



Panel Surya pada Penerangan Jalan Umum dalam Mengurangi Beban Listrik PLN di Desa Bintang Bunyu

Syafrial Anas^{1*}, Djoko Anwar M^{2*}, Intan Kumala Sari³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Batam, Batam, Indonesia

* syafrial.anas@gmail.com, djoko.anwar@univbatam.ac.id

ARTICLE INFO

Genesis Artikel:
Diterima, 11 November 2024
Direvisi, 7 November 2024
Disetujui, 5 Maret 2025

Kata Kunci:
PJUTS, sistem mandiri, Bintang
Bunyu

Keywords:
Street Lighting, standalone, Bintang
Bunyu

ABSTRACT

Bintan Island, located in the equatorial region and with a tropical climate, has high sunlight intensity and has the potential to be used as a source of electrical energy through photovoltaic solar panel technology. The Solar Street Lighting (called PJUTS) installed along 800 meters on the West Cross Road kilometers 40 in Bintang Bunyu, Riau Islands has proven as the one of utilizing solar energy application for New and Renewable Energy (called EBT). With an independent solar energy generation system (standalone) in "Installed System", it has been reduced the electricity load of PLN for street lighting by 16,263.53 kVA/year or equivalent to IDR 24,551,424.00/year. Furthermore, there is an opportunity could be improving the power saving as 26.56% from the "Improvement System" by means of decreasing PJUTS lamp post units by 20,583.53 kVA/year or equivalent to IDR 31,072,896.00/year (Ref. TDL PLN Batam April-June 2024, Group P3/TR.)

ABSTRAK

Pulau Bintan yang terletak di daerah katulistiwa dan beriklim tropis memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi dan berpotensi dijadikan sebagai sumber energi listrik melalui teknologi panel surya photovoltaic. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) yang terpasang sepanjang 800 meter di jalan lintas Barat km 40 Bintang Bunyu, Kepulauan Riau adalah sebagai bukti nyata salah satu aplikasi pemanfaatan energi tenaga surya sebagai Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Dengan pembangkit energi surya "Sistem Terpasang" mandiri ini telah meringankan beban PLN pada Penerangan Jalan Umum sebesar 16.263,53 kVA/ tahun atau setara dengan Rp. 24.551.424,00/ tahun. Kemudian ditemukan potensi penghematan pada "Sistem Perbaikan" sebesar 26,56% melalui efisiensi jumlah tiang lampu yaitu sebesar 20.583,53 kVA/ tahun atau setara dengan Rp. 31.072.896,00/ tahun (Ref. TDL PLN Batam April-Juni 2024, Gol P3/TR).

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2021 by Author. Published by Universitas Batam.



PENDAHULUAN

Penerangan jalan umum adalah hal yang penting bagi para pengguna jalan, baik itu di wilayah perkotaan yang ramai dan padat penduduknya maupun di daerah pedesaan yang jarang penduduknya. Bagi wilayah perkotaan dimana aktifitas masyarakatnya tidak lagi dibatasi dengan waktu, siang atau malam kegiatan terus berjalan. Jalan umum sebagai prasarana utama dalam aktifitas masyarakat menjadikannya fasilitas yang sangat penting baik di siang atau malam hari. Untuk kegiatan atau aktifitas di siang hari tidak masalah, karena dari sisi penerangan sudah pasti tercukupi oleh cahaya alami dari matahari. Berbeda dengan malam hari, penerangan jalan menjadi hal yang krusial bagi akses pengguna jalan, yang jika tidak diperhatikan akan menghambat mobilitas masyarakat. Sepanjang jalan dimana aktifitas masyarakat padat, tentu akan disediakan penerangan yang memadai baik oleh pemerintah atau lingkungan setempat dimana jalan itu berada. Baik itu jalan arteri maupun jalan lingkungan di perkampungan, maka penerangan jalan harus tersedia untuk membantu memperlancar kegiatan masyarakat. Selain itu dengan penerangan yang baik akan memberikan rasa aman bagi pengguna jalan.

