Analisis Statistik Konsumsi Energi Listrik Pada Bangunan Gedung Yayasan Widya Dharma Pontianak

Paskalia Kartini

Magister Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak,
 Staf Pengajar Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Widya Dharma
 e-mail : paskalia_k@yahoo.com

Abstract— Sektor utama yang menggunakan energi listrik terbesar di suatu negara adalah sektor industri, sektor transportasi, sektor rumah tangga, sektor komersial dan lain-lain. Bangunan/gedung merupakan subsektor dari sektor komersial sehingga perlu adanya suatu usaha konservasi energi listrik dalam rangka mengefisienkan konsumsi energi listrik dengan cara melihat peluang hemat energi. Penelitian ini dilaksanakan pada bangunan gedung Yayasan Widya Dharma Pontianak, yaitu dengan melakukan audit energi mengenai tingkat konsumsi energi listrik yang dilihat dari tingkat parameter Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Dari hasil penelitian dan analisis statistik dengan ANOVA diketahui bahwa nilai IKE gedung A 87,49 kWh/m²/Tahun, gedung B 50,82 kWh/m²/Tahun serta gedung C 36 kWh/m²/Tahun dan nilai IKE tersebut masih signifikan serta berada dalam kategori efisien sesuai dengan standar ESDM&JICA Electric Power Development Co.,LTD bahwa IKE gedung komersial adalah 198,2 kWh/m²/Tahun. Peluang Hemat Energi masih dapat dilakukan dengan mengganti AC lama dengan AC inverter dengan nilai Net B/C ratio 1,12 dan IRR 60,41%.

Keywords- Konservasi Energi Listrik, IKE, Konservasi Energi Listrik, IKE Uji Signifikansi, Analisis Ekonomis

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik akan semakin meningkat mengikuti perkembangan dan pertumbuhan ekonomi, sedangkan hal tersebut tidak diimbangi oleh suplai energi listrik yang cukup. Menurut Data Outlook Energi Indonesia 2013 disebutkan bahwa pertumbuhan kebutuhan akan energi pada tahun 2011 – 2030 diperkirakan sebesar 4,7% pertahun naik, dari sebelumnya yang rata-rata sebesar 3% pertahun [1]. Ada lima sektor utama yang menjadi pengkonsumsi energi listrik terbesar di suatu negara yaitu sektor transportasi, sektor rumah tangga, sektor industri, sektor komersial dan lain-lain. Bangunan/gedung merupakan subsektor dari sektor komersial [2].

Untuk mengetahui besarnya konsumsi energi listrik pada sektor bangunan gedung digunakan parameter indikator efisiensi energi dengan menggunakan nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Agar tidak terjadi pemborosan konsumsi energi listrik, Departemen Pertambangan dan Energi, membuat

petunjuk teknis konservasi energi pada bangunan gedung pengkonsumsi energi yang cukup besar misalnya swalayan, rumah sakit, gedung perkantoran/pendidikan dan lain-lain.

Audit energi pada bangunan gedung dilakukan untuk mengetahui pola kebutuhan konsumsi energi pada bangunan gedung dan dilakukan analisis lebih lanjut (analisis statistik) serta untuk mendapatkan peluang hemat energi (PHE) pada bangunan gedung tersebut sehingga konsumsi energi listrik pada bangunan tersebut bisa lebih efisien dan menghemat biaya.

Pada penelitian ini akan dilaksanakan audit energi awal di bangunan gedung Yayasan Widya Dharma Pontianak yang terdiri dari 3 gedung (gedung A, gedung B dan gedung C) di Jalan H.O.S. Cokroaminoto, Pontianak. Audit energi ini hanya dilakukan pada pencahayaan (lampu) dan alat pendingin (AC) pada gedung tersebut.

empat Pelaksanaan penelitian dilakukan di Bangunan Gedung Yayasan Widya Dharma. Ada tiga gedung yang dijadikan objek yaitu gedung A, gedung B dan gedung C. Beban yang terpasang pada masing-masing adalah gedung A 82,5 kVA, gedung B 41,5 kVA, dan gedung C 66 kVA. Sumber data berasal dari PT.PLN berupa pemakaian daya listrik per-bulan selama dua tahun, beban harian yang dicatat per-jam selama satu minggu. Untuk data fisik bangunan didapat dari bagian umum / pengelola gedung yang diperlihatkan pada Tabel 1 untuk gedung A, Tabel 2 untuk gedung B dan Tabel 3 untuk gedung C.

Tabel 1. Data Luas Bangunan Gedung A

LANTAI	ROOM (m ²)	NON ROOM (m ²)	TOTAL (m ²)
Lantai 1 (Basement)	-	512	512
Lantai 2 (Bagian Keuangan)	384	40,8	424,8
Lantai 3 (Ruang Kelas)	384	40,8	424,8
Lantai 4 (Ruang Kelas)	384	40,8	424,8
Lantai 5 (Perpustakaan)	384	54,4	443,2
Lantai 6 (Aula)	448	-	448
Toilet	64	-	64

Tabel 2. Data Luas Bangunan Gedung B

LANTAI	ROOM (m ²)	NON ROOM (m ²)	TOTAL (m ²)
Lantai 1 (Basement)	-	217,6	217,6
Lantai 2 (Bagian Umum)	153,6	83,2	236,8
Lantai 3 (Ruang Pimpinan)	153,6	83,2	236,8
Lantai 4 (Ruang Kelas)	156,16	41,92	198,08
Lantai 5 (Ruang Kelas)	190,08	41,92	232
Toilet	40,32	-	40,32

