

Kajian Tekno-Ekonomi Potensi Penghematan Energi Pencahayaan pada Gedung Pemerintah Menggunakan Retscreen

Zulramadhanie[✉], Jaka Windarta², Cahyadi³

^{1,2} Magister Energi, Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Indonesia

^{1,3} Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 29-05-2024

Direvisi : 04-06-2024

Diterima : 06-06-2024

Kata Kunci:

Dialux; Energi; Lampu; RETScreen.

Keywords :

Dialux; Energy; Light; RETScreen.

Corresponding Author :

Zulramadhanie

Magister Energi, Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Indonesia

Gedung B Pascasarjana Jl. Imam Bardjo SH No.5, Semarang

Email: zulramadhanie@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu upaya penghematan konsumsi energi pada bangunan gedung adalah penghematan energi pada sistem pencahayaan. Pada makalah ini, dilakukan kajian tekno-ekonomi potensi penghematan energi sistem pencahayaan pada sebuah gedung pemerintah dengan penggantian lampu fluoresen ke LED. Studi kasus dilakukan pada gedung BRIN 620-621 menggunakan perangkat lunak RETScreen. Kajian dilakukan dengan melakukan analisa pengukuran dan verifikasi pada lampu tabung fluoresen dan LED untuk mendapatkan potensi penghematan dari pergantian lampu yang layak secara teknis dan ekonomi. Hasil studi ini menunjukkan potensi penghematan dan biaya energi lampu tabung LED sebesar 58,1 % dari energi lampu fluoresen serta evaluasi terkait tekno ekonomi seperti NPV dan IRR sebesar Rp. 64.480.066 dan 91 % indikator keekonomian lain seperti B-C rasio sebesar 5,2 dengan periode biaya pengembalian selama 2 Tahun dengan nilai evaluasi keekonomian dari pergantian lampu menandakan nilai-nilai tersebut layak secara finansial.

ABSTRACT

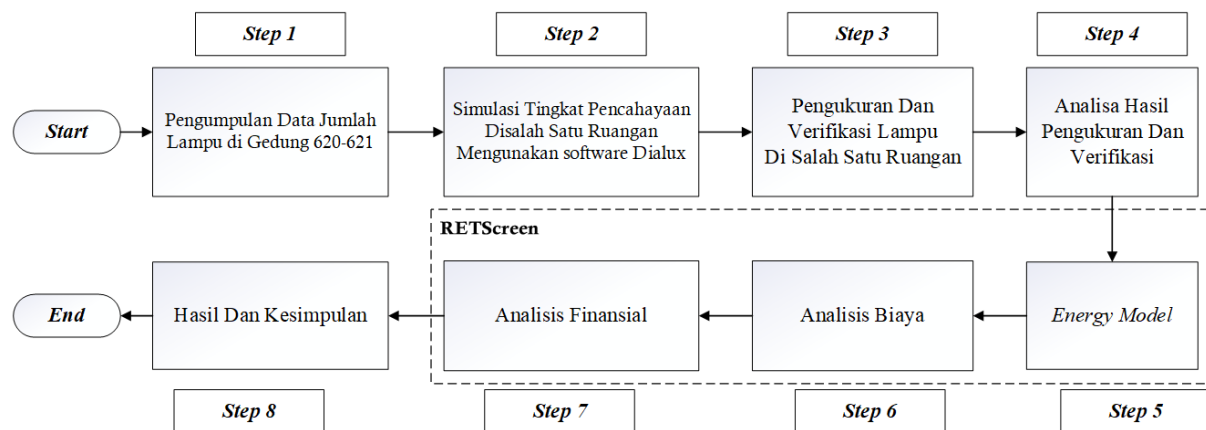
Energy saving in lighting system is one of the efforts to save energy consumption in buildings. This paper conducts a techno-economic study of the potential energy savings of lighting systems in a government building by replacing fluorescent lamps with LEDs. The case study was conducted at BRIN 620-621 building using RETScreen software. The study conducted measurement analysis and verification on fluorescent tube lamps and LEDs to obtain the potential savings from the replacement of technically and economically feasible lamps. The results of this study show that the potential savings and energy costs of LED tube lights are 58.1% of the energy of fluorescent lamps as well as techno-economic related evaluations such as NPV and IRR of Rp. 64,480,066 and 91% of other economic indicators such as a B-C ratio of 5.2 with a payback period of 2 years with economic evaluation values of lamp replacement indicating these values are financially feasible.

