

Kajian teoritik perbandingan biaya penerangan lampu jalan umum berbasis panel surya dengan konvensional di Indonesia

Frisco Deviano Pradiva¹, Fersyano Daviano Pradiva¹, Yudi Kurniawan²

¹Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan

²Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan

Penulis Korespondensi : Yudi Kurniawan (yudi.kurniawan@poltekba.ac.id)

ABSTRAK

Penerangan Jalan Umum (PJU) memiliki peran penting dalam mendukung keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, terutama di malam hari. Terdapat dua sistem utama yang banyak diterapkan, yaitu PJU tenaga surya (PJUTS) dan PJU konvensional yang menggunakan listrik PLN. Kajian teoritis ini dilakukan untuk membandingkan keduanya dari sisi biaya investasi awal, biaya operasional tahunan, serta biaya pemeliharaan dan penggantian komponen dalam periode 20 tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa PJUTS memerlukan biaya investasi awal yang relatif lebih tinggi, namun memiliki biaya operasional yang rendah karena tidak dibebani tagihan listrik bulanan. Sebaliknya, PJU konvensional memiliki investasi awal lebih rendah, tetapi disertai tagihan listrik rutin dan biaya perawatan berkala yang menyebabkan total biaya menjadi lebih besar dalam jangka panjang. PJUTS dinilai lebih sesuai diterapkan di wilayah terpencil atau daerah yang belum terjangkau jaringan PLN, sedangkan PJU konvensional tetap relevan untuk daerah perkotaan yang telah memiliki infrastruktur listrik memadai. Kajian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah dan pemangku kebijakan dalam menentukan pilihan sistem PJU yang lebih ekonomis, efisien, dan berkelanjutan sesuai kondisi wilayah dan kebutuhan setempat.

KATA KUNCI Penerangan jalan umum; panel surya; biaya investasi; biaya operasional; PJU konvensional.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan SNI 7391 tahun 2008, penerangan jalan umum termasuk dalam kebutuhan dasar masyarakat yang wajib disediakan oleh pemerintah daerah atau kota sebagai bentuk tanggung jawab dan pelayanan kepada masyarakat [1]. Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan lampu penerangan yang digunakan untuk kepentingan umum dan umumnya dipasang sepanjang jalan serta di lokasi-lokasi tertentu seperti taman dan area publik lainnya [2].

PJU memiliki peran penting sebagai sumber pencahayaan di jalan [3]. PJU berfungsi untuk memberikan visibilitas yang lebih baik bagi pengguna jalan dalam kondisi pencahayaan yang kurang, terutama di malam hari. Pencahayaan yang cukup diharapkan mampu meningkatkan keselamatan lalu lintas serta memberikan rasa aman bagi seluruh pengguna jalan [4].

Sistem operasional PJU umumnya terbagi menjadi dua model, yakni model *timer* dan model *sensor*. Model *timer* berfungsi untuk mengatur waktu menyala dan mematikan lampu berdasarkan jadwal yang sudah ditentukan, sedangkan model *sensor* bekerja dengan mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Saat kondisi gelap, lampu akan menyala secara otomatis,

sedangkan saat kondisi terang, lampu akan otomatis mati [5].

Lampu penerangan jalan umum, dibagi menjadi 2 berdasarkan sumber energi listriknya, yaitu PJU yang menggunakan sumber listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan PJU yang memanfaatkan energi dari sinar matahari yang dikonversi menjadi listrik melalui panel surya [6]. PJU merupakan infrastruktur penting yang mendukung aktifitas masyarakat serta mendorong pertumbuhan ekonomi. Meski demikian, pemasangan PJU masih menghadapi sejumlah hambatan, terutama di wilayah yang masih belum terjangkau aliran listrik dari PLN. Selain itu, penggunaan PJU yang masih bergantung langsung pada daya PLN juga memberikan beban tambahan. Pada tahun 2016, kebutuhan daya untuk PJU tercatat mencapai 1043 MVA yang seluruhnya disuplai oleh PLN [7].

Tingginya konsumsi energi dan emisi dari LPJU disebabkan oleh masih dominannya penggunaan teknologi yang tidak efisien dan memiliki umur operasional yang pendek, serta karena Sebagian besar pasokan listrik dari PLN (sekitar 89,53%) masih bersumber dari energi fosil [8].

Energi Baru dan Terbarukan (EBT) adalah bentuk pemanfaatan energi yang ramah lingkungan, dengan sumber daya yang berasal dari sinar matahari, angin, air, serta biomassa. Di Indonesia, potensi pemanfaatan EBT khususnya dari tenaga surya sangat besar. Penggunaan energi ini juga berperan penting dalam menurunkan emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak perubahan iklim [9]. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) hadir sebagai solusi efisien untuk mengurangi konsumsi listrik pada PJU konvensional [10].