Tabel 3. Data Luas Bangunan Gedung C

LANTAI	ROOM (m ²)	NON ROOM (m ²)	TOTAL (m ²)
Lantai 1 (Cyber)	232,96	-	232,96
Lantai 2 (Sekretariat)	224	-	224
Lantai 3 (Ruang Kelas)	181,44	47,36	228,8
Lantai 4 (Ruang Kelas)	181,44	47,36	228,8
Toilet	32	-	32

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2. LANDASAN TEORI

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang dinyatakan dalam Watt Hour. Energi yang digunakan oleh peralatan listrik secara matematis ditulis menjadi:

$$\text{Energi} = \text{Daya} \times \text{Waktu} \quad (1)$$

dimana :

Energi = energi listrik yang dikonsumsi peralatan listrik (Watt Hour)

Daya = daya peralatan listrik (Watt)

Waktu = waktu selama peralatan digunakan (Hour)

Tarif dasar listrik (TDL) merupakan tarif yang dikenakan kepada konsumen yang menggunakan energi listrik yang bersumber dari **PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN). Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 09 Tahun 2014**, tarif tenaga listrik ditetapkan berdasarkan golongan tarif, sebagai berikut:

1. Untuk keperluan pelayanan sosial (S)
2. Untuk keperluan rumah tangga (R)
3. Untuk keperluan bisnis (B)
4. Untuk keperluan industri (I)
5. Untuk keperluan kantor pemerintah dan penerangan jalan umum.
6. Untuk keperluan traksi pada tegangan menengah, dengan daya diatas 200 kVA (T/TM) diperuntukkan bagi perusahaan perseroan (Persero) PT. Kereta Api Indonesia.[3]

Daya listrik menurut Goris Seran Daton (2007) adalah jumlah energi listrik yang digunakan tiap satuan waktu dalam detik dan dinyatakan dalam satuan Watt. Secara matematis ditulis sebagai:[4]

$$P = V \times I \quad (2)$$

dimana :

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

Daya sebenarnya yang dikonsumsi oleh peralatan listrik adalah:

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \phi \quad (3)$$

dimana :

P = daya nyata/daya aktif (Watt)

V_{rms} = tegangan (Volt)

I_{rms} = arus listrik (Ampere)

ϕ = sudut yang dibentuk oleh arus dan tegangan

Pada bangunan gedung, sistem konsumsi energi dapat dikelompokkan pada empat konsumsi energi listrik terbesar yaitu, AC, pencahayaan, transportasi gedung dan peralatan kantor lainnya. Persentase penggunaan energi listrik pada gedung komersial ditunjukkan pada Tabel 4.[5].

Tabel 4. Persentase Penggunaan Energi di Gedung

Penggunaan Energi	Persentase
Sistem AC	60%
Sistem pencahayaan	20%
Sistem transportasi	10%
Alat-alat lain	10%

Audit energi merupakan aktivitas pemeriksaan berkala untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan dalam suatu kegiatan penggunaan energi, menentukan langkah perbaikannya serta mengevaluasi tingkat kelayakannya. Monitoring konsumsi energi secara teratur merupakan keharusan untuk mengetahui besarnya energi yang digunakan pada setiap bagian selama selang waktu tertentu sehingga usaha konservasi energi dapat dilakukan.

Berdasarkan ruang lingkup audit energi yang dilakukan maka dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu audit energi awal dan audit energi rinci. Audit energi awal berupa pengumpulan data gedung dan tidak memerlukan pengukuran dalam pengumpulan datanya, data yang diperlukan yaitu data jenis bangunan dan ukuran ruangan, data rekening listrik. Dari data awal dapat dihitung:

1. Rincian luas bangunan (m²).
2. Konsumsi energi listrik bulanan (kWh/bulan).
3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung (kWh/m²).
4. Biaya energi listrik (Rp/kWh).

Audit energi rinci dilakukan jika nilai IKE dari hasil audit energi awal lebih besar dari nilai standar yang telah ditetapkan, dengan cara:

1. Membandingkan nilai IKE awal dengan IKE target.
2. Mengidentifikasi peluang konservasi energi yang

bisa dilakukan.

IKE adalah pembagian antara konsumsi energi listrik dengan setiap satuan luas bangunan gedung pada kurun waktu tertentu (pertahun atau perbulan). Rumus untuk menghitung IKE pertahun adalah: [6].

$$IKE = \frac{\text{Energi yang digunakan (kWh/tahun)}}{\text{luas bangunan (m}^2\text{)}} \quad (4)$$

Perhitungan nilai IKE bulanan dengan rumus:

$$IKE = \frac{\text{Energi yang digunakan (kWh/bulan)}}{\text{luas bangunan (m}^2\text{)}} \quad (5)$$

Nilai IKE yang dipergunakan sebagai acuan pada masing-masing jenis bangunan gedung, bersifat dinamis dan dapat berubah berdasarkan hasil penelitian terbaru mengikuti perkembangan teknologi peralatan hemat energi dan tingkat kesadaran hemat energi pengguna bangunan gedung. Tabel 5. Memperlihatkan nilai IKE standar pada bangunan gedung dari berbagai sumber.