PENDAHULUAN

Satu di antara sektor pengguna energi serta penghasil emisi terbanyak adalah sektor bangunan (Birkha Mohd Ali et al., 2021), Menyumbang 23% dari konsumsi energi di Asia Tenggara sehingga menghasilkan total emisi CO₂ yang terkait proses dan energi sebesar 23% pada tahun 2020 (IEA, 2022). Salah satu pengguna energi di bangunan adalah sistem pencahayaan, pencahayaan pada bangunan disediakan baik secara alami maupun artifisial untuk mendapatkan kuantitas iluminasi (Ajibola et al., 2023). Dalam kasus ini, ditemukan bahwa sistem pencahayaan adalah pengguna energi terbesar kedua setelah sistem tata udara, sistem pencahayaan berkontribusi sekitar 14 hingga 19 % (Birkha Mohd Ali et al., 2021; Budaiwi & Abdul Fasi, 2023; Horyński, 2012; U.S. Department of Energy, 2015; Wagiman et al., 2020) terhadap total konsumsi energi di gedung. Oleh karena itu, penggunaan energi sistem pencahayaan di gedung perkantoran secara signifikan berkontribusi pada total konsumsi listrik (Sun et al., 2021), Sehingga dengan mengurangi konsumsi energi di sistem pencahayaan di gedung perkantoran secara efektif dapat menurunkan biaya energi dan meningkatkan kinerja energi di gedung (Park et al., 2019). Telah diamati bahwa bangunan yang tidak mempertimbangkan efisiensi energi dalam pencahayaan pada awal desain akan mengonsumsi energi lebih banyak (Dubois et al., 2015). Ini adalah indikasi umum untuk bangunan yang ada di seluruh dunia di mana retrofit efisiensi energi belum dipertimbangkan (Qiao et al., 2021), Oleh karena itu, sangat penting untuk menyalurkan upaya untuk mengadopsi langkah-langkah efisiensi energi untuk mengendalikan biaya energi untuk bangunan. Sistem pencahayaan merupakan salah satu peluang manajemen energi yang menonjol di sebagian besar bangunan. Hal ini menyoroti perlunya mengadopsi langkah-langkah untuk mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi (Gavioli et al., 2015).

Dalam studi sebelumnya didapatkan potensi penghematan pergantian lampu jenis *Light Emitting Diode* (LED) didapatkan potensi penghematan energi bervariasi dari 27 % (Pramono et al., 2023) , 47 % dengan periode pengembalian biaya pada bulan ke 10 (Asmawati et al., 2016; Hasyim Rosma et al., 2023) , 49 % (Surya Ganesputra et al., 2022) , 52% (Suharto, 2016), 54 % (Ramadhon, 2021) dengan periode pengembalian biaya di bulan ke-11,7, 56 % (Riyadi, 2022), hingga 64% (Irwangsa & Windarta, 2023). Akan tetapi, studi tersebut dalam memulai tindakan pergantian lampu tabung jenis LED pada bangunan belum memahami pola dan profil konsumsi energi dan analisis ekonomi terbatas menggunakan periode pengembalian biaya. Sehingga diperlukan analisis dampak ekonomi yang lebih detail seperti nilai sekarang bersih atau *Net Present Value (NPV)*, tingkat pengembalian modal atau *Internal Rate of Return (IRR)* dan rasio keuntungan biaya atau *Benefit-Cost (B-C) ratio* serta studi ini memerlukan pengukuran dan verifikasi terhadap lampu fluoresen dan lampu LED sebelum di analisis dampak ekonominya. Studi ini memiliki tujuan berfokus pada eksplorasi mengenai penghematan konsumsi energi di Gedung 620 dan 621 menggunakan metode pengukuran dan verifikasi di salah satu ruang kerja sehingga didapatkan pola konsumsi energi dan daya rata-rata harian dari lampu tabung fluoresen maupun LED. Selain itu dampak ekonomi dari penggunaan pencahayaan akan dianalisis menggunakan software *RETScreen Expert* seperti *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)* dan *Benefit-Cost (B-C) ratio*, sehingga setiap institusi yang tertarik untuk mengelola dan mengurangi konsumsi energi dan biaya energi khususnya terkait pencahayaan dapat mengikuti dan mengadopsi langkah-langkah yang dibahas dalam studi ini.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Tahap Penelitian

Gedung 620-621 adalah bangunan dua lantai. Gedung ini diresmikan pada tahun 1992, sebagian besar ruangan di gedung ini mendapatkan pencahayaan alami dari jendela akan tetapi gedung ini menerapkan peneduh kaca sehingga mengurangi panas dari matahari. Tahapan dari studi ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data jumlah lampu yang digunakan di Gedung 620-621. Tahap kedua adalah simulasi di salah satu ruangan menggunakan *software* Dialux yang bisa diunduh secara gratis yang dikembangkan perusahaan dari Jerman yang digunakan untuk perencanaan tata cahaya diruangan. *Software* ini dapat melakukan simulasi ruang sehingga mendapatkan lampu yang sesuai dengan tingkat cahaya atau lux yang diinginkan menggunakan *database* lampu yang tersedia dipasaran dan kita juga dapat menginput data secara manual apabila *database* lampu yang akan dipasang tidak ditemukan. Hasil yang didapatkan dari simulasi ini menghitung dan memvisualisasikan distribusi cahaya baik 2D maupun 3D (Jum'atullah et al., 2020), sehingga dari hasil simulasi Dialux didapatkan lampu yang sesuai dengan desain yang diinginkan.

Tahap ketiga adalah pengukuran dan verifikasi baik dari segi kelistrikan maupun tingkat pencahayaan (lux) pada lampu tabung fluoresen dan LED, pemantauan konsumsi energi dan parameter listrik seperti tegangan (V), arus (A) dan daya listrik (W) dipantau menggunakan *power logger* merek HIOKI tipe PW 3360, alat ini mampu merekam parameter tersebut dalam satu waktu yang memiliki spesifikasi pengukuran tegangan 0 sampai dengan 600 VAC dengan menggunakan sensor arus tipe 9695-02 dengan spesifikasi pengukuran 0 sampai dengan 50 A, Pengukuran dilakukan selama 3 x 24 jam dengan interval pengambilan data selama 1 menit sehingga didapatkan pola penggunaan energi dan parameter listrik lainnya dari lampu dengan pengoperasian lampu diperlakukan dengan waktu rata-rata yang sama diruang tersebut. Pengukuran tingkat pencahayaan menggunakan lux meter merek HIOKI dengan tipe FT3425 dengan spesifikasi pengukuran adalah 0 hingga 200.000 lux.

