

## Audit Energi dan Peluang Penghematan Energi dengan Metode ANP-PROMETHEE (Studi Kasus : Trio Plaza Magelang)

Nadia Aulia Shidqi<sup>1</sup>, Deria Pravitasari<sup>2</sup>, Hery Teguh Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

E-mail: [nadia.aulia.shidqi@students.untidar.ac.id](mailto:nadia.aulia.shidqi@students.untidar.ac.id)<sup>1</sup>, [deria.pravitasari@untidar.ac.id](mailto:deria.pravitasari@untidar.ac.id)<sup>2</sup>,  
[hery.teguh.s@untidar.ac.id](mailto:hery.teguh.s@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

### Article History:

Received: 10 Januari 2023

Revised: 29 Januari 2023

Accepted: 30 Januari 2023

**Keywords:** *Energy Audits, Energy Consumption Intensity, Lighting Load, Anf, Promethee*

**Abstract:** *Trio Plaza Magelang is a shopping center that sells household needs. The energy audit in this study was focused on the lighting system. The purpose of this research is to find out the level of electrical energy consumption and to choose the best recommendation for electricity saving opportunities. And the results of the audit of electrical energy consumption at Trio Plaza Magelang obtained the total energy consumption value for the lighting system load of 7480 kWh/month, and supporting equipment loads of 18,316 kWh/month and the total value of Trio Plaza's energy consumption reached 25 796 kWh/month. energy saving using the ANP-PROMETHEE method.*

## PENDAHULUAN

Meningkatnya pembangunan di Indonesia mengakibatkan kebutuhan energi nasional semakin meningkat. Tercatat penjualan listrik pada Januari 2022 mencapai 22,45 GWh, meningkat 1,03% persen dari periode yang sama pada tahun lalu ([web.pln.co.id](http://web.pln.co.id)). Disisi lain penggunaan energi listrik pada industri sangatlah penting dan menempati bagian dalam menunjang operasional dan produktivitas pada bidang industri. Industri pusat perbelanjaan sangat bergantung pada tingkat kenyamanan konsumen. Sistem pencahayaan merupakan salah satu yang mempengaruhi dalam tingkat kenyamanan. Di lain sisi sistem pencahayaan menjadi salah satu penyumbang konsumsi energi listrik industri. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu dilakukan audit energi sehingga industri dapat mengetahui upaya yang harus dilakukan untuk penghematan energi listrik. Luaran dari audit energi yaitu adanya pengurangan tenaga listrik tanpa mengurangi produktivitas sehingga biaya rekening yang harus dibayar oleh perusahaan berkurang dan perusahaan mendapatkan banyak keuntungan dan meningkatkan kesejahteraan.

Trio Plaza merupakan tempat belanja modern yang menjual keperluan rumah tangga. Dalam operasionalnya, energi sangatlah penting, terutama dalam penggunaan energi listrik, porsi pemakaian serta alokasi dana untuk penyediaannya terbilang besar. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu dilakukan audit energi. Luaran dari audit energi yaitu adanya pengurangan tenaga listrik tanpa mengurangi produktivitas.

Putra and Ningrum (2019) melakukan penelitian tentang *Evaluation of energy saving opportunity of "CDE" mall building ground floor in Surabaya by analyzing the lighting system and cooling system*. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis sistem penerangan dan pendingin pada lantai dasar CDE mall Surabaya. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh hasil perbandingan intensitas penerangan, perbandingan daya penerangan dan perbandingan total beban

pendinginan dengan kapasitas AHU terpasang pada setiap tenant di lantai dasar CDE mall Surabaya. Penghematan sistem penerangan dilakukan setelah penggantian lampu yaitu sebesar 121.351 kWh/tahun, sehingga dapat menghemat Rp184.968.052 setiap tahun. Dan total pengurangan beban pendinginan dari seluruh tenant di CDE mall lantai dasar Surabaya yang diperoleh setelah mengganti kaca ganda dan lampu adalah sebesar 917.224,53 Btu/jam, sehingga dapat menghemat sebesar Rp. 1.943.698.698 setiap tahun.

Abidin and Churlillah (2018) melakukan penelitian tentang studi analisis audit energi untuk konservasi serta efisiensi listrik gedung Unisla dengan pendekatan metode MCDM–Promethee. Dari hasil perhitungan audit energi tersebut diperoleh skor Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik pada Gedung B sebesar 21,28 Kwh/m<sup>2</sup>/tahun dan di Gedung C adalah 37,59 Kwh/m<sup>2</sup>/tahun. Dari perhitungan tersebut skor IKE termasuk dalam kategori cukup efisien. Dalam penelitian ini upaya penghematan dilakukan dengan menggunakan metode MCDM-Promethee. Dari hasil pemeringkatan dapat diperoleh alternatif upaya penghematan di Gedung B dan Gedung C Universitas Islam Lamongan adalah mengubah SOP (*Standard Operating Procedure*) fasilitas gedung.