Tabel 5. IKE Listrik Hasil Penelitian ASEAN-USAID [7]

Sumber	IKE (KWH/m ² /tahun)	Tahun Pengeluaran Standar
ASEAN-USAID	240	1987
ESDM&JICA Electric Power Development Co.,LTD	198,2	2008
Berdasarkan GBCI (Konsul Bangunan Hijau Indonesia)	250	2010
Peraturan Gubernur DKI Jakarta No.38 tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau	210 - 285	-

Nilai IKE dapat dijadikan standar mengenai konsumsi energi listrik pada bangunan seperti diperlihatkan pada Tabel 6. [8]

Tabel 6. Kriteria Nilai IKE Pada Konsumsi Energi Listrik

Kriteria	Konsumsi Energi Listrik Bulanan (kWh/m ² /bln)	
	Ber-AC	Tidak Ber-AC
Sangat Efisien	4,71 - 7,92	
Efisien	7,92 - 12,08	0,84 - 1,67
Cukup Efisien	12,08 - 14,58	1,67 - 2,5
Agak Boros	15,58 - 19,17	
Boros	19,17 - 23,75	2,5 - 3,34
Sangat Boros	23,75 - 37,5	3,34 - 4,17

Sumber: Pedoman Pelaksanaan Konsepsi Energi dan Pengawasan di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, 2006

Korelasi merupakan teknik statistik yang digunakan untuk menguji ada tidaknya hubungan antara dua atau lebih variabel, juga untuk melihat arah hubungan bersifat positif (berbanding lurus) atau negatif (berbanding terbalik). Koefisien korelasi ganda dirumuskan sebagai :

$$R_{x_1x_2y} = \frac{(r_{x_1y})^2 + (r_{x_2y})^2 - 2 \cdot r_{x_1y} \cdot r_{x_2y} \cdot r_{x_1x_2}}{1 - (r_{x_1x_2})^2} \quad (6)$$

dimana :

$R_{x_1x_2y}$ = korelasi antara variabel x_1 dan x_2 pada y

r_{x_1y} = korelasi antara variabel x_1 terhadap y

r_{x_2y} = korelasi antara variabel x_2 terhadap y

$r_{x_1x_2}$ = korelasi antara variabel x_1 terhadap x_2

Hubungan antara koefisien korelasi (R) diperlihatkan dalam Tabel.7

Tabel 7. Tingkat Hubungan Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,1999	Sangat rendah
0,20 – 0,3999	Rendah
0,40 – 0,5999	Cukup
0,60 – 0,7999	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

Untuk pengujian signifikan koefisien korelasi ganda dengan menggunakan rumus: [9]

$$F_{\text{hitung}} = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \quad (7)$$

dimana :

F_{hitung} = tingkat signifikansi korelasi ganda

R = koefisien korelasi ganda

k = jumlah variabel independen

n = jumlah sampel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang analisis konsumsi energi listrik pelaksanaannya di gedung Yayasan Widya Dharma Pontianak. Pengambilan data penelitian dilakukan pada tiga gedung bangunan yaitu gedung A, gedung B dan gedung C. Rata-rata konsumsi energi listrik pada masing-masing gedung diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Konsumsi Energi Listrik Per-Gedung

GEDUNG	TOTAL KONSUMSI ENERGI LISTRIK	RATA-RATA KONSUMSI PER-BULAN
Gedung A	408634 KWH	15134,59 KWH
Gedung B	91929 KWH	3404,78 KWH
Gedung C	75980 KWH	2814,074 KWH

Untuk perbandingan konsumsi energi listrik antar gedung diperlihatkan dalam Gambar 2.

Gambar 2. Perbandingan konsumsi energi listrik

Dari Gambar 2. memperlihatkan bahwa gedung A mempunyai tingkat konsumsi energi listrik yang terbesar dibandingkan dengan gedung B dan C, sedangkan konsumsi energi listrik pada gedung B dan C relatif hampir sama. Hal ini terjadi karena pada gedung A terdapat *Lift Elevator* yang mengkonsumsi energi listrik yang besar. Untuk perbandingan konsumsi energi listrik selanjutnya pada ketiga gedung hanya dibatasi pada konsumsi Lampu dan AC (*Air Conditioner*).

Analisis data kebutuhan energi listrik pada bangunan gedung A pada Tabel 9., gedung B pada Tabel 10 dan gedung C pada Tabel 11.

Tabel.9 Total Kebutuhan Energi Listrik per-hari di Gedung A

Lantai	Jumlah Lampu (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya Lampu	Jumlah AC (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya AC	Total Daya (KWh)	Luas Bangunan (m ²)
1	10	12	1,680	-	-	-	1,68	512
2	63	8	9,072	8	8	53,76	62,832	424,8
3	80	13	18,720	8	13	87,36	106,08	424,8
4	80	13	18,720	8	13	87,36	106,08	424,8
5	80	14	20,160	8	14	94,08	114,24	443,2
6	60	1	1,080	8	5	20	21,080	448
Total	363	49	67,752	36	36	342,36	410,312	2165,6

Tabel.10 Total Kebutuhan Energi Listrik per-hari di Gedung B

Lantai	Jumlah Lampu (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya Lampu	Jumlah AC (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya AC	Total Daya (KWh)	Luas Bangunan (m ²)
1	7	11	1,078	-	-	-	1,078	217,6
2	51	6	5,508	8	7	47,04	52,548	236,8
3	63	6	6,804	9	8	60,48	67,284	236,8
4	42	5	3,780	6	5	25,20	28,98	198,08
5	36	8	5,184	6	5	25,20	30,384	232
Total	192	25	22,276	29	23	137,92	179,196	903,68

Tabel.11 Total Kebutuhan Energi Listrik per-hari di Gedung C

Lantai	Jumlah Lampu (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya Lampu	Jumlah AC (Qty)	Lama Operasi (Hour)	Total Daya AC	Total Daya (KWh)	Luas Bangunan (m ²)
1	21	10	2,94	7	10	42	44,94	232,96
2	36	5	3,24	7	7	41,16	44,4	224
3	69	5	6,21	6	5	25,2	31,41	228,8
4	69	5	6,21	3	5	12,6	18,81	228,8
Total	195	25	18,6	23	27	120,96	139,36	914,56

secara rinci diperlihatkan dalam Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.