Tahap keempat adalah data konsumsi energi dan daya listrik pencahayaan dan tingkat pencahayaan dari pengukuran dan verifikasi dianalisis menggunakan *software* Microsoft Excel untuk menentukan nilai inputan yang akan dimasukkan dalam tahap kelima yaitu *energy model* pada *software* RETScreen. RETScreen adalah perangkat lunak yang dikembangkan untuk memodelkan proyek efisiensi energi seperti penggantian lampu. Studi ini menggunakan *software* ini untuk mensimulasikan untuk *energy model* dengan masukan nilai dari hasil analisis pengukuran dan verifikasi, tahap keenam adalah analisis biaya yang dikeluarkan seperti biaya penggantian lampu pengiriman dan asuransi pengiriman, biaya instalasi dan pajak serta biaya tahunan dari operasi dan pemeliharaan (O&M) seperti pembersihan rumah lampu dan unit lampu. Selain itu, RETScreen digunakan untuk menganalisis finansial seperti *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of*

Return (IRR) dan Benefit-Cost (B-C) ratio dari potensi penghematan energi pada tahap ketujuh, Sehingga didapatkan hasil dan kesimpulan dari studi ini.

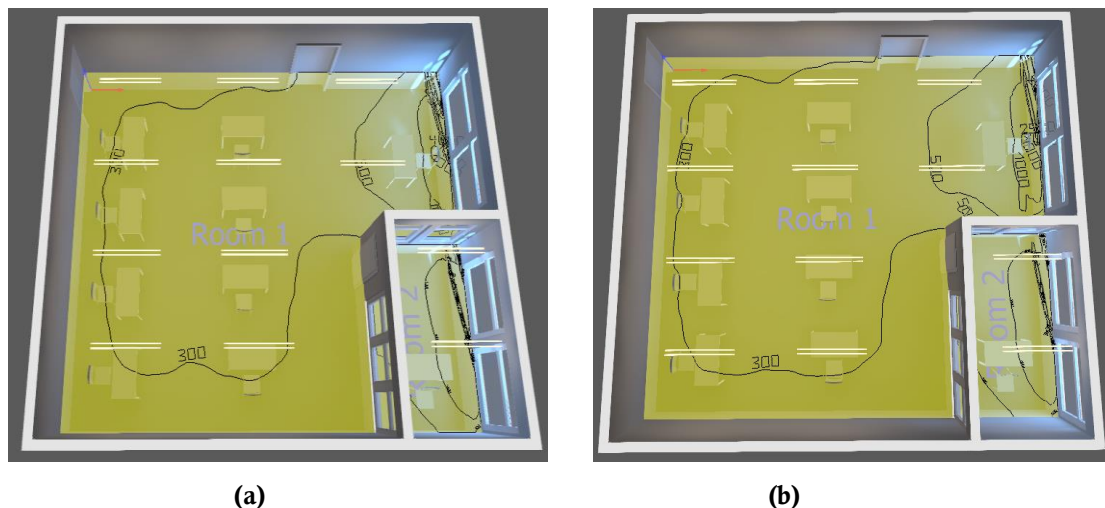
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 menunjukkan jumlah lampu yang digunakan pada Gedung 620-621 dalam studi ini memfokuskan pada penggunaan energi dan jumlah lampu yang lebih besar yaitu lampu tabung (TL) yang digunakan pada ruang kerja dan ruang rapat.

Tabel 1. Jumlah Lampu di Gedung

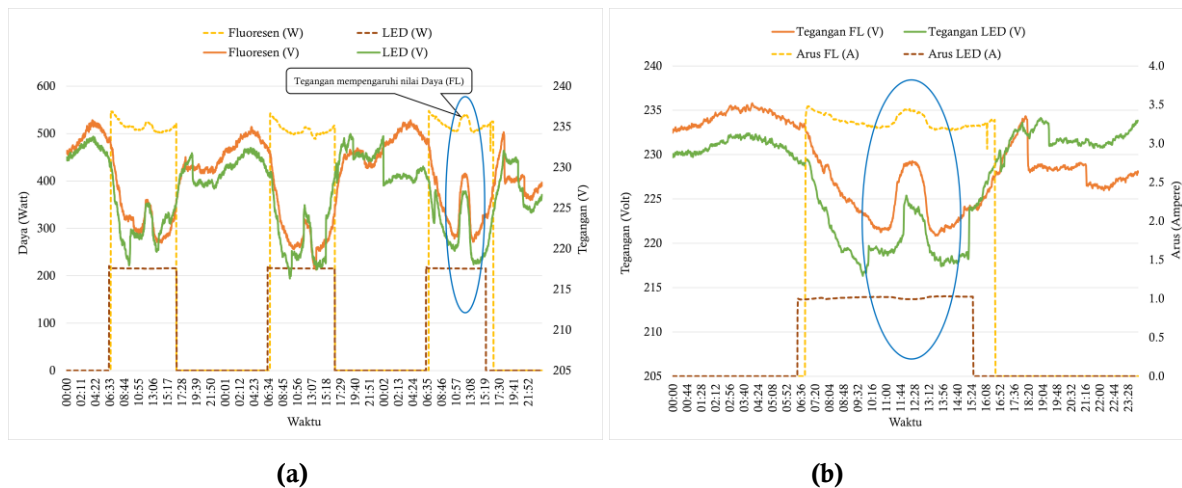
No.	Gedung	Jenis Lampu (Unit)			
		TL 36 W	CFL	Led Bulb	Led Downlight
1	620	161	1	20	5
2	621	154	16	80	58
Total		315	17	100	63