Penggunaan energi surya atau energi matahari sebagai sumber energi listrik alternatif adalah solusi untuk penerangan jalan umum yang hemat energi dan hemat biaya dalam jangka panjang. Memang untuk investasi awal pemasangan lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) tidaklah murah. Akan tetapi dalam jangka panjang jika dibandingkan dengan penggunaan listrik dari PLN akan berbanding terbalik. Dalam jangka panjang, pastinya efisiensi ekonomi dirasakan yaitu masyarakat tidak lagi dibebani oleh tagihan listrik.

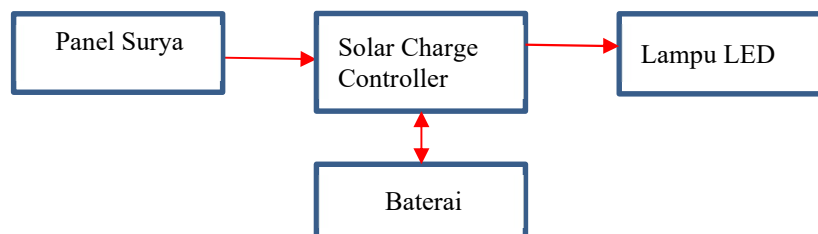
Selain penghematan dalam hal biaya tagihan listrik, keuntungan lain menggunakan PJUTS adalah kemudahan dalam pemasangan dan perawatan. Setiap lampu yang terpasang di sepanjang jalan akan berdiri sendiri (*standalone*), artinya jika ada permasalahan salah satu lampu unit PJUTS tidak akan mempengaruhi unit lainnya, karena masing-masing lampu memiliki panel surya tersendiri. Di siang hari, panel surya mengumpulkan energi listrik dari matahari dan menyimpannya dalam baterai lalu digunakan untuk penerangan di malam hari. Tidak akan ada lagi kabel-kabel listrik besar yang melintang di antara tiang-tiang lampu jalan. Kemudian sisi lain dari kemudahan pada sistem PJUTS ini adalah seiring kemajuan teknologi tiap waktu membuat semua peralatan mengalami pembaruan teknologi sehingga produk-produk yang tersedia di pasaran telah memiliki efisiensi yang tinggi. Sehingga sistem akan bekerja lebih tahan lama dan minim perawatan (*maintenance free*).

Adapun lokasi penelitian berada pada jembatan jalan lintas Barat di Desa Bintan Bunyu, 40 km dari Tanjung Uban, Bintan Utara, Kepulauan Riau. Jarak lintas penggunaan PJUTS sepanjang 800 meter dengan interval setiap titik lampunya 20 meter. Dari hasil survey diperoleh jumlah 80 tiang dengan 40 titik lampu di kiri dan kanan bahu jalan. Kapasitas lampu LED 40 Watt dengan tinggi tiang lampu Single Arm 8 meter.

METODE PENELITIAN

Berikut metode penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini.

- Mulai; dengan persiapan berupa penentuan tempat dan peralatan untuk pendataan.
- Studi Literatur; dengan mengumpulkan semua referensi terkait berupa jurnal, artikel, berita dan semisalnya sebagai sumber literasi.
- Pengumpulan Data dan Kalkulasi; berupa informasi dasar yang diperoleh dari survey dan ditunjang oleh *datasheet* peralatan sebagai sumber input data dalam perhitungan.
- Kepatuhan Kualitas Pencahayaan; membandingkan hasil kalkulasi dengan kepatuhan standar cahaya SNI 7391 2008. Jika terpenuhi maka dilanjutkan ke tahap berikut berupa input table nilai pembanding. Jika tidak sesuai, maka dilakukan perhitungan ulang dengan input nilai peralatan level diatasnya.
- Perbandingan Hasil Data; minimal dua nilai pembanding yang nilainya telah memenuhi syarat Kepatuhan Standar Cahaya Standar Nasional Indonesia SNI 7391 2008.
- Simpulan dan Saran; membuat rumusan akhir dari nilai pembanding sebagai intisari hasil penelitian. Dilanjutkan dengan saran berupa opsi perbaikan sistem untuk masa mendatang.
- Selesai; analisa berakhir.