Gambar 3. Kebutuhan listrik harian gedung A

Gambar 4. Kebutuhan listrik harian gedung B

Gambar 5. Kebutuhan listrik harian gedung C

Berdasarkan Tabel 4. Tentang persentase penggunaan energi listrik pada bangunan gedung untuk komponen lampu sebesar 20%. Dan untuk AC sebesar 60%, maka Secara visual diperlihatkan perbandingan persentase konsumsi energi listrik untuk lampu pada Gambar 6 dan AC pada Gambar 7.

Gambar 6. Perbandingan konsumsi energi listrik pada lampu

Gambar 7. Perbandingan konsumsi energi listrik pada AC

Penentuan nilai parameter IKE pada masing-masing gedung diperlihatkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Perbandingan nilai IKE pada gedung

Dari Gambar 6 memperlihatkan bahwa nilai IKE gedung A, gedung B dan gedung C berada jauh dibawah batas standar IKE ASEAN-USAID 1992, yaitu standar untuk kategori bangunan gedung perkantoran (komersial) sebesar 240 Kwh/m²/tahun. Jika dilihat perbandingan nilai IKE dari tahun 2016 dan tahun 2017, terjadi trend peningkatan nilai IKE, meskipun masih dibawah standar yang ditetapkan.

4. Uji ANOVA

Pengujian nilai Intensitas Konsumsi Energi gedung Yayasan Widya Dharma ditinjau dari konsumsi energi listrik pada lampu/pencahayaan, pada Tabel 11.

Tabel 11. Data IKE Bangunan Gedung

BULAN	KWH				IKE			
	TOTAL	LAMPU	AC	LAINNYA	TOTAL	LAMPU	AC	LAINNYA
September 2015	18462	2479.4466	12536.25	3446.30154	8.525	1.145	5.789	1.591
Oktober 2015	16846	2235.5578	11303.13	3107.30882	7.687	1.032	5.219	1.435
November 2015	15545	2087.6935	10555.52	2901.78515	7.178	0.964	4.874	1.340
Desember 2015	11076	1487.5068	7520.936	2067.55632	5.115	0.687	3.473	0.955
Januari 2016	11924	1601.3932	8096.754	2225.85308	5.506	0.739	3.739	1.028
Februari 2016	11506	1545.2558	7812.919	2147.82502	5.313	0.714	3.608	0.992
Maret 2016	15639	2100.3177	10619.35	2919.33213	7.222	0.970	4.904	1.348
April 2016	14434	1938.4862	9801.119	2694.39478	6.665	0.895	4.526	1.244
Mei 2016	15127	2031.5561	10271.69	2823.75709	6.985	0.938	4.743	1.304
Juni 2016	12515	1680.7645	8498.06	2336.17505	5.779	0.776	3.924	1.079
Juli 2016	10916	1466.0188	7412.291	2037.68972	5.041	0.677	3.423	0.941
Agustus 2016	13382	1797.2026	9086.773	2498.01794	6.173	0.830	4.196	1.153
September 2016	16121	2433.6503	12304.7	3362.64707	8.368	1.124	5.662	1.562
Oktober 2016	16511	2217.4273	11211.46	3082.10837	7.624	1.024	5.177	1.423
November 2016	17366	2332.2538	11792.03	3241.71122	8.019	1.077	5.445	1.497
Desember 2016	12459	1673.2437	8460.035	2325.72153	5.753	0.773	3.907	1.074
Januari 2017	12093	1624.0899	8211.51	2257.40031	5.584	0.750	3.792	1.042
Februari 2017	13609	1827.6887	9240.919	2540.39203	6.284	0.844	4.267	1.173
Maret 2017	16854	2263.4922	11444.37	3146.13618	7.783	1.045	5.285	1.453
April 2017	14116	1895.7788	9585.187	2635.03372	6.518	0.875	4.426	1.217
Mei 2017	16373	2198.8939	11117.76	3056.34791	7.560	1.015	5.134	1.411
Juni 2017	12070	1621.001	8195.892	2253.1069	5.574	0.749	3.785	1.040
Juli 2017	12750	1712.325	8657.633	2380.0425	5.888	0.791	3.998	1.099
Agustus 2017	16740	2246.182	11368.96	3124.8558	7.730	1.038	5.249	1.443
September 2017	21090	2832.387	14320.74	3936.8703	9.739	1.308	6.613	1.818
Oktober 2017	18300	2457.69	12426.25	3416.061	8.450	1.135	5.738	1.577
November 2017	23010	3090.243	15624.48	4295.2767	10.625	1.427	7.215	1.983

berdasarkan standar nilai IKE untuk bangunan gedung ber-AC, yaitu:

1. Hipotesis

“ H_0 : “Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C belum memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan

“ H_1 : “Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan”

2. $\alpha = 0,05$

3. Kriteria uji

H_0 ditolak jika $|f_{hitung}| > f_{tabel}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

4. Rasio Uji menggunakan ANOVA

Tabel 12. Hasil Anova Pada Lampu

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
GEDUNG A	27	25.341497	0.938574	0.03656074		
GEDUNG B	27	19.96705	0.7395204	0.07757615		
GEDUNG C	27	16.473577	0.6101325	0.00641673		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
LAMPU	1.4781364	2	0.7390682	18.3918543	2.86E-07	3.11379226
ERROR	3.1343942	78	0.0401845			
Total	4.6125306	80				

Pengambilan keputusan

a. Nilai f hitung (18,3918543) > f tabel (3,11379226), maka H_0 ditolak

b. Nilai $p\text{-value}$ (0,000000286) < α (0,05), maka H_0 ditolak.