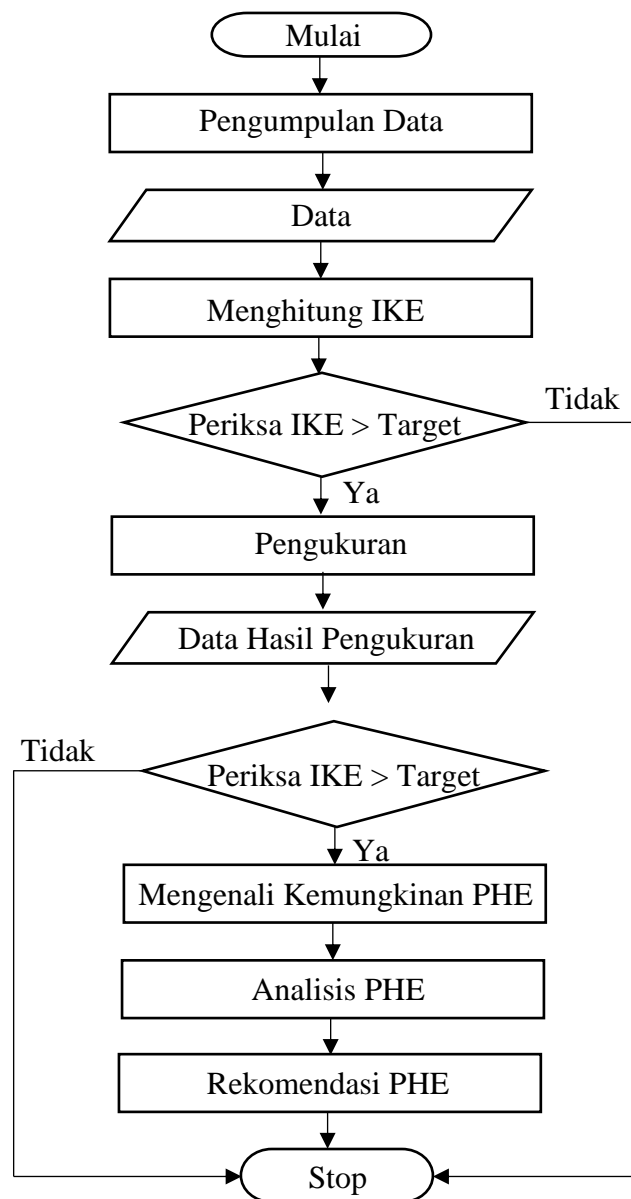
Christine Rita, dkk (2021) melakukan penelitian tentang *Energy Efficiency Gains by LED Luminaires in Common Areas' of Shopping Malls Through Transition From Fluorescent Lamps to LEDS: A Case of Mini-Mall, Kisumu, Kenya*. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa Desain tata letak telah disimulasikan untuk menentukan jumlah lumener yang diperlukan di mana CFL telah diganti menggunakan lumener LED yang berbeda di bagian yang berbeda. Desain tersebut diharapkan dapat menurunkan jumlah konsumsi energi sebesar 43% dan mengoptimalkan kualitas pencahayaan di area umum mall. Perkiraan periode pengembalian adalah 1,2 tahun.

Jing *et al.*, (2022) melakukan penelitian tentang *Energy-saving diagnosis model of central air-conditioning refrigeration system in large shopping mall*. Audit dimulai dengan mengusulkan model diagnosis hemat energi bangunan pusat perbelanjaan berdasarkan jaringan saraf PSO-SVM yang ditingkatkan. Pertama, data operasi dengan karakteristik hemat energi yang baik dipilih dari data historis konsumsi energi yang dikumpulkan dengan algoritma clustering sebagai basis data untuk pembentukan model. Kedua, algoritma Adaboost digunakan untuk mengoptimalkan jaringan syaraf tiruan PSO-SVM untuk menyelesaikan konstruksi model, dan data hemat energi digunakan untuk menyelesaikan pelatihan model. Melalui analisis dan verifikasi kasus, tingkat hemat energi dari model diagnosis hemat energi yang ditetapkan dalam makalah ini telah ditingkatkan dari - 1,1% menjadi 11,9%.

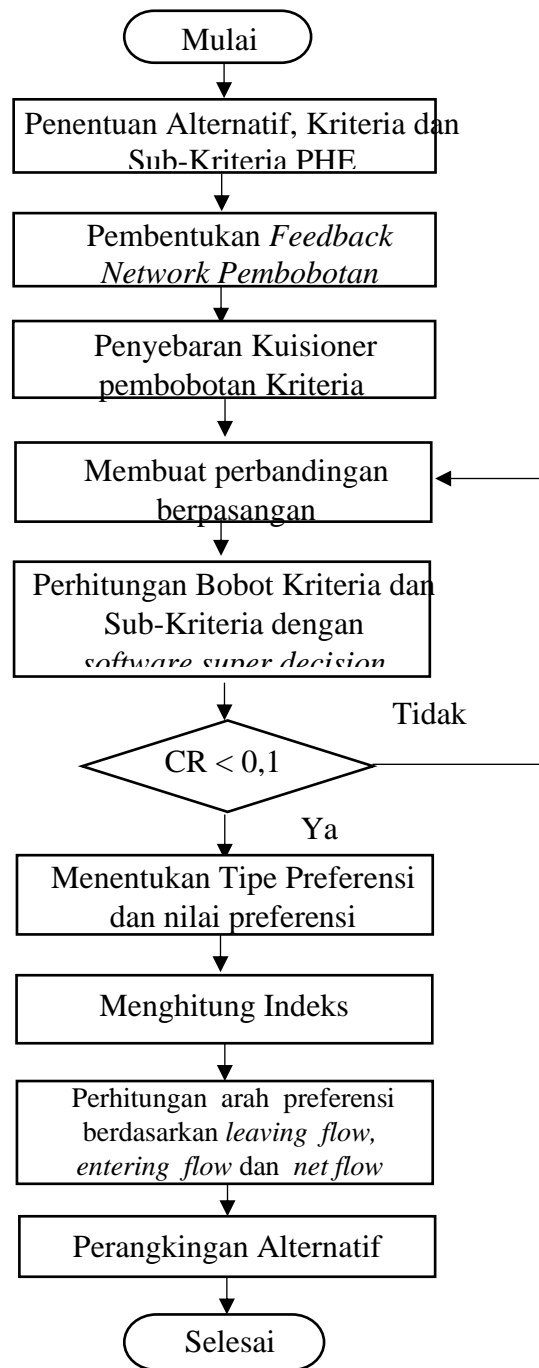
Berdasarkan latar belakang diatas, audit penggunaan energi listrik di Trio Plaza perlu dilakukan guna mengetahui tingkat konsumsi energi listrik dan memilih rekomendasi peluang penghematan energi listrik terbaik. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan audit menggunakan model PROMETHEE untuk memprediksi konsumsi energi. Namun pada penelitian audit energi dan analisis peluang penghematan energi pada bangunan Trio Plaza akan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) dan *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE). Kombinasi dari metode ANP-PROMETHEE mampu memberikan hasil penyaringan rekomendasi PHE yang tepat dan memperbaiki solusi terakhir secara baik dan optimal. Pertimbangan pemilihan rekomendasi PHE tidak hanya berdasarkan atribut secara umum seperti kegunaan, kemampuan, dan biaya. Akan tetapi juga mempertimbangkan dampak material pada lingkungan dan aspek budaya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan dimulai dari studi literatur untuk mempelajari konsep audit energi listrik, perhitungan intensitas konsumsi energi listrik (IKE), dan peluang penghematan energi listrik agar efisien.. Tahapan selanjutnya adalah eksplorasi peralatan listrik yang ada melalui observasi lapangan dan konservasi energi merupakan tahapan untuk meningkatkan efisiensi energi yang melibatkan analisis audit energi sesuai dengan standar yang ada dan jika melebihi target standar maka dicari solusi penghematan konsumsi energi dengan metode ANP-PROMETHEE. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melakukan audit energi ditunjukkan pada flowchart pada Gambar 1. Selanjutnya dilakukan analisis peluang penghematan energi melalui metode ANP-PROMETHEE yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian



Gambar 2. Flowchart Metode ANP-PROMETHEE

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Profil Biaya

Dalam kegiatan audit energi awal dibutuhkan beberapa data, seperti mengumpulkan data penggunaan energi serta biaya dalam jangka waktu satu tahun terakhir (November 2021- Oktober 2022), dan luas total bangunan. Data historis pembayaran tagihan rekening listrik Trio Plaza Magelang selama satu tahun terakhir (Nov 2021-Oktober 2022) tertera pada tabel 1.

**Tabel 1. Tagihan Listrik Trio Plaza Magelang**

Bulan-Tahun	Rp Tagihan	Konsumsi Daya (kWh)
Nov-21	Rp26.813.754	17.028
Dec-21	Rp25.308.948	16.072
Jan-22	Rp27.570.251	17.508
Feb-22	Rp27.791.971	17.649
Mar-22	Rp25.011.640	15.883
Apr-22	Rp29.875.644	18.972
May-22	Rp29.875.015	18.972
Jun-22	Rp30.398.453	19.304
Jul-22	Rp29.588.415	18.790
Aug-22	Rp31.117.157	19.760
Sep-22	Rp31.030.861	19.706
Oct-22	Rp29.784.311	18.914
Total kWh		218558

Berdasarkan Pada tabel 1 ditunjukkan biaya pembayaran tagihan rekening listrik dan konsumsi energi Trio Plaza Magelang selama satu tahun terakhir (Nov 2021-Oktober 2022). Selanjutnya dari data tersebut dilakukan perhitungan Intensitas konsumsi energi.

### Intensitas Konsumsi Energi

Berdasarkan data konsumsi energi Trio Plaza Magelang selama satu tahun terakhir (Nov 2021-Oktober 2022), selanjutnya menghitung intensitas konsumsi energi (IKE) Trio Plaza magelang. Hasil IKE Trio Plaza magelang tertera pada tabel 2.

**Tabel 2. Intensitas Konsumsi Energi**

Bulan-tahun	IKE (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)	Keterangan
Nov-21	2,63	Boros
Dec-21	2,49	efisien
Jan-22	2,71	Boros
Feb-22	2,73	Boros
Mar-22	2,46	efisien
Apr-22	2,93	Boros
May-22	2,93	Boros
Jun-22	2,99	Boros
Jul-22	2,91	Boros
Aug-22	3,06	Boros
Sep-22	3,05	Boros
Oct-22	2,92	Boros

Berdasarkan tabel 2. menunjukkan nilai intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada bulan Agustus merupakan nilai IKE tertinggi dari November 2021- Oktober 2022 dan nilai Intesitas Konsumsi Energi pada bulan Maret terkecil dari November 2021- Oktober 2022.

### Perhitungan konsumsi energi

Audit Penggunaan Energi Trio Plaza Magelang meliputi sistem pencahayaan, peralatan listrik lainnya. Ada empat lantai yang akan diaudit, yaitu lantai basement, lantai 1, lantai 2 dan lantai tiga. Audit pada bangunan tersebut di uraikan sebagai berikut;

#### 1. Lantai Basement

Lantai basement gedung trio plaza memiliki luas total bangunan 1.762,5 m<sup>2</sup> dengan

luas total ruangan terpakai 1.755,65 m<sup>2</sup>. Lantai basement beroperasi pukul 08.00-21.00. Hasil konsumsi energi pada lantai basement tertera pada tabel 3.

**Tabel 3. Perhitungan Konsumsi Energi Lantai Basement**

Total luas (m <sup>2</sup> )	1755,65
Total konsumsi energi (kWh)	4319,027
Total konsumsi energi sistem penerangan (kWh)	1.566
Total konsumsi energi peralatan penunjang (kWh)	2.753
IKE/bulan (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)	2,460072907
IKE/tahun (kWh/m <sup>2</sup> /tahun)	29,52087489
Kriteria	efisien
Rp Tagihan	6222422,199

Pada lantai basement Trio Plaza Magelang, konsumsi energi lantai basement pada sistem penerangan sebesar 1.566 kWh/bulan dengan biaya Rp2.256.136/bulan, untuk peralatan penunjang lainnya sebesar 2.753 kWh/bulan dengan biaya Rp3.966.862/bulan dan total konsumsi energi pada lantai basement sebesar 4.319,027 kWh/bulan dengan biaya Rp6.222.422/bulan.

2. Lantai 1

Lantai 1 gedung trio plaza memiliki luas total bangunan 1.640 m<sup>2</sup> dengan luas total ruangan terpakai 1.590 m<sup>2</sup>. Lantai 1 beroperasi pukul 08.00-21.00. Lantai 1 beroperasi pukul 08.00-21.00. Hasil konsumsi energi pada lantai 1 tertera pada tabel 4.