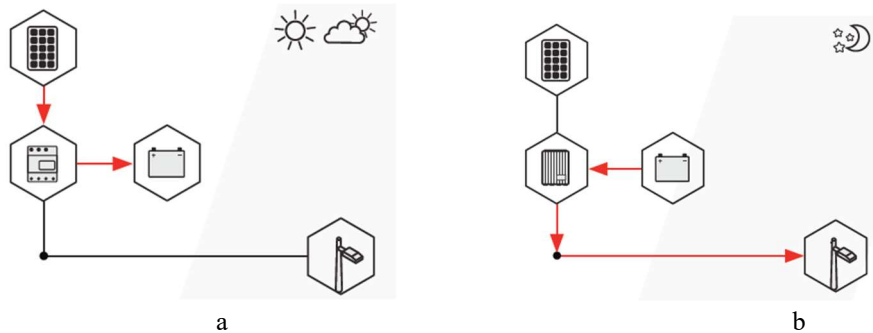
Gambar 1. Blok Diagram PJUTS

Berdasarkan gambar blok diagram di atas dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing peralatan sebagai berikut:

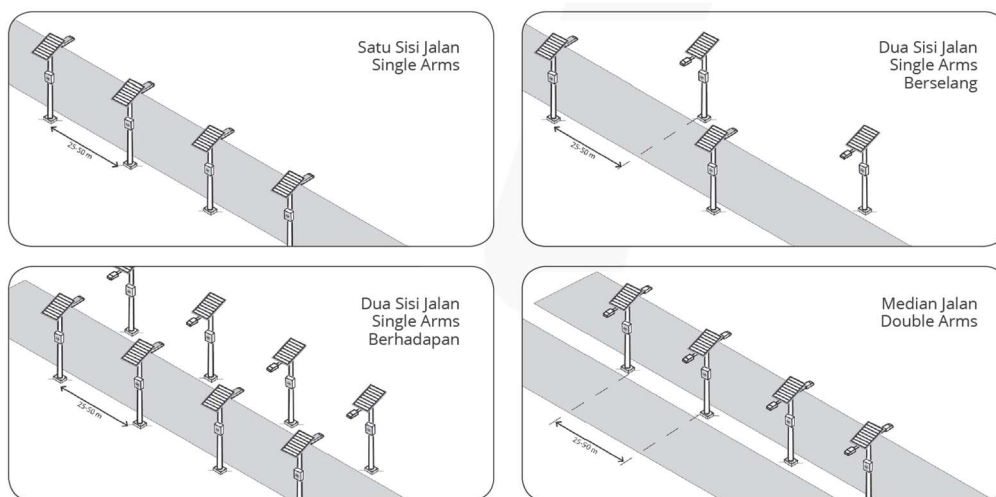
- Panel Surya berfungsi sebagai generator listrik dengan merubah cahaya matahari menjadi energi listrik searah (DC).
- Solar Charge Controller (SCC)* berfungsi mengatur pengisian arus ke baterai dan mengatur arus pelepasan ke beban/ lampu.
- Baterai adalah komponen PLTS yang fungsinya sebagai penyimpan tenaga listrik arus searah (DC) dari tenaga surya sebelum dimanfaatkan untuk beban pada malam hari.
- Lampu LED adalah beban pencahayaan yang telah dalam beban arus searah (DC). Teknologi lampu LED saat ini sangat membantu dalam efisiensi sistem, dikarenakan tidak memerlukan inverter lagi. Berbeda dengan versi sebelumnya (*fluorescent*) yang masih berbasis arus bolak-balik (AC).

Pada siang hari arus *charging* ke baterai untuk digunakan sepanjang malam hari. Jika baterai sudah penuh SCC akan membatasi produksi panel surya. Baterai melalui SCC akan memberi daya kepada lampu selama maksimum 12 jam/hari, dan baterai akan bertahan selama jumlah waktu otonomi yang ditetapkan tanpa sinar

matahari. Begitu juga formasi dari tiang PJUTS ini juga bervariasi mengikuti pola desain. Umumnya memiliki interval antar tiang sebesar 25 ~50 meter. Hal ini memastikan bahwa intensitas cahaya relatif merata (*uniform*) di permukaan tanah sehingga penerangan lebih efektif dan (*blind area*) dapat diminimalisir.