Matahari adalah sumber energi alternatif terbesar yang tersedia di bumi. Energi yang dihasilkan oleh matahari sangat berlimpah dan tidak mencemari lingkungan. Karena itulah, semua makhluk hidup bergantung pada matahari sebagai sumber utama kehidupan [11]. Dalam kondisi cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per meter persegi. Dari total energi tersebut, kurang dari 30% dipantulkan kembali ke luar angkasa, sekitar 47% diubah menjadi panas, dan sekitar 23% dimanfaatkan untuk mendukung berbagai proses sirkulasi alami di permukaan bumi. Sebagian kecil, yaitu sekitar 0,25%, tersimpan dalam bentuk energi angin, gelombang, dan arus laut, sementara hanya sekitar 0,025% yang diserap oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis.[12]

Pemanfaatan energi alternatif seperti energi matahari sebenarnya sudah dilakukan sejak lama. Hal ini terlihat dari semakin banyaknya penerangan jalan umum (PJU) yang terpasang di jalan utama maupun kawasan permukiman, yang menggunakan *solar cell* sebagai sumber energi alternatif [13]. Walaupun biaya awal pemasangan lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) tergolong mahal, namun seiring berjalannya waktu, sistem ini terbukti lebih hemat dibandingkan dengan penggunaan listrik dari PLN.[14] Sel surya merupakan alat berbahan semikonduktor yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik melalui proses fotovoltaiik [15].

Sifat kelistrikan dari modul surya umumnya digambarkan melalui karakteristik hubungan antara arus dan tegangan. Panel surya menghasilkan tegangan searah (DC) sebagai outputnya. Daya input dari panel surya bergantung pada intensitas cahaya matahari (W/m^2) serta luas permukaan panel (m^2). Energi matahari atau radiasi cahaya terdiri atas foton-foton yang memiliki tingkat energi yang beragam. Variasi energi ini menentukan panjang gelombang dalam spektrum cahaya. Saat foton mengenai permukaan sel fotovoltaiik, sebagian akan dipantulkan, diserap, atau menembus lapisan sel tersebut. Foton yang berhasil diserap akan memicu proses pembangkitan energi listrik dalam sel fotovoltaiik [16].

Struktur sel surya umumnya terdiri dari beberapa lapisan yang saling mendukung dalam proses konversi energi cahaya matahari menjadi listrik. Lapisan paling luar biasanya berupa material transparan, seperti kaca atau plastik, yang berfungsi melindungi sel surya dari faktor lingkungan seperti debu, kelembapan, dan benturan, sekaligus memastikan cahaya matahari dapat menembus permukaan secara optimal [17].

Lampu Jalan Tenaga Surya menggunakan lampu LED tipe hi-power yang memiliki tingkat kecerahan tinggi, efisiensi energi yang baik, serta daya tahan yang lama [18]. Panel surya menyerap energi dari sinar matahari sejak pagi hingga sore hari dan mengonversinya menjadi listrik selama matahari masih bersinar [19].

Namun, penerapan teknologi PJUTS hingga saat ini masih belum meluas, salah satu alasannya adalah karena adanya anggapan bahwa biaya investasi awalnya lebih tinggi dibandingkan sistem penerangan konvensional. Oleh karena itu, diperlukan kajian teoritis yang secara khusus membandingkan aspek biaya antara sistem PJUTS dan PJU konvensional, baik dari sisi biaya awal pengadaan dan pemasangan, maupun biaya operasional dan perawatan jangka panjang.

Penelitian ini menganalisis perbandingan biaya PJU tenaga surya dan konvensional secara teoritis, dengan fokus pada biaya total operasional untuk menilai efektivitas dan efisiensi ekonominya sebagai dasar pemilihan sistem yang lebih hemat dan berkelanjutan.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian literatur dan analisis teoritis dengan tujuan membandingkan komponen biaya antara sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) dan Penerangan Jalan Umum konvensional (PJU-PLN) di beberapa daerah di Indonesia, seperti pada kasus di Jalan Ir. H. Juanda Kota Medan dan Pulau Laut Tengah Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan. Analisis dilakukan terhadap data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya, seperti jurnal ilmiah. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1)Biaya Investasi Awal: meliputi harga pembelian komponen (panel surya, baterai, lampu, tiang, inverter, kabel), biaya instalasi, dan biaya pengadaan awal sistem PJU-PLN.
- 2)Biaya Operasional dan Perawatan: mencakup biaya listrik bulanan (untuk PJU konvensional), biaya penggantian komponen, serta biaya pemeliharaan tahunan untuk kedua sistem.
- 3)Umur Ekonomis Komponen: estimasi masa pakai panel surya, baterai, dan lampu LED, serta perhitungan penggantian.
- 4)Asumsi Umum: Biaya dinormalisasi ke dalam satuan rupiah per unit lampu per tahun, dengan periode evaluasi selama 10–20 tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Di daerah Jalan Ir . H Juanda, Kota Medan.