**Tabel 4. Perhitungan Konsumsi Energi Lantai 1**

Total luas (m <sup>2</sup> )	1589,7
Total konsumsi energi (kWh)	8142,3
Total konsumsi energi sistem penerangan (kWh)	2.568
Total konsumsi energi peralatan penunjang (kWh)	5.574
IKE/bulan (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)	5,121909794
IKE/tahun (kWh/m <sup>2</sup> /tahun)	61,46291753
Kriteria	sangat boros
Rp Tagihan	11730611,61

Pada lantai 1 Trio Plaza Magelang, konsumsi energi lantai 1 pada sistem penerangan sebesar 2.568 kWh/bulan dengan biaya Rp3.699.717/bulan, untuk peralatan penunjang lainnya sebesar 5.574 kWh/bulan dengan biaya Rp8.030.347/bulan dan total konsumsi energi pada lantai 1 sebesar 7.036,92 kWh/bulan dengan biaya Rp11.730.611/bulan.

3. Lantai 2

Lantai 2 gedung trio plaza memiliki luas total bangunan 1640 m<sup>2</sup> dengan luas total ruanganterpakai 1.639,8 m<sup>2</sup>. Lantai 2 beroperasi pukul 08.00-21.00. Hasil konsumsi energi pada lantai 2 tertera pada tabel 5.

**Tabel 5. Perhitungan Konsumsi Energi Lantai 2**

Total luas (m <sup>2</sup> )	1639,8
Total konsumsi energi (kWh)	6879,927
Total konsumsi energi sistem penerangan (kWh)	2.095
Total konsumsi energi peralatan penunjang (kWh)	4.785

IKE/bulan (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)	4,195589096
IKE/tahun (kWh/m <sup>2</sup> /tahun)	50,34706915
Kriteria	sangat boros
Rp Tagihan	9911910,829

Berdasarkan tabel 5. pada lantai 2 Trio Plaza Magelang, konsumsi energi lantai 2 pada sistem penerangan sebesar 2.095 kWh/bulan dengan biaya Rp3.018.266 /bulan, untuk peralatan penunjang lainnya sebesar 4.785 kWh/bulan dengan biaya Rp6.702.349/bulan dan total konsumsi energi pada lantai 2 sebesar 6.880 kWh/bulan dengan biaya Rp9.636.816 /bulan.

#### 4. Lantai 3

Lantai 3 gedung trio plaza memiliki luas total bangunan 1.640 m<sup>2</sup> dengan luas total ruangan terpakai 1.484,75 m<sup>2</sup>. Lantai 1 beroperasi pukul 08.00-21.00. Lantai 1 beroperasi pukul 08.00-21.00. Hasil konsumsi energi pada lantai 1 tertera pada tabel 6.

**Tabel 6. Perhitungan Konsumsi Energi Lantai 3**

Total luas (m <sup>2</sup> )	1484,75
Total konsumsi energi (kWh)	6455,3209
Total konsumsi energi sistem penerangan (kWh)	1.251
Total konsumsi energi peralatan penunjang (kWh)	5.205
IKE/bulan (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)	4,347749385
IKE/tahun (kWh/m <sup>2</sup> /tahun)	52,17299263
Kriteria	sangat boros
Rp Tagihan	9300180,821

Berdasarkan table 6 pada lantai 3 Trio Plaza Magelang, konsumsi energi lantai 3 pada sistem penerangan sebesar 1.251 kWh/bulan dengan biaya Rp1.803.007/bulan, untuk peralatan penunjang lainnya sebesar 5.205 kWh/bulan dengan biaya Rp7.290.643/bulan dan total konsumsi energi pada lantai 3 sebesar 6.479 kWh/bulan dengan biaya Rp9.300.180/bulan.

### Pengukuran Intensitas Cahaya

Analisis sistem pencahayaan pada Trio Plaza dilakukan dengan membandingkan pengukuran intensitas penerangan dengan standar yang ada pada SNI.

#### 1. Lantai Basement

Hasil perbandingan nilai pengukuran intensitas cahaya pada lantai basement dengan standar SNI 03-619-2000 ditunjukkan pada tabel 7.

**Tabel 7. Pengukuran Intensitas Cahaya Lantai Basement**

No	Ruang	Pengukuran Lux	Standar Lux	Keterangan
1	Halaman depan	50	60	kurang dari standar
2	Teras depan	58	60	kurang dari standar
3	Basement parkir 1	87	100	kurang dari standar
4	Basement parkir 2	108	100	Standar
5	MD & admin gudang	91	350	kurang dari standar
6	promosi	106	350	kurang dari standar
7	HRD	88	350	kurang dari standar
8	Inventory	69	350	kurang dari standar
9	ACC & Fin	87	350	kurang dari standar



10	Admin kasir	41	350	kurang dari standar
11	Gudang 14	64	100	kurang dari standar
12	KA OP	44	350	kurang dari standar
13	Server + back up	32	350	kurang dari standar
14	Ruang Meeting	144	300	kurang dari standar
15	Musholla	68	200	kurang dari standar
16	CCTV	48	350	kurang dari standar
17	Gudang promosi	117	100	Standar
18	Lorong kantor	67	100	kurang dari standar
19	Lorong karyawan	52	100	kurang dari standar
20	Gudang minyak	85	100	kurang dari standar
21	Gudang retur	43	100	kurang dari standar
22	Satpam	51	100	kurang dari standar
23	Tangga tengah	78	100	kurang dari standar
24	Tangga darurat	64	100	kurang dari standar
25	Toilet	130	250	kurang dari standar

Dari hasil perbandingan pengukuran dengan standar tingkat pencahayaan rata-rata SNI 6197 tahun 2000, didapatkan hasil beberapa ruangan masih belum memenuhi standar. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

2. Lantai 1

Hasil perbandingan nilai pengukuran dengan standar pada lantai 1 ditunjukkan pada tabel 8.