Gambar 2. a. Block Diagram Aliran Daya saat Baterai *Charging*, b. Block Diagram Aliran Daya saat Baterai *Discharge* [21]



Gambar 3. Variasi Posisi Tiang Lampu PJUTS [21]

Kondisi lingkungan adalah faktor pertama yang diperhatikan dalam mendesain suatu instalasi listrik dan peralatan, khususnya di area terbuka (*outdoor*). Berdasarkan data BPS tahun 2023 [22], data 3 tahun terakhir kondisi alam dan lingkungan di Pulau Bintan diperoleh rata-rata suhu sebesar 27.1 °C. Ini bisa dikatakan baik karena tidak jauh dari nilai suhu *ambient* sebesar 25 °C. Khusus baterai akan dimasukkan nilai *derating factor* didalam *sizing*, yaitu 5% setiap kenaikan 1 °C pada sistem PJUTS.

Pada studi analisa PJUTS ini akan mengacu kepada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7391 2008 tentang Kualitas Pencahayaan Normal, kategori jalan Arteri dengan akses kontrol atau jalan bebas hambatan yaitu sebesar 15~20 Lux.

Tabel 1. Kualitas Pencahayaan Normal [19]

Jenis/ Klasifikasi Jalan	Kuat Pencahayaan (Iluminasi)		Luminasi			Batasan Silau	
	E rata-rata (Lux)	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata-rata (cd/m ²)	Kemerataan (Uniformity)		G	TJ (%)
				VD	VI		
Trotoar	1 – 4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan local:							
Primer	2 – 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
Sekunder	2 – 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
Jalan kolektor:							
Primer	3 – 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 – 5	20
Sekunder	3 – 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 – 5	20
Jalan arteri:							
Primer	11 – 20	0,14 – 0,20	1,50	0,40	0,5 – 0,7	5 – 6	10 – 20
Sekunder	11 – 20	0,14 – 0,20	1,50	0,40	0,5 – 0,7	5 – 6	10 – 20
Jalan arteri dengan akses kontrol, jalan bebas hambatan	15 – 20	0,14 – 0,20	1,50	0,40	0,5 – 0,7	5 – 6	10 – 20
Jalan layang, simpang rusun, terowongan	20 - 25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perhitungan Komponen PJUTS Sistem Terpasang

Standar Kualitas Pencahayaan Normal pada jalan lintas Barat Bintang ini telah mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7391 2008 dengan permintaan sebagai berikut:

Jenis Jalan : Arteri dan Bebas hambatan

Iluminasi level : 15~20 Lux

Kemerataan/ *Uniformity* : 0,14 ~ 0,2

a) Lampu

Telah dipasang lampu berkapasitas 40 Watt/unit

$$\text{Beban harian Lampu}(Wh) = \text{Beban Lampu}(Watt) \times \text{Jam operasi}(hour)$$

$$= 40 \times 12 = 480 Wh$$

b) Solar Charge Controller

$$\text{Arus SCC (Iscc) Ampere} = \frac{\text{Daya Solar Panel (Wp)}}{\text{Tegangan Baterai(V)}} = 160/12 = 13.33 A$$

Dipilih 20A sesuai yang tersedia di pasaran.

c) Baterai

Didesain 12 jam discharge/hari dan 1 hari otonomi.

$$\begin{aligned} \text{Beban Otonomi (Wh)} &= \text{Beban Harian Lampu (Wh)} \times \text{Hari Otonomi} \\ &= 480 \times 1 = 480 Wh \end{aligned}$$

Suhu rata-rata di Bintan (data BPS 2023) = 27,1 °C.

Maka ada kenaikan suhu 2,1 °C (≈ 3 °C = 15%) dari suhu ruang.

Sehingga η Baterai = 85 % dan *derating factor* = 115%.