Dalam merencanakan pergantian lampu sebaiknya dilakukan simulasi lampu lama dan lampu yang akan diganti menggunakan. Simulasi pada lampu tabung fluoresen dengan spesifikasi daya sebesar 36 Watt dan lumen sebesar 2.000 sedangkan pada lampu LED spesifikasi daya sebesar 18 Watt dan spesifikasi lumen 2.100 lumen. Hasil simulasi pada lampu fluoresen didapatkan lux rata-rata pada ruangan ini sebesar 384 lux sedangkan hasil simulasi pada lampu LED didapatkan lux rata-rata sebesar 417 lux sehingga pergantian lampu LED menggunakan spesifikasi sesuai dengan simulasi.



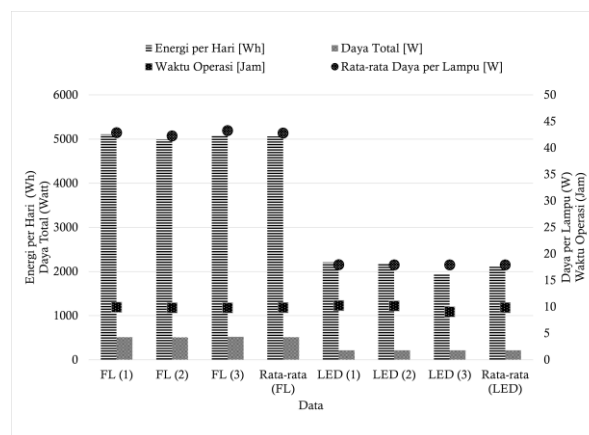
Gambar 2. Simulasi menggunakan Dialux evo 12 a) Fluoresen, b) LED

Pengukuran dilakukan disalah satu ruangan di Gedung 620-621, pengukuran dilakukan disumber listrik atau *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang melayani 12 lampu diruangan tersebut. Pengukuran ini dilakukan pada lampu fluoresen (FL) dan LED. Pada Gambar 3 (a) terlihat daya listrik dari lampu fluoresen mengalami perubahan mengikuti nilai dari tegangan, hal ini dikarenakan ketika tegangan mengalami perubahan maka arus listrik yang mengalir juga mengikuti perubahan dari tegangan, terlihat pada Gambar 3 (b) pada rentang waktu 11.00 sampai dengan jam 13.00 terjadi kenaikan tegangan yang mengakibatkan peningkatan arus listrik sebesar 1 Ampere sedangkan untuk lampu LED perubahan tegangan tidak mempengaruhi besarnya daya listrik yang digunakan. Daya (W) rata-rata pada lampu fluoresen sebesar 513,5 Watt atau 42,79 W/unit sedangkan pada lampu LED mengonsumsi daya 58% lebih rendah yaitu sebesar 215,3 Watt atau 17,93 W/unit.

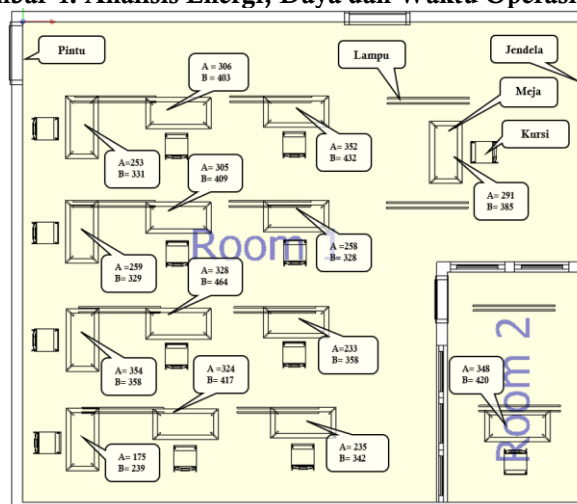


Gambar 3. a) Hasil Pengukuran Selama 3 Hari, b) Hubungan Tegangan Terhadap Arus Listrik

Dari sisi energi listrik pada lampu fluorensen didapatkan nilai rata-rata energi per hari sebesar 5061,1 Wh dengan rata-rata jam operasi lampu per hari selama 9,8 Jam sedangkan untuk rata-rata konsumsi energi listrik per hari pada lampu LED didapatkan 2.115,8 Wh dengan rata-rata jam operasi lampu per hari selama 9,8 jam, sehingga didapatkan penghematan dari pergantian lampu tabung jenis fluorensen ke jenis LED mendapatkan penghematan rata-rata sebesar 2.945,3 Wh atau 58,1 %.