Di daerah Jalan Ir. H Juanda, Kota Medan, merupakan kawasan perkotaan padat dengan infrastruktur listrik PLN yang sudah tersedia dan stabil. PJU konvensional di sini menggunakan lampu SON T berdaya 250 watt yang menghasilkan intensitas penerangan cukup tinggi. Namun, tingginya konsumsi daya dapat menyebabkan biaya operasional PJU konvensional di Medan sangat besar. Untuk perhitungan keseluruhan total biaya pembelian material awal untuk membuat PJU konvensional dapat dilihat pada Tabel 1 .

Tabel 1. Biaya investasi PJU konvensional [20].

Jenis Material	Jumlah	Biaya Total (Rp)	Umur
Tiang PJU	28	246.000.000	30 Thn
Lampu Son T	56	21.280.000	15 Thn
Balast Sodium	56	25.200.000	3 Thn
Ignitor SN 58	56	4.480.000	3 Thn
Kapasitor 20 mF	56	2.800.000	3Thn
Armatur Lampu	56	78.400.000	10 Thn
Panel APP	1	6.400.000	3 Thn
MCB 1 phasa	12	1.152.000	3 Thn
MCB 3 phasa	1	550.000	3 Thn
Kabel NYM 2 x 2.5 mm2	± 255 m	2.295.000	30 Thn
Kabel NYFGbY 4 x 10 mm2	± 1.200 m	82.200.000	
Kabel NYFGbY 4 x 16 mm2	+ 30 m	2.955.000	
Biaya Penyambungan kwh-meter (Listrik dari PLN)	17.500 VA	13.562.000	
Biaya instalasi material pertiang + Panel APP (gaji & sewa peralatan)	28 Tiang	42.000.000	
Biaya Total	Rp529.474.000		

Perhitungan keseluruhan total biaya pembelian material awal untuk PJU solar cell dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Biaya investasi PJU panel surya [20].

Jenis Material	Jumlah	Biaya Total	Umur
Tiang PJU	28	266.000.000	30 thn
Panel surya 80 watt peaks	112	380.800.000	25 thn

Lampu LED 43 watt	56	84.000.000	40.000 jam
Armatur Lampu	56	78.400.000	10 thn
Baterai 150 Ah	56	2.800.000	2.600 kali pengisian
Solar Charge Controller	56	78.400.000	10thn
Box (Baterai, Solar Charge Controller)	56	123.200.000	30 thn
Biaya instalasi material pertiang + Panel APP (gaji & sewa peralatan)	28 tiang	42.000.000	
Biaya Total	Rp 1.122.800.000		

kebijakan pemerintah, pada tahun 2013 TDL (Tarif Dasar Listrik) ditetapkan berubah setiap tiga bulan, sehingga biaya beban PJU konvensional selama satu tahun dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya beban [20].

Keterangan	$E_{load} / \cos\phi$ (KVA)	Biaya Blok II (Rp - /KVA)	Biaya Beban [3 x 40 x ($E_{load} / \cos\phi$) x Biaya Blok I]
Januari – Maret	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
April – Juni	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
Juli – September	17,5	1380	Rp 2.898.000,00
Oktober – Desember	17,5	997	Rp 2.093.700,00
Biaya Total	Rp 10.787.700,00		

Biaya pemakaian listrik dihitung menggunakan persamaan (3), dan hasil perhitungannya dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya pemakaian Listrik [20].

Keterangan	E_{load} Kw	t jam	TDL (Rp /Kwh)	Biaya Pemakaian Listrik ($E_{load} \times t \times TDL$)
Januari – Maret	14	1080	861	13.018.320,00
April – Juni	14	1092	904	13.820.352,00
Juli – September	14	1104	949	14.667.744,00
Oktober – Desember	14	1104	997	15.409.632,00
Biaya Total	Rp 56.916.048,00			

Biaya operasional PJU konvensional terdiri dari biaya rekening listrik, yaitu biaya beban dan biaya

pemakaian listrik, dengan total pada tahun 2013 sebesar Rp 67.703.748,00 (Rp 56.916.048,00 + Rp 10.787.700,00). Sementara itu, biaya operasional PJU tenaga surya berupa biaya pembersihan panel surya setiap tiga bulan sekitar Rp 500.000,00 atau Rp 2.000.000,00 per tahun. Dengan asumsi kenaikan harga material sebesar 10% per tahun dan kenaikan TDL sebesar 5% per tahun, perkiraan biaya operasional ditampilkan pada Tabel 5.