Life time 5 tahun.

$$\begin{aligned} \text{Battery Life Time} &= \text{Jumlah hari operasi setahun} \times 5 \text{ tahun} \times \text{derating factor} \\ &= 365 \times 5 \times 1.15 = 2099 \text{ siklus} \end{aligned}$$

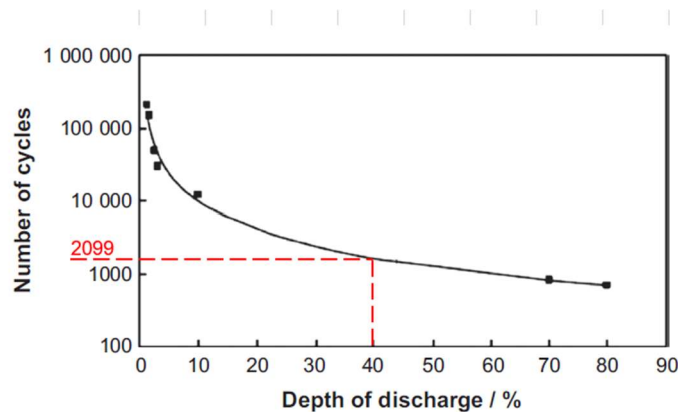
Lalu merujuk kepada grafik Depth of Discharge (%) Gambar 4.

Diperoleh DoD = 40%

Sehingga kapasitas Baterai adalah:

$$\begin{aligned} \text{Battery size (Ah)} &= \frac{\text{Beban Otonomi harian lampu (Wh)}}{\text{Efisiensi Baterai (\%)} \times \text{DoD(\%)} \times \text{Tegangan Sistem (V)}} \times \text{derating factor} \\ &= \frac{480}{0.85 \times 0.4 \times 12} \times 1.15 = 135.29 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Maka dipilih Baterai ukuran 150Ah sesuai tersedia di pasaran.



Gambar 4. Grafik Depth of Discharge (DoD) pada Baterai

d) Panel Surya

Diambil 4 jam *Peak Sun Hour (PSH)* dari jam 10:00 ~ 14:00

$$\begin{aligned} \text{Solar Panel Capacity (Wattpeak)} &= \frac{\text{Beban Otonomi harian lampu (Wh)}}{\text{Sun Peak Hour (hour)}} \\ &= \frac{480}{4} = 120 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Dari pasaran yang tersedia, dipilih ukuran 80Wp x 2 unit (160 Wp)

2. Penghematan Konsumsi Energi dan Biaya

a) Penghematan Energi

Beban Harian = Beban Lampu (Watt) x Jumlah Unit x Jam operasi (hour)

$$= 40 \times 80 \times 12$$

$$= 38.400 \text{ Wh} = 38,4 \text{ kWh}$$

Beban Bulanan = Beban Harian x 30 hari

$$= 38.4 \times 30 = 1152 \text{ kWh}$$

Beban Tahunan = Beban Bulanan x 12 bulan
 = 1152 x 12 = 13.824 kWh
 Beban tahunan jika diembankan ke PLN (Konvensional)

$$= \frac{\text{Beban energi setah (kW)}}{\text{Power Factor (Cos } \phi \text{)}} \\ = \frac{13,824}{0,85} = 16.263,53 \text{ kVA}$$

b) Penghematan Biaya

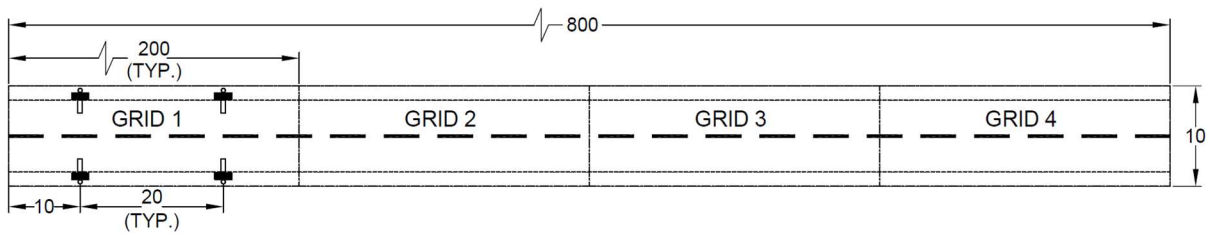
Tarif Dasar Listrik Penerangan Jalan Umum PLN Gol P3/TR (April - Jun2024) = Rp1776 /kWh