Kesimpulannya adalah nilai Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C jika ditinjau dari komponen lampu/pencahayaan memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan.

Pengujian nilai Intensitas Konsumsi Energi gedung Yayasan Widya Dharma ditinjau dari konsumsi energi listrik pada AC, berdasarkan standar nilai IKE untuk bangunan gedung ber-AC, yaitu:

1. Hipotesis

“ H_0 : “Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C belum memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan

“ H_1 : “Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan”

2. $\alpha = 0,05$

3. Kriteria uji

H_0 ditolak jika $|f_{hitung}| > f_{tabel}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

4. Rasio Uji menggunakan ANOVA

Tabel 13. Hasil Anova Pada AC

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
GEDUNG A	27	128.1283	4.745494	0.93463248		
GEDUNG B	27	141.5496	5.242577	3.898680044		
GEDUNG C	27	107.131	3.967815	0.271374045		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
AC	22.29206	2	11.14603	6.550467949	0.002346	3.113792
ERROR	132.7219	78	1.701562			
Total	155.0139	80				

Pengambilan keputusan

a. Nilai f hitung (6,550467949) > f tabel (3,11379226), maka H_0 ditolak

b. Nilai $p\text{-value}$ (0,002346) < α (0,05), maka H_0 ditolak.

Kesimpulannya adalah nilai Intensitas Konsumsi Energi pada bangunan gedung A, B dan C jika ditinjau dari komponen AC memenuhi standar nilai IKE yang telah ditetapkan.

Untuk menguji dan memperkirakan korelasi variabel bebas lampu (X_1) dan AC (X_2) terhadap variabel terikat nilai IKE (Y) pada bangunan gedung. Langkahnya adalah sebagai berikut:

A. Membuat Persamaan Linear Ganda

1. Membuat tabel hitung data

NO	X_1	X_2	Y	X_1^2	X_2^2	Y^2	X_1X_2	X_1Y	X_2Y
1	474.0	1422.0	2.6226	224676.00	2022084.00	6.88	674028.00	1243.12	3729.35
2	332.0	996.0	1.8369	110224.00	992016.00	3.37	330672.00	609.86	1829.59
3	492.0	1476.0	2.7222	242064.00	2178576.00	7.41	726192.00	1339.32	4017.97
4	606.0	1818.0	3.3530	367236.00	3305124.00	11.24	1101708.00	2031.89	6095.68
5	660.0	1980.0	3.6517	435600.00	3920400.00	13.34	1306800.00	2410.15	7230.44
6	396.0	1188.0	2.1910	156816.00	1411344.00	4.80	470448.00	867.65	2602.96
7	600.0	1800.0	3.3198	360000.00	3240000.00	11.02	1080000.00	1991.86	5975.57
8	528.0	1584.0	2.9214	278784.00	2509056.00	8.53	836352.00	1542.49	4627.48
9	750.0	2250.0	4.1497	562500.00	5062500.00	17.22	1687500.00	3112.27	9336.82
10	786.0	2358.0	4.3489	617796.00	5560164.00	18.91	1853388.00	3418.22	10254.67
11	840.0	2520.0	4.6477	705600.00	6350400.00	21.60	2168400.00	3904.04	11712.11
12	810.0	2430.0	4.4817	656100.00	5904900.00	20.09	1968300.00	3630.16	10890.47
13	798.0	2394.0	4.4153	636804.00	5731236.00	19.49	1910412.00	3523.39	10570.18
14	780.0	2340.0	4.3157	608400.00	5475600.00	18.63	1825200.00	3366.24	10098.71
15	332.0	996.0	1.8369	110224.00	992016.00	3.37	330672.00	609.86	1829.59
16	332.0	996.0	1.8369	110224.00	992016.00	3.37	330672.00	609.86	1829.59
17	600.0	1800.0	3.3198	360000.00	3240000.00	11.02	1080000.00	1991.86	5975.57
18	672.0	2016.0	3.7181	451584.00	4064256.00	13.82	1354752.00	2498.58	7495.75
19	672.0	2016.0	3.7181	451584.00	4064256.00	13.82	1354752.00	2498.58	7495.75
20	672.0	2016.0	3.7181	451584.00	4064256.00	13.82	1354752.00	2498.58	7495.75
21	1626.0	4878.0	8.9965	2643776.00	23794884.00	80.94	7931628.00	14628.39	43885.16
22	984.0	2952.0	5.4444	968256.00	8744304.00	29.64	2904768.00	5357.29	16071.88
23	870.0	2610.0	4.8137	756900.00	6812100.00	23.17	2270700.00	4187.88	12563.63
24	847.8	2543.4	4.6908	718764.84	6468883.56	22.00	2166234.52	3976.88	11930.63
Σ	16459.80	49379.40	91.07	12985536.84	116870371.56	397.53	38956790.52	71848.42	215545.27