Perhitungan biaya perawatan PJU didasarkan pada biaya penggantian material sesuai usia pakainya yang tercantum dalam produk tersebut. Perhitungan biaya perawatan PJU konvensional dan PJU tenaga surya dapat dilakukan menggunakan persamaan (4).

a. Dengan asumsi kenaikan harga material PJU konvensional sebesar 10% per tahun, maka perkiraan biaya perawatan dapat dilihat pada Tabel 5. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut: SON T 250 watt + Balast Sodium 250 watt + Ignitor SN 58 + Kapasitor 20 mF + MCB (1Ø & 3Ø) senilai Rp 84.022.000,00. Dengan rumus $F_v = P_v [(1 + i)^N] = 84.022.000[(1 + 0,1)^3]$ = Rp 111.833.282.

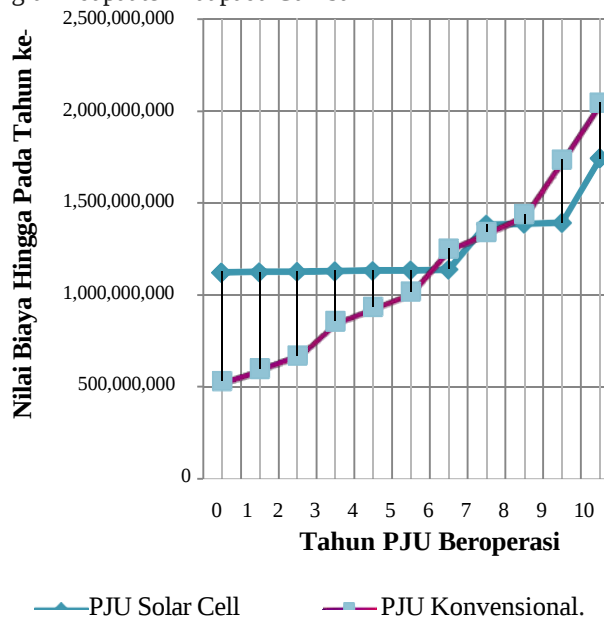
b. Sedangkan untuk PJU tenaga surya, juga dengan perkiraan kenaikan harga material 10% per tahun, estimasi biaya perawatan dapat dilihat pada Tabel 5. Sebagai contoh, untuk baterai 150 Ah seharga Rp 123.200.000,00 dihitung dengan rumus $F_v = P_v [(1 + i)^N] = 123.200.000[(1 + 0,1)^7]$ [20].

Tabel 5. Total biaya PJU [20].

Biaya Awal	PJU Konvensional		PJU Solar Cell	
	Rp 529.474.000		Rp 1.122.800.000	
Tahun Ke-	Biaya Operasional	Biaya Perawatan	Biaya Operasional	Biaya Perawatan
1	67.703.748	0	2.000.000	0
2	71.088.936	0	2.200.000	0
3	74.643.382	111.833.282	2.420.000	0
4	78.375.551	0	2.662.000	0
5	82.294.329	0	2.928.200	0
Total	Rp 1.015.413.228		Rp 1.135.010.200	
6	86.409.046	148.850.099	3.221.020	0
Total	Rp 1.250.672.373		Rp 1.138.231.220	
7	90.729.498	0	3.543.122	240.240.000
Total	Rp 1.341.401.871		Rp 1.382.014.342	
8	95.265.973	0	3.897.435	0
Total	Rp 1.436.667.844		Rp 1.385.911.777	
9	100.029.272	198.119.481	4.287.178	0
Total	Rp 1.734.816.597		Rp 1.390.198.955	
10	105.030.735	203.840.000	4.715.896	342.160.000
Total	Rp 2.043.830.012		Rp 1.737.074.851	

$F_v = \text{Rp}240.240.000$

Adapun isi Tabel 5 disederhanakan dalam bentuk grafik dapat terlihat pada Gambar 1



Gambar 1. Kurva biaya break even poin PJU konvensional vs PJU solar cell

2. Di daerah Pulau Laut Tengah Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan.

Kabupaten Kotabaru, khususnya Kecamatan Pulau Laut Tengah, memiliki wilayah yang luas dengan banyak area yang belum terjangkau jaringan distribusi listrik PLN. Kondisi geografis ini memunculkan kebutuhan akan sistem penerangan jalan umum (PJU) yang dapat berfungsi secara mandiri dan andal. Salah satu alternatif yang potensial dikembangkan adalah penggunaan PJU tenaga surya (PJU-TS) yang memanfaatkan energi terbarukan dan ramah lingkungan. Sebagai daerah dengan intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi, penggunaan PJU tenaga surya dinilai layak untuk mengurangi ketergantungan pada listrik PLN, sekaligus menghemat biaya operasional jangka panjang.

Berikut jumlah PJU konvensional dan PJU panel surya di pulau laut tengah

Tabel 6. Jumlah Unit PJU dan PJU-TS di Pulau Laut Tengah [21].