Gambar 4. Analisis Energi, Daya dan Waktu Operasi (Jam)



Gambar 5. Pengukuran lux

Dalam analisis keekonomian menggunakan RETScreen memerlukan daya lampu per unit lampu maka nilai rata-rata dari daya listrik dibagi dengan jumlah lampu yaitu 12 Unit didapatkan daya lampu fluoresen sebesar 42,79 W sedangkan daya lampu LED sebesar 17,93 W, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4. Selain pengukuran listrik pengukuran juga dilakukan pada lux diruangan yang dapat dilihat pada Gambar 5 Pengukuran menggunakan luxmeter yang diletakan pada meja kerja. Dari hasil pengukuran ini didapatkan lux rata-rata pada lampu fluoresen sebesar 287 lux sedangkan lux rata-rata pada lampu LED sebesar 373 lux yang sudah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6197 tahun 2020 untuk ruang kerja sebesar 350 lux. Hasil pengukuran ini berbeda dengan hasil simulasi dikarenakan penurunan kinerja pada lampu fluoresen dan rumah lampu (armature) serta lampu yang kotor sehingga tidak maksimal memancarkan cahaya karena tertutup oleh debu. Selain itu perhitungan rata-rata pada simulasi menghitung semua titik diarea termasuk area dekat dengan jendela yang terpapar oleh sinar matahari sehingga rata-rata hasil simulasi yang lebih tinggi.

	Fluoresen	LED	
Lights - Level 2			
☒ Illumination level - calculator			
Space type		Office	
Illumination level - suggested	Lux	300 - 500	
Illumination level	Lux	373	
Lamp & fixture type	Fluorescent T8 - magnetic ballast	Light emitting diode (LED)	
Efficiency	61 lm/W	112 lm/W	
Electricity load per lamp	36 W	17,93 W	
Number of lamps per fixture	1	1	
Miscellaneous losses	6,79 W	0 W	
Electricity load per fixture	42,8 W	17,9 W	
Number of fixtures - suggested	533	315	
Number of fixtures	315	315	
Number of lamps - total	315	315	
Illumination level - variance	-40,8%	-40,8%	
Operating hours	2.352 h/yr	2.352 h/yr	
Costing method	Level 1	Level 1	
Incremental initial costs	42.525.000 IDR	42.525.000 IDR	
Incremental O&M savings			
Number of units	1	1	
Electricity	31.702 kWh	13.284 kWh	18.418 kWh 58,1%

Gambar 6. Energy Model

Analisis ekonomi sangat penting dilakukan untuk mengetahui apakah suatu proyek layak secara ekonomi dari segi efisiensi energi menggunakan RETScreen untuk mengetahui apakah proyek efisiensi dari pergantian lampu digedung 620-621 layak secara ekonomi. *Energy Model* pada *software* RETScreen yang ditunjukkan pada Gambar 6 terlihat beberapa nilai yang dimasukan dari hasil pengukuran dalam studi ini seperti daya listrik lampu, dikarenakan hasil pengukuran pada fluoresen 42,79 W maka spesifikasi lampu digunakan 36 W ditambahkan daya dari ballast atau dalam RETScreen menggunakan istilah *miscellaneous losses* yang digunakan sebesar 6,79 W sedangkan dalam LED menggunakan sesuai hasil pengukuran yaitu 17,93 W dikarenakan pada lampu LED tidak menggunakan *ballast* dengan harga lampu menggunakan Rp.135.000 per unit. Selain daya lampu data yang dimasukan adalah jumlah lampu digedung sebanyak 315 unit dan jam operasi lampu menggunakan rata-rata jam operasi dari kedua jenis lampu yaitu 9,8 jam dikalikan jumlah hari kerja selama 240 hari dalam setahun sehingga didapatkan jam operasi kedua lampu selama 2.352 jam pertahun, maka didapatkan energi yang digunakan lampu tabung pada Gedung 620-621 untuk lampu fluoresen sebesar 31.702 kWh/Tahun sedangkan pada lampu LED sebesar 13.284 kWh/Tahun maka didapatkan potensi penghematan energi dalam setahun sebanyak 18.418 kWh atau 58,1 %.

Dalam analisis finansial ditunjukkan pada Gambar 7 diperlukan memasukan parameter ekonomi seperti inflasi dari harga listrik sebesar 2,44 % (PLN, 2023), rata-rata tingkat inflasi dari bulan januari 2023 sampai april 2024 sebesar 3,47 % (Bank Indonesia, 2024), Tingkat diskonto sebesar 6% (Badan Pusat Statistik, 2024b), tingkat suku bunga bank swasta nasional – investasi

sebesar 8,32 % (Badan Pusat Statistik, 2024a) selain itu jangka waktu utang mengikuti garansi lampu selama 3 tahun sedangkan jangka waktu proyek dan rasio hutang menggunakan asumsi.

Biaya total investasi sebesar Rp.51.709.950 yang terdiri dari biaya pembelian lampu TL LED sebesar Rp.42.525.000, Biaya Pengiriman sebesar Rp.300.200, asuransi pengiriman sebesar Rp.257.000, Pajak sebesar 4.677.750 dan biaya instalasi sebesar Rp.3.950.000. Biaya total tahunan yang dikeluarkan sebesar Rp. 34.503.771 yang terdiri dari biaya pembersihan rumah lampu dan lampu sebesar Rp.1.580.000, biaya energi listrik pada lampu LED sebesar Rp.18.796.962 menggunakan harga dasar listrik kategori P2 sebesar Rp.1.415,01/kWh (PLN, 2024) dan pembayaran pinjaman sebesar Rp. 14.126.809 pertahun sedangkan biaya total tahunan yang dikeluarkan pada lampu fluorezen sebesar Rp. 46.43.008 yang terdiri dari biaya energi listrik pada lampu fluorezen sebesar Rp.44.859.008 per tahun dan biaya pembersihan rumah lampu dan lampu sebesar Rp.1.580.000 maka dari pergantian lampu tabung LED didapatkan penghematan biaya energi listrik sebesar Rp. 26.062.046 atau 58,1 % dalam setahun dan mendapatkan kas bersih sebesar Rp.11.935.237 pertahun.