2. Menghitung nilai koefisien a dan b menggunakan bentuk :

$$\begin{aligned} n a + \sum X_1 b_1 + \sum X_2 b_2 &= \sum Y \\ \sum X_1 a + \sum X_1^2 b_1 + \sum X_1 X_2 b_2 &= \sum X_1 Y \\ \sum X_2 a + \sum X_1 X_2 b_1 + \sum X_2^2 b_2 &= \sum X_2 Y \end{aligned}$$

Didapatkan persamaan linear:

- (i) $24 a + 17,88 b_1 + 126,72 b_2 = 91,07$
(ii) $17,88 a + 15,32 b_1 + 108,57 b_2 = 78,03$
(iii) $126,72 a + 108,57 b_1 + 769,69 b_2 = 553,15$

3. Penyelesaian persamaaan linear dengan metode eliminasi dan substitusi didapatkan hasil dan nilai :

$$\begin{aligned} a &= -0,0803 \\ b_1 &= 0,00013 \\ b_2 &= 0,00184 \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

Persamaan regresi linear ganda adalah :

$$\begin{aligned} Y &= a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \\ Y &= -0,0803 + 0,00013 X_1 + 0,00184 X_2 \end{aligned}$$

Dilihat dari persamaan regresi ganda, nilai absolut b_2 lebih besar dibandingkan dengan nilai absolut b_1 , dimana b_2 menandakan kemiringan variabel X_2 (nilai IKE AC) dan b_1 menandakan kemiringan variabel X_1 (nilai IKE lampu), berarti dapat disimpulkan bahwa persentase nilai IKE konsumsi energi listrik pada AC lebih berpengaruh daripada nilai IKE konsumsi energi listrik pada lampu.

Uji Korelasi

1. Menentukan Hipotesis Pengujian

- H_0 : Tidak terdapat hubungan antara pemakaian energi listrik pada lampudan AC terhadap nilai IKE
 H_1 : Terdapat hubungan antara pemakaian energi listrik pada lampu dan AC terhadap nilai IKE

2. Menentukan Statistik Uji menggunakan korelasi Ganda, didapat dari persamaan (7):

$$F_{hitung} = \frac{R^2/k}{(1 - R^2)/(n - k - 1)}$$

3. Taraf nyata (α) = 0,05

4. Kriteria Pengujian

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak, artinya signifikan
 Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima, artinya tidak signifikan

5. Nilai Statistik Uji

- Jika x_1 = pemakaian energi listrik pada lampu per-bulan
 x_2 = pemakaian energi listrik pada AC per bulan

y = nilai IKE

Diketahui : jumlah data (n) = 24,
 variabel independen = 2

Dengan menggunakan korelasi linear didapatkan nilai

$$\begin{aligned} r_{x_1 y} &= 1 \\ r_{x_1 y} &= 1 \\ r_{x_1 x_2} &= 366,685 \end{aligned}$$

Dari persamaan (6) didapatkan:

$$\begin{aligned} R_{x_1 x_2 y} &= \sqrt{\frac{(r_{x_1 y})^2 + (r_{x_2 y})^2 - 2 \cdot r_{x_1 y} \cdot r_{x_2 y} \cdot r_{x_1 x_2}}{1 - (r_{x_1 x_2})^2}} \\ R_{x_1 x_2 y} &= \sqrt{\frac{1^2 + (1)^2 - 2 \cdot (1) \cdot (1) \cdot (366,685)}{1 - (366,685)^2}} = 0,07375 \end{aligned}$$

Nilai korelasi ganda 0,07375 artinya hubungan antara variabel x_1 dan x_2 terhadap variabel y sangat rendah.

6. Nilai Statistik uji

$$F_{hitung} = \frac{R^2/k}{(1 - R^2)/(n - k - 1)} = \frac{(0,07375)^2/2}{(1 - (0,07375)^2)/(24 - 2 - 1)} = 0,057$$

7. Menentukan nilai F pada Tabel

$$F_{tabel} (2,21) = 3,47$$

Kesimpulan

Karena nilai $F_{hitung} (0,057) < F_{tabel} (3,47)$ maka H_0 diterima, artinya Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara pemakaian energi listrik pada lampu dan AC terhadap nilai IKE, terdapat faktor lainnya.

Peluang Hemat Energi

Meskipun nilai IKE pada ketiga gedung berada dalam kategori efisien yaitu berada diantara 35,65 sampai dengan 87,49 kWh/m²/tahun, tetapi ada kecenderungan terjadi peningkatan dari tahun sebelumnya. Untuk itu dicarikan usaha untuk melakukan penghematan dengan cara mengganti AC yang terpasang dengan yang baru. Tabel 14 menunjukkan kondisi AC yang terpasang saat ini.

Tabel 14. Kondisi AC Terpasang Saat Ini.

Ruang	Jumlah Unit	Output Capacity (BTU/h)	Kebutuhan	Konsumsi	Pembayaran
			pengkondisi (BTU/h)	Listrik (kWh/tahun)	Listrik PLN (Rp)
Kelas	2	18.000 BTU	52.153 BTU	4.905,6	4.415.040
Jumlah	30	270.000 BTU	782.288 BTU	73.584	66.225.600

A. Spesifikasi ruang kelas

- Ukuran ruangan = Panjang = 10 m, Lebar = 8 m, Tinggi = 3 m
 Volume ruangan = 240 m³
 Luas Lantai = 80 m²
 Luas Dinding ($A_{dinding}$) = 47 m²
 Ukuran Jendela = Panjang = 3 m, Lebar = 1 m
 Jumlah Jendela = 2
 Luas Jendela ($A_{jendela}$) = 6 m²
 Ukuran Pintu = Panjang = 2 m, Lebar = 2,5 m
 Luas Pintu (A_{pintu}) = 5 m²