No	Wilayah (Desa)	PJU - PLN	PJU -TS
1	Pantai Baru	15	26
2	Sungup	15	20
3	Selaru	31	18
4	Mekarpura	15	10
5	Salino	20	19
6	Samisir	-	-
TOTAL		96	93

A. Analisis Biaya PJU Listrik PLN

Besarnya biaya yang harus dibayar oleh pemda untuk penerangan jalan umum yang ada di pulau laut tengah yang menggunakan lampu

penerangan jalan listrik PLN dengan jumlah 96 titik lampu adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Tagihan Pembayaran Listrik PJU Listrik [21].

N0	NAMA	ALAMAT	TRP	DAYA	KWH	PLN	TAGIHAN
1	Pju Mekarpura	Mekarpura	P3	2200	88	101223	303.757
2	Pju Pantai Baru	Jl.Pantai Baru	P3	5500	220	256453	256453
3	Pju Sungup	Jl.Sungup Kanan	P3	3500	140	201221	201221
4	Pju Salino	Salino	P1	3500	140	120512	120512
5	Pju Selaru	Selaru	P3	8500	340	391489	391489
6	Pju Gardu Mkp 04	Mekarpura	P3	900	36	51398	51398
7	Pju Gardu Mkp 04	Jl.Tj.Serdang Mekarpura	P3	1300	52	59513	59513
8	Tugu Bundaran Tj. Serdang	Mekarpura	P1	3500	140	120512	120512
9	Pju Plb 05 C4	Jl.Tj.Serdang	P3	1300	52	59805	59805
10	Pju Plb 05 A2	Jl.Tj.Serdang	P3	1300	52	59805	59805
	Pju Mekarpura	Jl.SALINORT. RW. No.	P3	900	36	51524	51524

Total biaya yang harus dibayarkan Pemda Kotabaru setiap bulan untuk tagihan listrik PJU Listrik PLN di Pulau Laut Tengah sebesar Rp 1.675.989. Namun, pada

kenyataannya lampu PJU tersebut sudah tidak berfungsi atau tidak menyala, sehingga tagihan tersebut hanya merupakan tagihan minimum yang tetap harus dibayar.

Tabel 8. Rincian Biaya Investasi PJU Listrik PLN

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
I. Pekerjaan persiapan				
1.	Papan nama proyek	1 bh	344.221	344.221
2.	Transportasi material	1 ls	1.262.000	1.262.000
II. Pekerjaan pemasangan				
1.	Pengadaan dan pemasangan PJU Kap stainless pada tiang besi	33 set	584.910	19.302.030
2.	Kabel twisted 2x16mm	1815 mtr	12.000	21.780.000
3.	Kabel NYM 2x2,5 mm	99 mtr	9.500	940.500
4.	Ajustable dead assy (AL)	66 bh	35.200	2.323.860
5.	Box panel (KWH) kaca 20x40x60 cm	1 bh	1.568.860	1.568.860
6.	Isolasi	15 bh	5.000	75.000
III. Jasa/upah				
1.	Biaya pasang baru daya 3500 VA	1 ls	5.250.000	5.250.000
2.	Biaya sertifikat laik operasi	1 ls	200.000	200.000
Jumlah				54.545.811
Dibulatkan				54.550.000

Dengan demikian, biaya investasi untuk satu unit PJU listrik PLN sebesar Rp 16.530.300 (dari total Rp 54.550.000 dibagi 33 unit). Selanjutnya, besarnya tagihan listrik per titik PJU Listrik PLN dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Daya per bulan} = \text{daya lampu (watt)} \times \text{lama menyala}$$

$$\text{Daya per bulan} = 45 \text{ (watt)} \times 12 \text{ (jam)} \times 30 \text{ (hari)}$$

$$= 16.200 \text{ Wh}$$

$$= 16,2 \text{ kWh}$$

Biaya tagihan per bulan

$$= \text{daya per bulan} \times \text{harga 1 kWh}$$

Adapun besarnya investasi untuk pemasangan jaringan baru PJU listrik PLN dengan daya yang tersambung 3500 VA dengan jumlah lampu 33 titik

adalah sebagai berikut: [21].

$$= 16,2 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1,35$$

$$= \text{Rp } 21.902$$

Dengan demikian, biaya tagihan listrik untuk satu unit PJU listrik PLN dengan lampu LHE 45 Watt adalah sebesar Rp 21.902 per bulan, atau jika dihitung selama setahun menjadi Rp 262.824 ($\text{Rp } 21.902 \times 12$ bulan). Biaya operasional dan pemeliharaan (Operational and Maintenance Cost/O&M Cost) untuk PJU listrik PLN di Pulau Laut Utara, berdasarkan data dari Dinas Cipta Karya Perumahan dan Pemukiman Kabupaten Kotabaru, tercatat sebesar Rp 300.000.000 pada tahun anggaran 2014 dan meningkat menjadi Rp 350.000.000 pada tahun 2015. Dana tersebut

dialokasikan untuk perawatan seluruh unit PJU listrik PLN yang ada di wilayah Kabupaten Kotabaru. Perhitungan biaya O&M per titik PJU listrik PLN dilakukan dengan menjumlahkan total biaya pemeliharaan dua tahun tersebut kemudian dibagi dua

(untuk mendapatkan rata-rata tahunan) dan dibagi jumlah total PJU yang ada, yaitu 5.497 unit, sehingga diperoleh biaya O&M per unit sebesar Rp 86.410 per tahun [21].