RETScreen - Financial Analysis

Subscriber: Brin - Professional

Financial parameters			Costs Savings Revenue				Yearly cash flows		
General			Initial costs				Year	Pre-tax	Cumulative
Fuel cost escalation rate	%	2,44%	Incremental initial costs	82,2%	IDR	42.525.000	#	IDR	IDR
Inflation rate	%	3,475%	Biaya Pengiriman	0,58%	IDR	300.200	0	-15.512.985	-15.512.985
Discount rate	%	6%	Asuransi pengiriman	0,5%	IDR	257.000	1	12.571.151	-2.941.834
Reinvestment rate	%	0%	Pajak	9%	IDR	4.677.750	2	13.222.581	10.280.747
Project life	yr	5	Biaya Instalasi	7,6%	IDR	3.950.000	3	13.889.906	24.170.654
			Total initial costs	100%	IDR	51.709.950	4	28.700.323	52.870.977
							5	29.400.611	82.271.588
Finance			Yearly cash flows - Year 1				Biaya Finansial LED Biaya Finansial FL		
Incentives and grants	IDR		Annual costs and debt payments						
Debt ratio	%	70%	Pembersihan rumah lampu dan lampu	IDR	1.580.000				
Debt	IDR	36.196.965	O&M costs (savings)	IDR	0				
Equity	IDR	15.512.985	Fuel cost - proposed case	IDR	18.796.962				
Debt interest rate	%	8,32%	Debt payments - 3 yrs	IDR	14.126.809				
Debt term	yr	3	Total annual costs	IDR	34.503.771				
Debt payments	IDR/yr	14.126.809	Annual savings and revenue						
Income tax analysis			Pembersihan rumah lampu dan lampu	IDR	1.580.000				
			Fuel cost - base case	IDR	44.859.008				
			GHG reduction revenue	IDR	0				
			Other revenue (cost)	IDR	0				
			Total annual savings and revenue	IDR	46.439.008				
			Net yearly cash flow - Year 1	IDR	11.935.237				

Gambar 7. Analisis Finansial

Ketika menentukan pembayaran pinjaman (*debt payments*), baik pokok dan bunga harus dibayarkan setiap tahun untuk melunasi pinjaman. Perhitungan pembayaran utang melibatkan perhitungan tingkat suku bunga pinjaman (*debt interest rate*), jangka waktu pinjaman (*debt term*) dan pinjaman proyek (*project debt*). Meskipun total pembayaran pinjaman tetap konstan selama jangka waktu pinjaman, porsi yang dialokasikan untuk pokok pinjaman akan bertambah, sementara porsi yang dialokasikan untuk bunga akan berkurang seiring berjalannya waktu (RETScreen, 2005). Rumus untuk menghitung pembayaran utang disediakan dalam Persamaan (1).

$$D = C f_d \left(\frac{i_d}{1 - \frac{1}{(1+i_d)^n}} \right) \quad (1)$$

Dimana, C adalah total investasi proyek, f_d adalah rasio pinjaman (*debt ratio*), i_d adalah tingkat suku bunga (*interest rate*) dan n adalah jangka waktu pinjaman dalam tahun (*debt term*).

Dalam menghitung *Net Present Value* (NPV) melibatkan evaluasi nilai sekarang dari semua aliran kas masuk dan membandingkannya dengan nilai sekarang dari semua aliran kas keluar yang terkait dengan proyek investasi yang didiskontokan (Rehman, 2005) sehingga selisih nilai sekarang dari arus kas tersebut disebut dengan NPV untuk menentukan apakah investasi tersebut layak atau tidak layak dengan melihat nilai NPV yang positif atau lebih besar dari pada nol (Arjunan, 2020; RETScreen, 2005), seperti yang diberikan pada Persamaan (2) berikut ini:

$$NPV = \sum_{n=0}^n \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (2)$$

C_n adalah arus kas masuk dikurangi arus kas keluar dan r adalah tingkat diskonto (*discount rate*). Dalam menghitung kas bersih menggunakan Persamaan (3) dan (4).

$$C_n = C_{in,n} - C_{out,n} \quad (3)$$

$$C_{out,n} = C_{O\&M}(1 + r_i)^n + C_{fuel}(1 + r_e)^n + D + C_{per}(1 + r_i)^n \quad (4)$$

Dimana, $C(O\&M)$ adalah biaya pemeliharaan dan operasi dalam satu tahun, r_i adalah tingkat inflasi, C_{fuel} adalah biaya tagihan listrik dalam satu tahun, r_e adalah inflasi tarif listrik (*fuel cost escalation rate*), D adalah biaya pembayaran pinjaman dalam satu tahun, C_{per} biaya periodik yang dikeluarkan dalam satu tahun.