Biaya Bulanan = Beban Bulanan x TDL
 = 1152 x 1776
 = Rp. 2.045.952 / bulan
 Biaya Tahunan = Beban setahun x TDL
 = 13.824 x 1776
 = Rp. 24.551.424 / tahun

3. Analisa dan Perhitungan Sistem Terpasang

Melakukan analisa sistem guna menentukan apakah sistem yang ada sudah layak dan memenuhi kriteria *minimum requirement* ataupun sebaliknya. Dilakukan simulasi perhitungan pencahayaan dengan menggunakan *Software Chamlite 6.0 Lighting Calculation and Design*. Program ini adalah *freeware* dari produk lampu Hubbel. Dengan input data sebagai berikut:

Area grid = 800 meter x 10 meter
 Lampu Merk Hubbel = 40 Watt LED
 Jumlah = 80 unit
 Interval = 20 meter
 Grid Area = 4 x (200 meter x 10 meter)



Gambar 5. Pembagian Grid Sistem Terpasang

Tabel 2. Hasil Kalkulasi Pencahayaan Sistem Terpasang

GRID REF	DESCRIPTION	MEASUREMENT BASE ELEVATION (mm)	E _{Ave} (Lux)	E _{Ave} (Lux)	E _{Ave} (Lux)	U _o (Min/Ave)	U _d (Min/Max)
1	Grid 1	0.00	16.0	22.4	6.7	0.417	0.298
2	Grid 2	0.00	16.3	22.5	10.8	0.665	0.482
3	Grid 3	0.00	16.7	23.0	11.6	0.696	0.505
4	Grid 4	0.00	16.4	22.8	7.4	0.454	0.326

Diperoleh hasil rata-rata iluminasi PJUTS Sistem Terpasang sebesar

$$= \frac{16,0 + 16,3 + 16,7 + 16,4}{4} = 16,4 \text{ Lux}$$

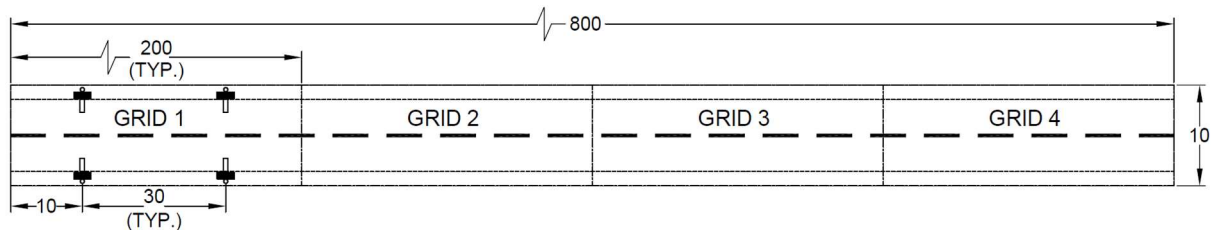
Dengan demikian telah memenuhi persyaratan iluminasi SNI 7391 2008 tentang Penerangan Jalan Umum.

4. Perhitungan Komponen PJUTS Sistem Perbaikan

Melakukan pengaturan ulang jarak dan kapasitas lampu sehingga diperoleh efisiensi jumlah tiang. Ini sangat membantu karena akan mengurangi biaya produksi tiang, instalasi dan perawatan. Analisa komparasi ini akan dijadikan masukan untuk pertimbangan pemasangan PJUTS berikutnya.