Temperatur Udara Luar (T_o) = 32°C
 Intensitas Radiasi Matahari = 695 W/m^2
 Temperatur Udara Dalam (T_i) = 25°C
 Perbedaan Temperatur (ΔT) = 7°C
 Tebal Lapis Plester Luar = $0,015\text{ m}$
 Tebal Lapis Plester Dalam = $0,015\text{ m}$
 Tebal Batu Bata = $0,08\text{ m}$

B. Menghitung Kapasitas AC yang dibutuhkan:

$Q_i = \sum \text{panas (panas manusia + peralatan elektronik)}$
 $= (\text{panas manusia} + \text{daya laptop} + \text{daya proyektor} + \text{daya lampu})$
 $= (40. 150\text{ Watt} + 1. 50\text{ Watt} + 1. 170\text{ Watt} + 12. 18\text{ Watt})$
 $= 6436\text{ Watt}$

cp = panas jenis udara,

V = ventilasi = (volume ruangan)(pergantian udara per jam / 3600 detik)
 $= (240)(4) / 3600 = 0,27\text{ m}^3/\text{detik}$

$Q_v = cp \cdot V \cdot \Delta T$

$Q_v = (1300\text{ J/m}^3\text{C})(0,27\text{ m}^3/\text{detik})(9^{\circ}\text{C}) = 7488\text{ Watt}$

Q_c = panas melalui dinding + panas melalui kaca

$Q_c = A_{\text{dinding}} \cdot U_{\text{dinding}} \cdot \Delta T + A_{\text{kaca}} \cdot U_{\text{kaca}} \cdot \Delta T$
 $= (47\text{ m}^2)(3,344\text{ W/m}^2\text{C})(7^{\circ}\text{C}) + (6\text{ m}^2)(6,2\text{ W/m}^2\text{C})(7^{\circ}\text{C})$
 $= 1360,576\text{ Watt}$

Panas yang harus diambil oleh mesin penyejuk (AC) adalah:

$Q_m = Q_i + Q_v + Q_c$
 $= 6436\text{ Watt} + 7488\text{ Watt} + 1360,576\text{ Watt}$
 $= 15284,576\text{ Watt} = 15,28\text{ kW}$

C. Spesifikasi AC terpasang saat ini

Split Room Air Conditioner terpasang tahun 2009

Panasonic Model : S-26PK2U6

Capacity : 9000 BTU/h

Input : 840 Watt

Phase : 1 Φ

Voltage : 220-240 Volt

Frequency : 50 Hz

Refrigeran : R-410A

Tahun pemasangan : 2009

Perbandingan AC yang terpasang diperlihatkan dalam Tabel 14, dan kondisi apabila AC diganti yang baru diperlihatkan dalam Tabel 15 berikut: (tarif dasar listrik PLN golongan S2 untuk gedung sebesar Rp. 900,-/ kWh., jumlah ruangan diambil sampel pada gedung B ada 15 ruang)

Tabel 15. Alternatif 1 Penggantian dan Penambahan AC

Ruang	Jumlah Unit	Output Capacity (BTU/h)	Kebutuhan pengkondisi	Konsumsi Listrik	Pembayaran Listrik PLN
			(BTU/h)	(kWh/tahun)	(Rp)
Kelas	4	54.000 BTU	52.153 BTU	12.789,6	11.510.640
Jumlah	60	810.000 BTU	782.295 BTU	191.844	172.659.600

Alternatif 1: Penggantian AC sesuai dengan kebutuhan ruangan, kondisi saat ini masih belum maksimal.

Gambar 9. Menunjukkan perbandingan output AC.

Gambar 9. Perbandingan output AC

Tabel 16. Perhitungan Ekonomis AC Yang Direncanakan

B/C Ratio	0.76
Net B/C Ratio	1.12
IRR	60.41%
Payback Period	2.39 Tahun
BEP	1.200.249.288
NPV	239.652.289

Dari Tabel 16. memperlihatkan perhitungan nilai ekonomis teknik dan didapatkan hasil nilai:

1. Net B/C ratio sebesar 1,12 yang lebih besar dari 1, artinya kegiatan penggantian AC layak untuk dilaksanakan.

2. Dari nilai IRR sebesar 60,41% yang lebih besar dari nilai MARR (nilai suku bunga tertinggi diperoleh dari BI rate yang sebesar 15%) maka kegiatan penggantian AC cukup untuk dilaksanakan.

3. Dari periode pengembalian modal (BEP / Break Event Point) diperoleh selama 2 tahun 4 bulan. Dari keuntungan pemasangan AC baru dapat dilihat dari nilai BEP sebesar Rp. 1.200.249.288 yang terjadi pada tahun ke 3.

Alternatif 2 : Penggantian AC lama dengan AC inverter kapasitas yang sama.

Pada Alternatif 2 ini dilakukan penggantian AC hanya berdasarkan kesamaan kapasitas AC dengan konsumsi energi listrik yang lebih kecil (AC Inverter), tetapi tanpa mempertimbangkan rasa kenyamanan pengguna dalam ruangan. Hasil perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 17.