Analisi biaya PJU-TS

Tabel 9. Biaya Investasi 1 Unit PJU-TS [21].

No.	Nama Komponen	Jml	Harga (Rp)	Total (Rp)
1	Armatur LED 40-60 Watt (IP 66) Min 5000 lumen	1set	6.600.000	6.600.000
2	Battery Min 100Ah 12 Volt, Type VRLA	2bh	2.700.000	5.400.000
3	Solar panel mono/poly crystalline min 100 Wp 12V/24V	2bh	2.250.000	5.500.000
4	BCR Controler 10 A, Automatis remot setting	1bh	1.145.000	1.145.000
5	Box Battery	1bh	2.025.000	2.025.000
6	Bracket panel solar	1bh	350.000	350.000
7	Lengan panel solar	1bh	450.000	450.000
8	Tiang galvanis oktagon 9 m cab1	1bh	6.075.000	6.075.000
9	Pengkabelan	1set	1.500.000	1.500.000
10	Pondasi tiang PJU beton	1unit	1.350.000	1.350.000
11	Pemasangan armature LED + Tiang Cab 1	1 titik	1.740.000	1.740.000
	Jumlah			32.135.000

Total biaya untuk satu unit PJU-TS adalah Rp 32.135.000, sedangkan untuk 93 unit mencapai Rp 2.988.555.000.

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Biaya pemeliharaan dan operasional tahunan untuk sistem PLTS umumnya dihitung sebesar 1–2% dari total investasi awal. Dalam penelitian ini, ditetapkan sebesar 1% karena di Indonesia hanya terdapat dua musim, sehingga kebutuhan pembersihan dan perawatan panel surya tidak sebesar negara dengan empat musim. Dengan perhitungan tersebut, total biaya O&M untuk 93 unit PJU-TS adalah Rp 29.885.550 per tahun. Jika dibagi per unit, biaya O&M per tahun menjadi Rp 321.350.

Biaya Penggantian Baterai

Biaya penggantian baterai biasanya dihitung berdasarkan umur rata-rata pakainya. Pada penelitian ini, usia baterai (accu) diasumsikan selama 5 tahun, sehingga perlu diganti setiap 5 tahun sekali. Dalam periode proyek selama 20 tahun, akan dilakukan penggantian baterai sebanyak 4 kali ($20/5 = 4$). Biaya penggantian ini kemudian dirata-ratakan dan ditambahkan ke dalam biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) tahunan PJU-TS.

Perhitungan detailnya adalah: harga satu unit baterai sebesar Rp 1.350.000 dikalikan dengan total kebutuhan baterai ($93 \text{ unit} \times 4 \text{ kali penggantian} = 372$), lalu dibagi 20 tahun, sehingga diperoleh biaya tahunan sebesar Rp 25.110.000 untuk 93 unit. Jika dibagi per unit, biayanya menjadi Rp 270.000 per tahun.

Dengan demikian, total biaya O&M per tahun untuk setiap unit PJU-TS adalah hasil penjumlahan antara

Biaya energi pada PJU-TS berbeda dengan pembangkit listrik konvensional, karena lebih banyak ditentukan oleh besarnya investasi awal yang cukup tinggi, sedangkan biaya pemeliharaan dan operasionalnya relatif rendah.

1. Biaya Investasi

Investasi awal PJU-TS di Pulau Laut Tengah mencakup berbagai komponen dan biaya pemasangan sistem PLTS. Komponen tersebut meliputi pembelian panel surya, charger controller, baterai, tiang PJU, dan perlengkapan pendukung lainnya

biaya O&M (1% dari investasi awal) sebesar Rp 321.350 dan biaya penggantian baterai Rp 270.000, yaitu Rp 591.350 per unit per tahun.

Perbandingan biaya antara PJU listrik PLN dan PJU-TS kemudian dilakukan dengan mempertimbangkan total biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, serta tagihan listrik PLN selama periode 20 tahun sesuai masa garansi panel surya.

Tabel 10. Perbandingan Biaya untuk 1 unit PJU [21].