Internal Rate of Return (IRR) adalah kemampuan arus kas untuk mengembalikan modal yang dipinjam pada tingkat diskonto yang menyebabkan NPV proyek menjadi nol (Chowdhury et al., 2020). Indikator bahwa investasi tersebut layak dilakukan adalah nilai $IRR \geq$ suku bunga pinjaman (Okoe et al., 2023). IRR dihitung dengan menyelesaikan Persamaan (5).

$$0 = \sum_{n=0}^n \frac{C_n}{(1+IRR)^n} \quad (5)$$

Dalam menghitung *net Benefit-Cost* (B-C) *ratio*, yaitu perbandingan antara *net present value cash flow* yang diperoleh dengan biaya modal proyek, indikator layak dalam metode perhitungan ini jika nilai rasio yang diperoleh lebih besar dari 1 (Arjunan, 2020; Khamharnphol et al., 2023; RETScreen, 2005) dengan menggunakan Persamaan (6).

$$B-C = \frac{NPV + (1 - f_d)C}{(1 - f_d)C} \quad (6)$$

Hasil simulasi *RETScreen* didapatkan total biaya investasi sebesar Rp. 51.709.950, biaya pembayaran pinjaman per tahun sebesar Rp. 14.126.809, kas masuk bersih dalam setahun sebesar Rp. 11.935.237 didapatkan periode pengembalian biaya selama 2 tahun hasil ini lebih lama dari pada hasil studi sebelumnya dikarenakan memasukan biaya pengiriman serta asuransi pengiriman, pajak, biaya instalasi dan biaya tahunan seperti pembersihan lampu beserta *armature*. Nilai NPV dan IRR sebesar Rp. 64.480.006 dan 91 % indikator keekonomian lain seperti B-C rasio sebesar 5,2 nilai evaluasi keekonomian dari pergantian lampu menandakan nilai-nilai tersebut layak secara finansial lebih lengkapnya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman Analisis Ekonomi

Deskripsi	Nilai
<i>Investment costs</i> (Rp)	51.709.950
<i>Debt payments</i> / Tahun	14.126.809
<i>Net yearly cash flow</i>	11.935.237
<i>Net Present Value</i> (Rp)	64.480.066
<i>Benefit-Cost</i> (B-C) <i>ratio</i>	5,2
<i>Internal Rate of Return</i> (%)	91
<i>Project life</i> (Tahun)	5
<i>Debt Term</i> (Tahun)	3
<i>Simple Pay back</i> (Tahun)	2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengukuran dan verifikasi terhadap lampu tabung fluoresen dan LED dengan jam operasi rata-rata selama 9,8 Jam/hari didapatkan daya listrik per unit dari lampu fluoresen dengan *ballast* adalah sebesar 42,79 W sedangkan lampu LED yaitu 17,94 W. Jumlah lampu di Gedung 620-621 sebanyak 315 Unit dengan jam operasi selama setahun sebesar 2.352 jam pertahun didapatkan potensi penghematan dan biaya energi listrik pertahun sebesar 58,1 % atau 18.418 kWh / Rp. 26.062.046. Selain, pengukuran parameter listrik dilakukan pengukuran tingkat pencahayaan (lux) diruangan sebesar 287 lux pada lampu fluoresen sedangkan lux rata-rata pada lampu LED sebesar 373 lux yang sudah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6197 tahun 2020 untuk ruang kerja sebesar 350 lux. Hasil evaluasi ekonomi didapatkan Nilai NPV sebesar Rp. 64.480.066 dan IRR 91 % indikator keekonomian lain seperti B-C rasio sebesar 5,2 serta periode pengembalian biaya selama 2 tahun sehingga dapat diambil kesimpulan evaluasi secara teknis dan keekonomian dari penggantian lampu layak diimplementasikan.

Saran

Dalam merencanakan pergantian lampu LED melakukan pengukuran dan verifikasi sesuai dengan yang telah dilakukan dalam studi ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi (BRIN) serta Magister Energi Universitas Diponegoro atas kontribusinya dalam mendukung studi ini.

REFERENSI

- Ajibola, O. O. E., Jimoh, M. M., Shitta, M. B., Abolarin, S. M., & Lagrange, L. (2023). Economics of deploying LED lamps as energy efficiency measure in the Senate building of the University of Lagos using time series analysis. *Materials Today: Proceedings*, July. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.019>
- Arjunan, K. (2020). Validity of NPV Rule and IRR Criterion for Capital Budgeting and CBA. *SSRN Electronic Journal*, November. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3505058>
- Asmawati, E., Purba, M., & Idayani, J. (2016). *Analisis Ekonomi Penggunaan Energi Listrik Untuk Penerangan*.
- Badan Pusat Statistik. (2024a). *Suku Bunga Kredit Rupiah Menurut Kelompok Bank*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzgZIZI=/rupiah-credit-interest-rates-by-group-of-banks.html>
- Badan Pusat Statistik. (2024b). *Tingkat Diskonto*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mzc5IZI=/bi-rate.html>