**Tabel 8. Pengukuran Intensitas Cahaya Lantai 1**

No	Ruang	Pengukuran Lux	Standar Lux	Keterangan
1	Teras	122	60	Standar
2	Fashion 1	158	500	kurang dari standar
3	Kamar pas 1	112	250	kurang dari standar
4	Kamar Pas 2	105	250	kurang dari standar
5	SPM 1	107	500	kurang dari standar
7	Kamar mandi	94	250	kurang dari standar
8	Gudang 1a	123	100	Standar
9	Gudang 1b	112	100	Standar
10	Gudang 1c	53	100	kurang dari standar
11	Gudang 1d	61	100	kurang dari standar
12	R. Laktasi	93	200	kurang dari standar
13	Tangga Belakang 1	78	100	kurang dari standar

Dari hasil perbandingan pengukuran dengan standar tingkat pencahayaan rata-rata SNI 6197 tahun 2000, didapatkan hasil beberapa ruangan masih belum memenuhi standar. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

3. Lantai 2

Hasil perbandingan nilai pengukuran dengan standar pada lantai 2 ditunjukkan pada tabel 9.

**Tabel 9. Pengukuran Intensitas Cahaya Lantai 2**

No	Ruang	Pengukuran Lux	Standar Lux	Keterangan
1	D'orange dalam	222	250	kurang dari standar
2	D'orange dapur	113	300	kurang dari standar
3	D'orange Kasir	107	250	kurang dari standar
4	D'orange smooking	192	250	kurang dari standar
5	tangga	68	100	kurang dari standar
6	fashion 2	232	500	kurang dari standar



7	Kamar pas 1	105	250	kurang dari standar
8	Kamar Pas 2	110	250	kurang dari standar
9	SPM 2	165	500	kurang dari standar
10	Toilet wanita 1	215	250	kurang dari standar
11	Toilet wanita 2	192	250	kurang dari standar
12	Toilet pria	205	250	kurang dari standar
13	wastafel	193	250	kurang dari standar

Dari hasil perbandingan pengukuran dengan standar tingkat pencahayaan rata-rata SNI 6197 tahun 2000, didapatkan hasil beberapa ruangan masih belum memenuhi standar. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

4. Lantai 3

Hasil perbandingan nilai pengukuran dengan standar pada lantai 3 ditunjukkan pada tabel 10.

**Tabel 10. Pengukuran Intensitas Cahaya Lantai 3**

No	Ruang	Pengukuran Lux	Standar Lux	Keterangan
1	Gudang Pojok	119	100	kurang dari standar
2	SPM 3	226	500	kurang dari standar
3	Genset	104	100	Standar
4	Toilet Pojok	194	250	kurang dari standar
5	Teras Atas Dalam	192	250	kurang dari standar
6	Teras Atas Dapur	232	300	kurang dari standar
7	Teras Atas Smooking	79	250	kurang dari standar
8	Musholla	99	200	kurang dari standar
9	Tangga Belakang 2	81	100	kurang dari standar
10	Toilet Musholla	105	250	kurang dari standar
11	Mr. Games	148	500	kurang dari standar

Dari hasil perbandingan pengukuran dengan standar tingkat pencahayaan rata-rata SNI 6197 tahun 2000, didapatkan hasil beberapa ruangan masih belum memenuhi standar. Maka dari itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

### Pengolahan Data ANP

1. Penentuan alternatif, kriteria dan sub-kriteria PHE

Alternatif :

- a. Pelatihan Sumber Daya Manusia (SDM)
- b. Penggunaan Teknologi Hemat Energi
- c. Perubahan Desain Bangunan
- d. Perubahan SOP Penggunaan Fasilitas

Kriteria PHE

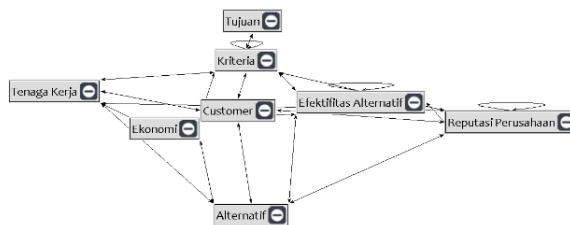
- a. Tenaga Kerja
- b. Ekonomi
- c. *Customer*
- d. Efektifitas Alternatif
- e. Reputasi Perusahaan

Sub Kriteria PHE

- a. Budaya Kerja
- b. Pelatihan Kerja
- c. Biaya Investasi

- d. Biaya Penghematan
  - e. Kenyamanan Pelanggan
  - f. Pencapaian
  - g. Brand & Reputation
2. Pembentukan feedback network pembobotan

Metode ANP memiliki hubungan saling berpengaruh antar masing-masing kriteria dengan sub kriteria masing-masing. Berdasarkan alternatif, kriteria dan sub-kriteria yang telah ditentukan, maka dibuat model jaringan ANP dengan menggunakan *software Super Decision*.



Gambar 3. Feedback Network ANP

Perbandingan berpasangan baik untuk antar kriteria maupun sub-kriteria dilakukan dengan pembagian kuesioner yang diberikan kepada responden pihak manajemen perusahaan yaitu bagian SPU General Affair Trio Plaza Magelang, Kuesioner ini dibuat untuk mengetahui hubungan ketergantungan antar sub-kriteria dengan menggunakan skala fundamental 1-9.

3. Hasil pembobotan metode ANP pada *Software Super Decision*

Dari data yang telah diolah dalam software Super Decisions, dapat diketahui bobot prioritas akhir untuk masing-masing kriteria dan sub-kriteria untuk pemilihan alternatif peluang hemat energi seperti yang tertera pada gambar 4.

