Untuk mengetahui dan memperbaiki kandungan harmonisa pada CV Tirta Windu Agung 3, maka langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi harmonisa yang terkandung pada sistem. Salah satu akibat dari harmonisa putusnya pengaman (*fuse*) pada kapasitor bank atau isolasi kapasitor menjadi lebih panas, sehingga bila terlalu melampaui batas dapat mengalami kerusakan pada kapasitor itu sendiri [21]. Untuk meredam harmonisa perlunya memasang filter, dengan tujuan untuk mereduksi mplitudo frekuensi tertentu dari sebuah tegangan dan arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin [22].Langkah yang perlu dilakukan untuk mengetahui batasan maksimum distorsi arus adalah dengan cara menentukan besar nilai I_{sc}/I_L sedangkan untuk mengetahui batasan maksimum distorsi tegangan bisa langsung dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014 [23]. Berikut merupakan spesifikasi trafo yang digunakan untuk analisis arus hubung singkat (ISC) dan

arus beban fundamental nominal (IL).

TABEL 3.8 SPESIFIKASI TRANSFORMATOR

Transformer Trafoindo Prima Perkasa 3 Phase, Dyn5					
No	Parameter	Nilai	No	Parameter	Nilai
1	Frequency	50 Hz	9	Serial No	173304548
2	Capacity	800 kVA	10	Year	2017
3	Voltage (HV)	20.kV	11	Standart	IEC-60076
4	Voltage (LV)	400 V	12	Cooling	ONAN
5	Current (HV)	23 A	13	Tem Rise Oil	60/65
6	Current (LV)	1154,7	14	Weigh of Oil	500 Kg
7	Insulation	A	15	Weight	2170
8	B.I.L	125 kV	16	Short Circuit	4

Analisis Total Harmonic Distortion (THD) dibutuhkan tabel standar IEEE 519-2014 dan atau juga bisa melihat tabel batas distorsi arus dan tegangan yang juga berpedoman pada IEEE 519-2014 [24]. THD dibagi menjadi dua macam, yaitu THDv dan THDi. Pada THDi, perhitungan nilai $\frac{I_{sc}}{I_L}$ perlu dilakukan untuk mengetahui apakah nilai THD dari pengukuran sudah sesuai standart atau tidak [25]. Berikut merupakan perhitungan $\frac{I_{sc}}{I_L}$.

$$I_{sc} = \frac{kVA \times 100}{\sqrt{3} \times kV \times Z} = \frac{800 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 4} = 28.867,5 \text{ A}$$

Pada CV TWA 3 pada tanggal 2 Juni 2023 dilakukan pengukuran dimana data yang didapatkan sebagai berikut.

Daya Semu : 116,47 kVA Daya Nyata : 110 kW

Daya Reaktif : 35,16 kVAR PF : 0,91

$$I_L = \frac{110}{\sqrt{3} \times 0,91 \times 0,4} = 174,47 \text{ A}$$

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{28.867,5 \text{ A}}{174,44 \text{ A}} = 165,4$$

Berdasarkan perhitungan $\frac{I_{sc}}{I_L}$ di atas, dapat diketahui bahwa nilai $\frac{I_{sc}}{I_L}$ sebesar 165,4. Sesuai standar IEEE 519-2014, nilai ISC IL pada range >1000 memiliki batasan nilai THDi yang diizinkan sebesar 15%. Tegangan nominal yang digunakan adalah 0,4 kV, maka THDv yang diizinkan sebesar 8%. PF hasil pengukuran menunjukkan nilai yang sudah sesuai standar yakni 0,91 sedangkan PF standar menurut PLN adalah 0,85 [26].

TABEL 3.9 IDENTIFIKASI NILAI HARMONISA

	THD (%)		Standar IEEE 519-2014	Keterangan
THDv	R-S	0,9	8%	Standar
	S-T	0,89		Standar
	T-R	1,04		Standar
	R-N	1,3		Standar
	S-N	1,13		Standar
	T-N	1,1		Standar
	L-L	1,03		Standar
	L-N	1,34		Standar
THDi	R	2,38	15%	Standar
	S	2,73		Standar
	T	2,84		Standar
	N	4,4		Standar

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Perhitungan audit awal didapatkan nilai IKE sebesar 13,42 kWh/m²/Tahun, nilai ini merupakan total keseluruhan dari bangunan dan tambak, masih termasuk kriteria sangat efisien. Berdasarkan hasil perhitungan audit rinci didapatkan sebelum perbaikan nilai 2,23 kWh/m²/Tahun. Nilai IKE tersebut masih termasuk kriteria sangat efisien atau memenuhi standar. Setelah dilakukan perbaikan menjadi 1,65 kWh/m²/Tahun. Peluang penghematan energi dilakukan pada sistem penerangan *indoor* dan *outdoor* dengan mengganti jenis lampu CFL (*compact fluorescent lamp*) dengan lampu LED philips. Berdasarkan perhitungan didapatkan penghematan biaya energi listrik sebesar Rp.41.736/hari sehingga diperoleh penghematan Rp 15.233.640/tahun. Berdasarkan perhitungan $\frac{I_{sc}}{I_L}$ diatas, dapat diketahui bahwa nilai $\frac{I_{sc}}{I_L}$ sebesar 165,4. Sesuai standar IEEE 519-2014, nilai ISC IL pada *range* >1000 memiliki batasan nilai THDI yang diizinkan sebesar 15%. Tegangan nominal yang digunakan adalah 0,4 kV, maka THDv yang diizinkan sebesar 8%. Berdasarkan tabel 3.9 THDv dan THDI dalam kondisi standart.