Biaya	PJU TS		PJU Listrik PLN	
	1 Tahun	20 Tahun	1 Tahun	20 Tahun
Investasi	32.135.00	32.135.000	16.530.300	16.530.300
O & M Cost	591.350	11.827.000	86.410	1.728.200
Tagihan PLN	-	-	262.824	5.256.480
Total	32.726.350	43.962.000	16.879.534	23.514.980

Dari segi ekonomi, penggunaan PJU tenaga surya dinilai lebih menguntungkan dibandingkan PJU listrik PLN. Meski jika dilihat pada tabel 4.5 total biaya investasi dan operasional PJU tenaga surya selama 20 tahun untuk satu unit mencapai Rp 43.962.000, lebih tinggi dibandingkan PJU listrik PLN yang hanya Rp 23.514.980, hal ini terjadi karena perhitungan tersebut tidak memasukkan biaya pembangunan jaringan distribusi dan transmisi, serta energi yang dihasilkan oleh panel surya juga tidak dihitung atau dikonversi menjadi nilai rupiah. Akibatnya, secara nominal biaya PJU tenaga surya terlihat lebih mahal.

Namun, PJU tenaga surya tidak memiliki tagihan

listrik bulanan, sedangkan PJU listrik PLN tetap menimbulkan tagihan setiap bulan, bahkan meskipun lampunya tidak menyala atau tidak ada konsumsi energi, tetap muncul biaya minimum atau biaya beban. Hal ini terjadi karena sistem PJU listrik PLN menggunakan KWH Meter Analog atau sistem pembayaran pascabayar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian teoritis perbandingan biaya Penerangan Jalan Umum (PJU) tenaga surya (PJUTS) dan PJU listrik PLN di dua wilayah, diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1) Di Jalan Ir. H. Juanda Kota Medan, biaya investasi awal PJU tenaga surya sebesar Rp 1.122.800.000 lebih tinggi dibandingkan PJU listrik PLN yang sebesar Rp 529.474.000. Namun, PJU listrik PLN memiliki biaya operasional dan perawatan tahunan yang terus meningkat akibat tarif dasar listrik (TDL) dan umur pakai komponen yang pendek. Sementara itu, PJUTS memiliki biaya operasional dan pemeliharaan yang lebih rendah karena hanya membutuhkan perawatan rutin dan tidak ada tagihan listrik bulanan.
- 2) Di Pulau Laut Tengah Kabupaten Kotabaru, untuk satu unit PJU listrik PLN total biaya selama 20 tahun terdiri dari biaya investasi awal Rp 16.530.300, biaya O&M Rp 1.728.200, serta tagihan listrik Rp 5.256.480, sehingga totalnya menjadi Rp 23.514.980. Sedangkan PJUTS memerlukan investasi awal Rp 32.135.000 dan biaya O&M tahunan (termasuk penggantian baterai) sebesar Rp 591.350, sehingga total biaya selama 20 tahun adalah Rp 43.962.000.
- 3) Secara nominal, biaya PJUTS terlihat lebih tinggi karena tidak dihitung nilai manfaat energi listrik yang dihasilkan. Namun PJUTS lebih unggul karena tidak ada biaya tagihan listrik bulanan dan lebih cocok diterapkan di daerah tanpa jaringan listrik PLN, sedangkan PJU listrik PLN lebih ekonomis di daerah yang sudah memiliki jaringan listrik.