Name	Normalized by Cluster	Limiting
Pelatihan SDM	0.16981	0.023175
Penggunaan Teknologi Hemat Energi	0.43742	0.059698
Perubahan Desain Banguna	0.14415	0.019673
Perubahan SOP Penggunaan Fasilitas	0.24863	0.033932
Kenyamanan Pelanggan	1.00000	0.112609
Pencapaian	1.00000	0.107357
Biaya Investasi	0.34941	0.026960
Biaya Penghematan	0.65059	0.050198
Customer	0.17969	0.042606
Efektifitas Alternatif	0.24408	0.057874
Ekonomi	0.18040	0.042775
Reputasi Perusahaan	0.20435	0.040454
Tenaga Kerja	0.19148	0.045401
Brand & Reputation	1.00000	0.140754
Budaya Kerja	0.42909	0.080900
Pelatihan Karyawan	0.30405	0.057325
Memilih Alternatif Peluang Hemat Energi	0.26687	0.050315

Gambar 4. Hasil Pembobotan Metode ANP

Nilai normalisasi untuk kluster didapatkan dari menormalisasi nilai sub-kriteria dalam satu kluster sehingga nilai prioritas dari faktor-faktor tersebut berjumlah satu.

4. Nilai limit untuk input PROMETHEE

Hasil bobot kepentingan atau nilai prioritas untuk masing-masing kriteria dan sub-

kriteria tersebut nantinya akan digunakan sebagai *input* untuk menentukan prioritas dengan metode Promethee.

**Tabel 11. Nilai Limit Pada Kriteria Dan Sub-Kriteria**

Kriteria		Sub-Kriteria	
Tenaga Kerja	0,055829574	Budaya Kerja	0,099482666
		Pelatihan Karyawan	0,070492507
Ekonomi	0,052600383	Biaya Investasi	0,033152691
		Biaya Penghematan	0,061728441
Customer	0,052392564	Kenyamanan Pelanggan	0,138467819
Efektifitas Alternatif	0,071167612	Pencahayaan	0,132016817
Reputasi Perusahaan	0,059583845	Brand & Reputation	0,173085082
$\Sigma$	0,291573978	$\Sigma$	0,708426022

Berdasarkan Tabel 10. menunjukkan nilai *normalized* dari masing-masing kriteria dan sub-kriteria, sebagai contoh untuk kriteria Ekonomi adalah 0,052600383 dan untuk sub-kriteria Biaya Investasi adalah 0,033152691, dan seterusnya. Kemudian nilai total dari penjumlahan seluruh nilai pada setiap kriteria dan sub-kriteria adalah 1.

### Perhitungan PROMETHEE

#### 1. Penentuan Nilai Kriteria terhadap Alternatif

Nilai kriteria tiap alternatif didapatkan berdasarkan data kualitatif dan kuantitatif tiap alternatif. Data kuantitatif didapatkan berdasarkan pembobotan dan nilai *judgement* pada masing-masing kriteria terhadap beberapa alternatif untuk mengetahui tingkat persentase pengaruh antara suatu kriteria dengan suatu alternatif. Data yang digunakan untuk nilai *judgement* pada kriteria dikategorikan sebagai estimasi kasar dengan skala 0-100. Nilai judgement untuk masing-masing kriteria pada setiap alternatif konservasi energi dapat dilihat pada tabel 12.

**Tabel 12. Nilai Kriteria Metode PROMETHEE**

No	Sub Kriteria	Alternatif			
		Pelatihan SDM (A1)	Penggunaan Teknologi Hemat Energi (A2)	Perubahan Desain Bangunan(A3)	Perubahan SOP Penggunaan Fasilitas (A4)
1	Kenyamanan Pelanggan (F1)	45	70	30	60
2	Pencahayaan (F2)	30	90	70	60
3	Biaya Investasi (F3)	70	90	80	45
4	Biaya Penghematan (F4)	40	80	70	70
5	Brand & Reputation (F5)	70	85	80	70
6	Budaya Kerja (F6)	85	70	50	70
7	Pelatihan Karyawan (F7)	85	50	40	80

Penentuan nilai *judgement* kriteria dilakukan dengan melakukan pengisian kuesioner yang dilakukan oleh pihak Trio Plaza Magelang yaitu oleh kepala *General Affair* dari Trio Plaza Magelang.

2. Penentuan Tipe Preferensi

Dalam metode Promethee terdapat enam tipe preferensi kriteria, yaitu kriteria biasa (tipe I), kriteria quasi (tipe II), kriteria dengan preferensi linier (tipe III), kriteria level (tipe IV), kriteria dengan preferensi linier dan area yang tidak berbeda (tipe V), serta kriteria *Gaussian* (tipe VI).

**Tabel 13. Tipe Preferensi**

No	Sub Kriteria	Tipe Preferensi	Alternatif			
			A1	A2	A3	A4
1	F1	IV	45	70	30	60
2	F2	IV	30	90	70	60
3	F3	IV	70	90	80	45
4	F4	IV	40	80	70	70
5	F5	IV	70	85	80	70
6	F6	IV	85	70	50	70
7	F7	IV	85	50	40	80

Tipe preferensi yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe IV. karena nilai dari masing-masing perbedaan memperlihatkan tahap perbedaan intensitas preferensi.

3. Penentuan Deviasi Preferensi

Nilai standar deviasi dari data nilai *judgement* untuk tiap sub-kriteria.

$$d(f_1) = f(A_1) - f(A_2)$$

**Tabel 14. Nilai Deviasi**

No	Perbandingan Alternatif Berpasangan	d(f1)	d(f2)	d(f3)	d(f4)	d(f5)	d(f6)	d(f7)
1	A1,A2	-25	-60	-20	-40	-15	15	35
2	A2,A1	25	60	20	40	15	-15	-35
3	A1,A3	15	-40	-10	-30	-10	-35	-45
4	A3,A1	-15	40	10	30	10	35	45
5	A1,A4	-15	-30	25	-30	0	15	5
6	A4,A1	15	30	-25	30	0	-15	-5
7	A2,A3	40	20	10	10	5	20	10
8	A3,A2	-40	-20	-10	-10	-5	-20	-10
9	A2,A4	10	30	45	10	15	0	-30
10	A4,A2	-10	-30	-45	-10	-15	0	30
11	A3,A4	-30	10	35	0	10	-20	-40
12	A4,A3	30	-10	-35	0	-10	20	40

4. Penentuan Nilai Preferensi

Nilai preferensi pada metode Promethee untuk mengetahui tingkat preferensi suatu kriteria terhadap kriteria yang lain.