- Bank Indonesia. (2024). *Data Inflasi*. <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>
- Birkha Mohd Ali, S., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Mamun, M. A. A., & Obaidellah, U. H. (2021). Analysis of energy consumption and potential energy savings of an institutional building in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 805–820. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.010>
- Budaiwi, I. M., & Abdul Fasi, M. (2023). Assessing the Energy-Saving Potential and Visual Comfort of Electrochromic Smart Windows in Office Buildings: A Case Study in Dhahran, Saudi Arabia. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/su15129632>
- Chowdhury, N., Hossain, C. A., Longo, M., & Yaïci, W. (2020). Feasibility and cost analysis of photovoltaic-biomass hybrid energy system in off-grid areas of Bangladesh. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041568>
- Dubois, M.-C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review. *Energy Research Journal*, 6(1), 25–41. <https://doi.org/10.3844/erjsp.2015.25.41>
- Gavioli, M., Tetri, E., Baniya, R. R., & Halonen, L. (2015). Lighting Retrofitting : Improving Energy Efficiency and. *28th CIE Session, June 28 – July 4, Dubois 2011*, 1903–1911.
- Hasyim Rosma, I., Burhan, H. C., Abdul jalil, F., Huda, F., Putra, A. I., & Jamaan, A. (2023). Program Evaluasi Penghematan Konsumsi Energi Listrik pada Gedung Tiga Lantai di Politeknik Pelayaran Sumatera Barat. *BATOBO: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 56–63. <https://doi.org/10.31258/batobo.1.2.56-63>
- Horyński, M. (2012). *Energy efficient control of lighting in an intelligent building*. 12(1), 61–67. agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-05b928a9-bd36-4afc-937c-95338aa10bee/c/m.pdf
- IEA. (2022). Roadmap for Energy-Efficient Buildings and Construction in ASEAN. In *IEA ASEAN*. <https://doi.org/10.1787/bda80fad-en>
- Irwangsa, D. P., & Windarta, J. (2023). Rancangan dan Implementasi Sistem Manajemen Energi dan Audit Energi Berbasis ISO: 50001 di Kampus Universitas Islam Kalimantan. *Kinematika*, 8(2), 94–108. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v8i2.265>
- Jum'atullah, Irzan Zakir, & Massus Subekti. (2020). Simulasi Kuat Penerangan Gedung Bertingkat Menggunakan Software Dialux Evo 6.2. Di Gedung L1 Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta. *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 3(2), 28–31. <https://doi.org/10.21009/jevet.0032.07>
- Khamharnphol, R., Kamdar, I., Waewsak, J., Chiwamongkhonkarn, S., Khunpetch, S., Kongruang, C., & Gagnon, Y. (2023). Techno-Economic Assessment of a 100 kWp Solar Rooftop PV System for Five Hospitals in Central Southern Thailand. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(1), 77–86. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.46864>
- Okoe, M., Opoku, R., Uba, F., Obeng, G. Y., Sekyere, C. K. K., & Nyanor, P. (2023). Techno-economic and environmental estimation assessment of floating solar PV power generation on Akosombo dam reservoir in Ghana. *Energy Reports*, 10, 2740–2755. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.073>
- Park, J. Y., Dougherty, T., Fritz, H., & Nagy, Z. (2019). LightLearn: An adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning. *Building and Environment*, 147(August 2018), 397–414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.028>
- PLN. (2023). *Statistik PLN (Unaudited)*. 3. <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2024/03/Statistik-PLN-2023-Unaudited->

[28.2.24.pdf](#)

- PLN. (2024). *Tarif Adjustment*. https://web.pln.co.id/statics/uploads/2024/03/Penetapan-Penyesuaian-TTL-TARIFF-ADJUSTMENT-Apri-Juni-2024_1-1.jpg
- Pramono, L., Linawati, L., & Hartati, R. S. (2023). Analisis Efisiensi Energi antara Lampu LED dan Lampu Konvensional (Studi kasus: Pada Hotel Cap Karoso). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(2), 229. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i02.p10>
- Qiao, Q., Yunusa-Kaltungo, A., & Edwards, R. E. (2021). Towards developing a systematic knowledge trend for building energy consumption prediction. *Journal of Building Engineering*, 35(November 2020), 101967. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101967>
- Ramadhon, A. D. (2021). Audit Energi Dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Di Pt. Harmoni Putra Solusindo Semarang. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Semarang*, 5–31.
- Rehman, S. (2005). Prospects of wind farm development in Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 30(3), 447–463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.04.008>
- RETScreen. (2005). *RETScreen Software Online User Manual ®: Biomass Heating*. <https://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=https://publications.gc.ca/collections/Collection/M39-114-2005E.pdf>
- Riyadi, S. J. M. T. (2022). Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan dan Air Conditioning di Gedung Graha Mustika Ratu. *FT Seminar Nasional SINERGI ENERGI & TEKNOLOGI*, 107–121.
- Suharto. (2016). Analisis Penghematan Energi Listrik Pada Rumah Sakit Umum Daerah Dokter Soedarso Pontianak. *Jurnal Elkha*, 8(1), 13–19. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/download/16192/>
- Sun, J., Liu, G., Sun, B., & Xiao, G. (2021). Light-stacking strengthened fusion based building energy consumption prediction framework via variable weight feature selection. *Applied Energy*, 303(August), 117694. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117694>
- Surya Ganesputra, I. M., Janardana, L. G. N., & Budiastra, I. N. (2022). Studi Manajemen Energi Listrik Dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik Pada Gedung Pengadilan Negeri Denpasar. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(2), 120. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p14>
- U.S. Department of Energy. (2015). Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies. *Quadrennial Technology Review, An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities*, September, 143–181. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/qtr-2015-chapter5.pdf>
- Wagiman, K. R., Abdullah, M. N., Hassan, M. Y., Mohammad Radzi, N. H., Abu Bakar, A. H., & Kwang, T. C. (2020). Lighting system control techniques in commercial buildings: Current trends and future directions. *Journal of Building Engineering*, 31(March), 101342. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101342>