Dengan demikian, pemilihan antara PJUTS dan PJU listrik PLN perlu mempertimbangkan kondisi wilayah dan ketersediaan jaringan listrik untuk mendapatkan solusi penerangan jalan yang paling hemat dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Effendi, A. Yuana Dewi, and L. Elvira, "Peluang Penghematan Energi Pada Penerangan Jalan Umum Kabupaten Padang Pariaman di Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) Rayon Pariaman Feeder Kampung Dalam," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 51–60, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133708.
- [2] H. Apridzal, "Analisis Ekonomi Penggunaan Lampu Led Sebagai Alternatif Pengganti Lampu Konvensional Pada Pju Di Kota Pontianak," no. 2, 2018.
- [3] A. H. Santoso, A. Hermawan, and M. A. W. Panantuan, "Studi Perencanaan Penerangan Jalan Umum Panel Surya di Kelurahan Gading Kasri Kecamatan Klojen," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 16–21, 2023, doi: 10.33795/elposys.v8i1.29.
- [4] R. R. Bunahri, "Analisis Perbandingan Ekonomis Penggunaan Penerangan Jalan Umum Solar Cell dengan Penerangan Jalan Umum Konvensional di Bandar Udara Djalaluddin Gorontalo," *SKY EAST Educ. Aviat. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 68–79, 2023, doi: 10.61510/east.v1i1.10.
- [5] O. A. Saputra, "Studi Pemanfaatan Pju Menggunakan Panel Surya Terhadap Nilai Ekonomi Bagi Masyarakat Desa Karangmojo Di Kabupaten ...," 2024, [Online]. Available: [http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/38231%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/38231/2/Magister Teknik Elektro_20602200006_fullpdf.pdf](http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/38231%0Ahttp://repository.unissula.ac.id/38231/2/Magister%20Teknik%20Elektro_20602200006_fullpdf.pdf)
- [6] D. Sanaha, I. Irzaman, and S. Mulatsih, "Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Lampu Penerangan Jalan Umum Panel Surya di Kota Sukabumi," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.)*, vol. 10, no. 1, pp. 77–88, 2020, doi: 10.29244/jpsl.10.1.77-88.
- [7] S. Smart, L. Pju, and A. Q. A, "SALJU (Smart Lampu PJU)," vol. 02, no. 01, pp. 21–24.
- [8] B. Suprihambodo, "Instalasi Penerangan Jalan Umum," *AINET (Jurnal Inform.)*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2010.
- [9] N. Caroko, M. Nadjib, S. A. P. J. N. N. Rosyidi, S. B. Lesmana, and T. K. Hariadi, "Penerangan Jalan Umum Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Desa Sidoharjo Kabupaten Kulon Progo," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 6, no. 6, p. 5119, 2022, doi: 10.31764/jmm.v6i6.11516.
- [10] A. Ullah and R. M. Oktaviandra, "Implementasi Penghematan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) di Jalan Kolektor Primer," *Semin. Nas. Teknol. Inf. Komun. dan Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 356–363, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/11224>
- [11] T. Hidayat, Y. Yulisman, and M. Kamil, "Studi Perencanaan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya Sistem Terpusat Untuk Jalan Binuang, Ngarai Sianok, Kabupaten Agam ...," ... *Community Serv. ...*, vol. 4, no. 1, pp. 42–48, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.ensiklopediaiku.org/ojs-2.4.8-3/index.php/erw/article/view/2877>
- [12] Tri Wahyu Oktaviana Putri; et al, "Pemanfaatan Energi Surya untuk Penerangan Jalan & Fasilitas," *J. Pengabd. Pada Masy. Menerangi Negeri*, vol. 1, no. 2, pp. 128–136, 2019.
- [13] S. Mulyanto (SCOPUS ID 57190940497), Y. Kurniawan, A. Arwin, and H. Dwimas, "Perbandingan Variasi Bahan Insulasi terhadap Temperatur di dalam Ruang Box Panel Listrik Akibat Terpapar Sinar Matahari," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 12, no. 2, pp. 163–167, 2024, doi: 10.32487/jtt.v12i2.2270.
- [14] S. Anas, D. A. M, and I. K. Sari, "Panel Surya pada Penerangan Jalan Umum dalam Mengurangi Beban Listrik PLN di Desa Bintang Bunyu," vol. 15, no. 1, pp. 1–11, 2025.
- [15] A. Reskyl et al., "Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum Berbasis Solar Cell Terpusat Pada

- Universitas Halu Oleo,” *Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 1, pp. 101–116, 2024.
- [16] Sulanjari and D. Osa Oktavian, “Analisis Unjuk Kerja Panel Surya Berkapasitas 50 Wp Sebagai Sumber Energi Lampu Penerangan Jalan Umum,” *Sci. Sacra J. Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 189–193, 2022, [Online]. Available: <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>
- [17] D. H. Gultom, A. Dani, and B. Satria, “Analisis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Penyedia Energi Untuk Lampu Penerangan Jalan di Desa Parsibarungan,” vol. 4, no. 2, pp. 5247–5256, 2025.
- [18] D. T. Nugroho, A. Mubyarto, A. W. Wardhana, W. H. Purnomo, and I. Rosyadi, “Pemanfaatan Lampu Bertenaga Surya untuk Penerangan Situs Cagar Budaya di Desa Jompo Kulon Kabupaten Banyumas,” *RENATA J. Pengabd. Masy. Kita Semua*, vol. 1, no. 2, pp. 33–40, 2023, doi: 10.61124/1.renata.7.
- [19] S. Mulyanto, Y. Kurniawan, Arwin, H. Dwimas, and N. Huda, “Kajian Pemasangan Lampu Penerangan Jalan Umum dengan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif di Politeknik Negeri Balikpapan,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 340–348, 2023, doi: 10.33379/gtech.v8i1.3669.
- [20] D. B. Limbong and S. T. Kasim, “Perbandingan Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Dengan Penerangan Jalan Umum Konvensional,” *Singuda ENSIKOM*, vol. 8, no. 3, pp. 146–151, 2014.
- [21] S. Karim, “270969-Analisa-Penggunaan-Solar-Cell-Pada-Pju-D-Eadf47Ee,” vol. 02, no. 02, pp. 81–91, 2016.