Perhitungan nilai parameter (q dan p) untuk sub-kriteria.

diketahui:

$$d \text{ maks} = 60$$

$$d \text{ min} = 0$$

$$range = 60 - 0 = 60$$

Perhitungan nilai preferensi sebagai berikut:

$$q = 1/3 \times range$$

$$q = 1/3 \times 60 = 20$$

$$p = \text{range} - q$$

$$p = 60 - 20 = 40$$

Fungsi Preferensi IV adalah

$$H(d) = 0 \quad \text{jika } d < q$$

$$H(d) = 0,5 \quad \text{jika } q < d \leq p$$

$$H(d) = 1 \quad \text{jika } p < d$$

**Tabel 15. Nilai Preferensi**

No	Perbandingan Alternatif Berpasangan	H(d1)	H(d2)	H(d3)	H(d4)	H(d5)	H(d6)	H(d7)
1	A1,A2	0	0	0	0	0	0	0,5
2	A2,A1	0,5	1	0	1	0	0	0
3	A1,A3	0	0	0	0	0	0	0
4	A3,A1	0	0,5	0	0,5	0	0	1
5	A1,A4	0	0	0,5	0	0	0	0
6	A4,A1	0	0,5	0	0,5	0	0	0
7	A2,A3	0,5	0	0	0	0	0	0
8	A3,A2	0	0	0	0	0	0	0
9	A2,A4	0	0,5	1	0	0	0	0
10	A4,A2	0	0	0	0	0	0	0,5
11	A3,A4	0	0	0,5	0	0	0	0
12	A4,A3	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5

Nilai preferensi terendah akan menghasilkan nilai preferensi pada kuadran pertama dan nilai tertinggi akan menghasilkan nilai tertinggi pada kuadran ketiga.

5. Perhitungan indeks preferensi

Perhitungan indeks preferensi dalam metode Promethee yaitu dengan mengalikan nilai preferensi dengan nilai hasil *output* dari metode ANP. Perhitungan indeks preferensi sebagai berikut:

$$\phi(f_n) = \text{nilai preferensi} \times \text{nilai ANP}$$

- Indeks preferensi sub-kriteria F1 untuk perbandingan berpasangan A1,A2

$$\phi(f_1) = 0 \times 0,1126 = 0$$

**Tabel 16. Indeks Preferensi**

Perbandingan Alternatif Berpasangan	$\phi(f_1)$	$\phi(f_2)$	$\phi(f_3)$	$\phi(f_4)$	$\phi(f_5)$	$\phi(f_6)$	$\phi(f_7)$	Total
		0,13202	0,13202	0,03315	0,06173	0,1731	0,0995	
A1,A2	0	0	0	0	0	0	0,035246	0,035246
A2,A1	0,06601	0,13202	0	0,06173	0	0	0	0,259749
A1,A3	0	0	0	0	0	0	0	0
A3,A1	0	0,066008	0	0,03086	0	0	0,07049	0,167365
A1,A4	0	0	0,01658	0	0	0	0	0,016576
A4,A1	0	0,066008	0	0,03086	0	0	0	0,096873
A2,A3	0,06601	0	0	0	0	0	0	0,066004

A3,A2	0	0	0	0	0	0	0	0
A2,A4	0	0,066008	0,03315	0	0	0	0	0,099161
A4,A2	0	0	0	0	0	0	0,035246	0,035246
A3,A4	0	0	0,01658	0	0	0	0	0,016576
A4,A3	0,06601	0	0,01658	0	0	0	0,035246	0,117827

Tabel 16. menunjukkan nilai indeks preferensi. Rekapitulasi nilai indeks preferensi global adalah dengan menjumlahkan nilai preferensi global setiap perbandingan berpasangan.

**Tabel 17. Matriks Nilai Preferensi dari Setiap Preferensi**

Alternatif	A1	A2	A3	A4	Total
A1	-	0,035246	0	0,016576	0,0518226
A2	0,259749	-	0,066004	0,099161	0,42491454
A3	0,167365	0	-	0,016576	0,18394149
A4	0,096873	0,035246	0,117827	-	0,24994567
Total	0,523987	0,070492	0,1838308	0,1323138	

Berdasarkan data pada tabel 17 dapat diketahui perbandingan nilai preferensi antar masing-masing alternatif. Seperti contoh pada kolom pertemuan A1 dan A2 terdapat nilai sebesar 0,035246. Hal ini membuktikan bahwa A1 lebih disukai sebesar 0,035246 dibandingkan A2.

6. Perhitungan PROMETHEE I

Urutan parsial didasarkan pada nilai Leaving Flow ( $\phi^+$ ) dan Entering Flow ( $\phi^-$ ). Nilai terbesar Leaving Flow ( $\phi^+$ ) merupakan alternatif yang terbaik. Sementara pada Entering Flow ( $\phi^-$ ), nilai yang terkecil merupakan alternatif yang terbaik.

**Tabel 18. Perhitungan leaving flow dan entering Flow**

Alternatif	Leaving Flow	Rank	Entering Flow	Rank
A1	0,017274217	4	0,174662372	4
A2	0,14163818	1	0,023497533	1
A3	0,061313829	3	0,061276943	3
A4	0,083315223	2	0,0441046	2

Tabel 18 menunjukkan hasil perhitungan nilai *leaving flow* dan *entering flow*.