Referensi

- [1] I. Prakoso, "Audit Energi Listrik Pada Pabrik Produksi PT. Utama Multiniaga Indonesia di Kota Kudus," *Jurnal Teknik*, Vol 2, no. 3, p. 67-76, 2020.
- [2] K. Naimah, "Analisa Konsumsi Energi Dan Sistem Pencahayaan Gedung C Institut Teknologi Sumatera," *Journal Of Energy And Electrical Engineering*, Vol 2, no. 2, p. 1-5, 2021.
- [3] Rengganis, "Feasibility Study on Energy Audit and Data Driven Analysis Procedure for Building Energy Efficiency", Bench-Marking in Korea Hospital Building, Korea, 2019.
- [4] W. Kusuma, "Manajemen dan Efisiensi Energi," LP UNAS.Jakarta Selatan, 2020.
- [5] S. Riadi, "Audit Konsumsi Energi untuk Mengetahui Peluang Penghematan Energi Pada Gedung PT Indonesia Caps And Closures," *Jurnal PASTI*, Vol 3, p. 342-356, 2020.
- [6] A. Hermawan, "Audit Kelistrikan pada Gedung Administrasi Niaga (AB) dan Akuntansi (AC) Politeknik Negeri Malang," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 8, no. 1, p. 6-10, 2021.
- [7] G. Forda, "Audit Energi Listrik Berbasis Hasil Pengukuran Dan *Monitoring* Besaran Listrik Pada Gedung A Fakultas Teknik Unila," *Jurnal Teknologi Elektro*, Vol 15, no. 1, p. 33-38, 2021.
- [8] Standar Nasional Indonesia, SNI 03-6196-2000: Prosedur Audit Energi pada Bangunan dan Gedung. Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 2000.
- [9] Standar Nasional Indonesia, SNI 03-6575-2001: Tata cara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung. Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 2001.
- [10] M. F. Hakim, "Audit Energi dan Rekomendasi Penghematan Energi Listrik di Gedung Rumah Sakit," Vol. 10, no. 2, p. 136-141, 2023.
- [11] N.A. Purnami, "Analisis Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA) Yogyakarta," Vol 4, no. 2, p. 225-240, 2022.
- [12] Muhaimin, *Teknologi Pencahayaan*. Bandung: PT. Refika Aditama, 2010.
- [13] Standar Nasional Indonesia, SNI 7391: Tingkat Pencahayaan Jalan, Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 2008.
- [14] Mustaqim, "Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008," *Jurnal Setrum*, Vol 6, no. 2, p. 106-109, 2019.
- [15] F. Husnayain, "Analisis Perbandingan Kinerja Lampu LED, CFL, dan Pijar pada Sistem Penerangan Kantor," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol 6, no. 1, p. 78-83, 2023.
- [16] Muljono, "Identifikasi dan Pengolahan Kandungan Harmonisa Sinyal Arus pada Beban Listrik Mobile Berbasis Arduino UNO," Skripsi, Universitas Mataram, Indonesia, 2018.
- [17] A. Cahyani, "Analisis Pengaruh Harmonisa Beban Nonlinier Rumah Tangga Terhadap Hasil Penunjukan Kwh Meter Digital 1 Fasa," Skripsi, Universitas Brawijaya, Indonesia, 2020.
- [18] T. Koerniawan and A. W. Hasanah, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta", *kilat*, vol. 8, no. 2, p. 180-189, Oct. 2019.
- [19] K. Naimah, "Analisa Konsumsi Energi dan Sistem Pencahayaan Gedung C Institut Teknologi Sumatera. *Journal of Energy and Electrical Engineering*," Vol 2, no. 2, p. 1-5, 2019.
- [20] J. Sinaga, "Analisa Pengaruh Harmonisa Pada Pengoperasian Beban Listrik," *Jurnal Teknologi Energi Uda*, Vol 9, no. 2, p. 88-97, 2020.
- [21] A. M. Hamid, "Pembuatan Harmonic Filter pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Thyristor Anti-Paralel di Laboratorium Konversi Energi Elektrik Itn Malang," Skripsi, ITN, Indonesia, 2018.
- [22] IEEE, Std 519-2014: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. USA: New York, 2014.
- [23] S. Hussain, "Mitigation of Load Harmonics from Grid Connected Wind Turbine Using Shunt Active Power Filter", Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia, 2018.
- [24] A. A. Wicaksono, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Dan Nilai Tegangan Di Poltekkes Semarang," *Transient*, Vol 10, no. 2, p. 327-334, 2021.
- [25] M. F. Hakim, B. Y. V. Herman, and H. M. Himawan, "Audit Penerangan Pada Gedung A, B, dan C di Perguruan Tinggi," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 8, no. 2, p. 36-40, 2021, <https://doi.org/10.33795/elposys.v8i2.629>.
- [26] R. A. Ananto, R. Duanaputri, A. H. Santoso, and M. F. Hakim, "Perencanaan Desain Single Tuned Passive Filter Harmonisa Pada AC Microgrid Turbin Tenaga Angin," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 10, no. 1, p. 78-81, 2023, <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i1.1025>.