Tabel 17. Alternatif 2 Penggantian AC Lama

Kondisi	Jumlah Unit	Output Capacity (BTU/h)	Kebutuhan pengkondisi	Konsumsi Listrik	Pembayaran Listrik PLN
			(BTU/h)	(kWh/tahun)	(Rp)
Kelas	2	20.000 BTU	52.153 BTU	4.263,2	3.836.880
Jumlah	30	60.000 BTU	782.295 BTU	63.948	57.553.200

Dari Tabel 17 memperlihatkan bahwa apabila dilakukan penggantian AC tanpa memperhatikan kebutuhan pendinginan ruangan/ kebutuhan BTU/h, maka jika ditinjau dari segi konsumsi energi listrik didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Pada AC Lama Konsumsi Energi Listrik selama satu tahun sebesar 73.584 kWh.

Biaya rekening listrik selama satu tahun = Rp. 66.225.600,-

b. Pada AC Baru Konsumsi Energi Listrik selama satu tahun sebesar 63.948 kWh.

Biaya rekening listrik selama satu tahun = Rp. 57.553.200,-

5. KESIMPULAN

1. Dari audit energi awal didapatkan nilai IKE masing-masing gedung (gedung A, gedung B, dan gedung C) pada tahun 2016 sebesar 77,82 KWH/m²/tahun, 40,25 KWH/m²/tahun, 37,15 KWH/m²/tahun, sedangkan pada tahun 2017 nilai IKE pada gedung A adalah 87,49 KWH/m²/tahun, gedung B 50,82 KWH/m²/tahun dan gedung C 35,65 KWH/m²/tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai IKE masih tergolong dalam kategori efisien. Dengan demikian audit energi rinci tidak perlu dilakukan. Alternatif 1 penggantian AC dilakukan karena kebutuhan ruangan masih belum terpenuhi sehingga tingkat kenyamanan pengguna tidak terpenuhi, sedangkan alternatif ke 2 penggantian AC dilakukan hanya dengan memperkecil daya yang dipergunakan / menggunakan AC hemat energi.
2. Dari segi pemakaian energi listrik per komponen didapatkan bahwa sektor AC (*Air Conditioner*) pada gedung A sebesar 67,90%, pada gedung B sebesar 139,15%, dan gedung C 128,95%. Nilai tersebut melebihi rata-rata persentase penggunaan energi pada bangunan gedung sebesar 60%.
3. Peluang hemat energi masih dapat dilakukan dengan mengadakan penggantian AC yang lama dengan AC yang baru yaitu dengan penyesuaian kebutuhan pendinginan ruangan dan diperoleh penghematan energi listrik sebesar 13%.

Referensi

- [1] BPS .Data Outlook Energi Indonesia .2013, Nopember 15, 2017. <http://www.bps.go.id/brs/view/id/1143>.
- [2] Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, *Penyusunan Indikator Efisiensi Energi dan Benchmarking*, Desember 2010.
- [3] Peraturan Menteri ESDM No. 28 tahun 2016.<http://www.listrik.org/pln/tarif-dasar-listrik-pln/> diakses pada 10 Oktober 2017
- [4] Richard Blocher, Dipl. Phys “*Dasar Elektronika*”, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2003.
- [5] Hasan Shalahuddin, “*Pelaksanaan Efisiensi Energi di Bangunan Gedung*”, www.nulisbuku.com. Diakses pada 10 Oktober 2017.
- [6] SNI 6196:2011. “*Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*”. Jakarta: DirektoratJenderalKetenagalistrikan, KementerianEnergi dan SumberDaya Mineral. Maret 2010.
- [7] Berchmans Hanny, Saifudin Suaib, Imas Agustina, Richard Panjaitan, Winne, “*Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintah*”. 2014. www.iced.or.id. Diakses 10 Oktober 2017.
- [8] Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, *Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasan di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional*, Jakarta. 2006.
- [9] Sugiyono, “*Statistika Untuk Penelitian*”, CW Aifabeia, Bandung. 2012
- [10] Halim Abdurrahmim, Pasek, Darmawan Ari dan Sulaiman, *Audit Energi, Energi Conservation Efficiency And Cost Saving Course*, Bandung. TA. 2002.
- [11] Wahyudi Biantoro Agung, Dadang S. Permana, “*Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten*”. Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 06, No. 2, Maret 2017.
- [12] Hendra R.H. 2007. *Audit Energi Pada Bangunan Gedung Rumah Sakit Dr. Karyadi, Semarang*. Semarang
- [13] Roosita, D. 2015. *Audit Energi Listrik Pada AC dan Pencerayaan Dalam Upaya Efisiensi Energi di RS Islam Surakarta*. Yogyakarta. Electronic Theses & Dissertations (ETD) Gadjah Mada University, Universitas Gadjah Mada, 2015, Yogyakarta.
- [14] Nugraha, W.S. 2015. *Audit Energi Listrik dan Identifikasi Peluang Konservasi Energi Listrik Pada Sistem Pencerayaan dan Pendingin Ruangan di RS Akademik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*. Yogyakarta. Electronic Theses & Dissertations (ETD) Gadjah Mada University, Universitas Gadjah Mada, 2015, Yogyakarta.
- [15] Pasisarha DS. *Evaluasi IKE Listrik Melalui Audit Awal Energi Listrik di Kampus Polines*. Jurnal Teknik Elektro Terapan (JTET) ISSN: 2252-4908 Vol. 1 No. 1 April 2012: 1-7.

Biography

Paskalia Kartini, lahir di Pontianak pada tanggal 21 April 1973. Menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Elektro di Universitas Tanjungpura Pontianak Tahun 1998 dan S-2 Teknik Elektro di Universitas Tanjungpura Pontianak Tahun 2017. Sejak tahun 2007 sampai dengan sekarang bekerja sebagai Staf Pengajar di STMIK Widya Dharma Pontianak.