7. Perhitungan PROMETHEE II

*Net flow = leaving flow - entering flow*

**Tabel 19. Tabel Hasil Nilai Net Flow**

Alternatif	Net Flow	Rank
A1	-0,128866666	4
A2	0,097826666	1
A3	-0,001721667	3
A4	0,032761666	2

Berdasarkan tabel 19. menunjukkan urutan prioritas untuk pemilihan alternatif

peluang hemat energi. Dari tabel 19. dapat terlihat bahwa untuk urutan pertama baik untuk nilai *net flow* adalah alternatif kedua, yaitu Penggunaan Teknologi Hemat Energi. Kemudian secara berurutan untuk urutan kedua, ketiga dan keempat, yaitu alternatif keempat yaitu perubahan SOP penggunaan fasilitas, alternatif ketiga yaitu perubahan desain bangunan, kemudian yang terakhir adalah alternatif pertama yaitu pelatihan SDM. Sehingga hasil pemilihan alternatif peluang penghematan energi dengan metode ANP-Promethee didapatkan prioritas alternatif PHE yaitu Penggunaan Teknologi Hemat Energi.

Dari data hasil penelitian yang didapat baik melalui observasi dan perhitungan secara rinci menunjukkan konsumsi energi pada beban pencahayaan, dan beban peralatan penunjang masih terdapat ketidaksesuaian dengan standar yang berlaku. Dari 4 lantai yang ada pada Trio Plaza Magelang, hanya IKE lantai basement yang memiliki kriteria efisien sedangkan tiga lantai lainnya yaitu lantai 1, 2 dan 3 memiliki predikat sangat boros.

Nilai Intensitas cahaya pada masing-masing lantai juga terdapat ketidaksesuaian dengan standar yang berlaku. Sedangkan daya maksimum pencahayaan pada masing-masing lantai relatif tidak kurang dari batas maksimal dari daya maksimum pencahayaan. Penggunaan metode ANP dan Promethee untuk memilih alternatif peluang penghematan energi pada Trio Plaza Magelang menghasilkan alternatif yang dipilih yaitu Penggunaan Teknologi Hemat Energi dengan menggunakan perhitungan Promethee II.

## KESIMPULAN

Dari penelitian audit konsumsi energi listrik yang telah dilakukan pada Trio Plaza Magelang didapatkan hasil total konsumsi energi listrik pada beban sistem pencahayaan sebesar 7480 kWh/bulan, dan beban peralatan penunjang 18.316 kWh/bulan dan nilai total konsumsi energi Trio Plaza mencapai 25.796 kWh/bulan. Nilai Intensitas Cahaya Pada Trio Plaza Magelang tidak mencapai batas minimum standar intensitas cahaya. Rekomendasi Alternatif peluang penghematan energi dengan metode ANP-Promethee menghasilkan Alternatif dengan nilai bobot tertinggi yaitu alternatif penggunaan teknologi hemat energi. Dengan dilakukannya audit tersebut, bisa menjadi bahan pertimbangan Trio Plaza Magelang untuk mengelola konsumsi energi listrik secara efisien dengan menerapkan peluang penghematan energi yang direkomendasikan.

## DAFTAR REFERENSI

- Abidin, Z. and Churlillah, A. 2018 Studi Analisis Audit Energi Untuk Konservasi Serta Efisiensi Listrik Gedung Unisla dengan Pendekatan Metode MCDM-Promethee. 3(2), pp. 24–29.
- Jing, W. *et al.* 2022. Corrigendum to “Energy-saving diagnosis model of central air-conditioning refrigeration system in large shopping mall. *Energy Rep.* 7 (2021) 4035–4046] (*Energy Reports* (2021) 7 (4035–4046), (S2352484721004480), (10.1016/j.egyr.2021.06.083))’, *Energy Reports*. Elsevier Ltd, 8, p. 10812. doi: 10.1016/j.egyr.2022.05.001.
- Putra, A. B. K. and Ningrum, D. A. S. 2019. Evaluation of energy saving opportunity of CDE mall building ground floor in surabaya by analyzing the lighting system and cooling system’, *AIP Conference Proceedings*, 2088. doi: 10.1063/1.5095325.
- Gupta, S., Kamra, R., Swaroopa, M. and Sharma, A., 2018, October. Energy audit and energy conservation for a hostel of an engineering institute. In *2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)* (pp. 8-12). IEEE.
- A. Severinsen, Myrland. 2021. *Statistical learning to estimate energy savings from retrofitting in the Norwegian food retail market, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume



167,112691, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112691>.

- Kostyrko, dkk. 2021. Ukrainian market of electrical energy: Reforming, financing, innovative investment, efficiency analysis, and audit. *Energies*, vol. 14, no. 16, pp. 1–17, 2021.
- Oço, E.R.G., Sousa, J.M.C. & Branco, P.J.C. 2021. *Improving the energy efficiency of aging retail buildings: a large department store in Lisbon as case study*. *Energy Syst* 12, 1081-1111.
- C. R. Adhiambo, P. M. Moses and A. M. Nyete, 2021. *Energy Efficiency Gains by LED Luminaires in Common Areas' of Shopping Malls Through Transition From Fluorescent Lamps to LEDS: A Case of Mini-Mall, Kisumu, Kenya*, IEEE PES/IAS PowerAfrica, pp. 1-5, doi: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543432.
- A. B. K. Putra and D. A. S. Ningrum. 2019. *Evaluation of energy saving opportunity of CDE mall building ground floor in surabaya by analyzing the lighting system and cooling system*. *AIP Conf. Proc.*, vol. 2088, 2019.
- E. R. G. Poço, J. M. C. Sousa, and P. J. C. Branco. 2021. *Improving the energy efficiency of aging retail buildings: a large department store in Lisbon as case study*. vol. 12, no. 4. Springer Berlin Heidelberg.
- Prakoso, Imam Arief.(2020). *Audit Energi Listrik di Gedung Bintaro Jaya Exchange Mall*. Universitas Mercu Buana.
- Andini, dkk. 2020. *Analisis Audit Energi Sistem Tata Udara Pada Chiller , Cooling Tower , dan Air Handling Unit di Gedung Transmart Buah Batu*. no. 1, pp. 26–27, 2020.