Adapun perhitungan Sistem Perbaikan adalah sebagai berikut:

Lampu *Merk Hubbel* = 75 Watt LED
 Jumlah = $27 \times 2 = 54$ unit
 Interval = 30 meter
 Grid Area = $4 \times (200 \text{ meter} \times 10 \text{ meter})$



Gambar 6. Pembagian Grid Sistem Perbaikan

Tabel 3. Hasil Kalkulasi Pencahayaan Sistem Perbaikan

GRID REF	DESCRIPTION	MEASUREMENT BASE ELEVATION (mm)	E _{Ave} (Lux)	E _{Ave} (Lux)	E _{Ave} (Lux)	U _o (Min/Ave)	U _d (Min/Max)
1	Grid 1	0.00	27.3	43.0	14.6	0.536	0.340
2	Grid 2	0.00	26.8	42.1	14.6	0.546	0.348
3	Grid 3	0.00	26.8	42.1	14.7	0.550	0.350
4	Grid 4	0.00	27.7	42.1	15.3	0.552	0.364

Diperoleh hasil rata-rata iluminasi PJUTS Sistem Perbaikan sebesar

$$= \frac{27,3 + 26,8 + 26,8 + 27,7}{4} = 27,2 \text{ Lux}$$

Dengan demikian juga telah memenuhi persyaratan iluminasi SNI 7391 2008 tentang Penerangan Jalan Umum. Sehingga diperoleh:

a. Lampu:

$$\text{Beban harian Lampu (Wh)} = \text{Beban Lampu (Watt)} \times \text{Jam operasi (hour)} \\ = 75 \times 12 = 900 \text{ Wh}$$

b. Baterai

$$\text{Beban Otonomi (Wh)} = \text{Beban Harian Lampu (Wh)} \times \text{Hari Otonomi} \\ = 900 \times 1 = 900 \text{ Wh}$$

$$\text{Battery size (Ah)} = \frac{\text{Beban Otonomi harian lampu (Wh)}}{\text{Efisiensi Baterai (\%)} \times \text{DoD (\%)} \times \text{Tegangan Sistem (V)}} \times \text{derating factor}$$

$$= \frac{900}{0.85 \times 0.4 \times 12} \times 1.15 = 253,68 \text{ Ah}$$

Maka dipilih Baterai ukuran 300Ah sesuai tersedia di pasaran.

c. Panel Surya

$$\text{Solar Panel Capacity (Wp)} = \frac{\text{Beban Otonomi harian lampu (Wh)}}{\text{Sun Peak Hour (hour)}}$$

$$= \frac{900}{4} = 225 \text{ Wp}$$

Asumsi efisiensi panel $\eta = 85\%$, maka: $225 \times 1.15 = 258.75 \text{ Wp}$
 Sesuai yang tersedia di pasaran, dipilih = $2 \times 150\text{Wp}$ (total = 300 Wp).

d. Solar Charge Control

$$\text{Arus SCC (Iscc) Ampere} = \frac{\text{DayaSolarPanel(Wp)}}{\text{TeganganBaterai(V)}} = 300/12 = 25 \text{ A}$$

Dipilih 30A sesuai yang tersedia di pasaran.

5. Penghematan Konsumsi Energi dan Biaya Sistem Perbaikan

a. Penghematan Energi

Beban Harian = Beban Lampu (Watt) x Jumlah Unit x Jam operasi (hour)
 $= 75 \times 54 \times 12 = 48600 \text{ Wh} = 48,6 \text{ kWh}$
 Beban Bulanan = Beban Harian x 30 hari
 $= 48,6 \times 30 = 1458 \text{ kWh}$
 Beban Tahunan = Beban Bulanan x 12 bulan
 $= 1458 \times 12 = 17.496 \text{ kWh}$

Beban tahunan jika diembankan ke PLN adalah:

$$= \frac{\text{Beban energi setah (kW)}}{\text{Power Factor (Cos } \phi)}$$

$$= \frac{17496}{0,85} = 20583,53 \text{ kVA}$$

b. Penghematan Biaya

Tarif Dasar Listrik Penerangan Jalan Umum PLN Gol P3/TR (April - Jun2024) = Rp1776 /kWh

Biaya Bulanan = Beban Bulanan x TDL
 $= 1458 \times 1776 = \text{Rp. } 2.589.408 / \text{bulan}$
 Biaya Tahunan = Beban setahun x TDL
 $= 17.496 \times 1776 = \text{Rp. } 31.072.896 / \text{tahun}$

Hasil perhitungan dan data dapat dilihat pada table komparasi penrhitungan energi dan biaya PJUTS berikut ini.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Perhitungan Energi dan Biaya

No.	DESKRIPSI	SISTEM TERPASANG	SISTEM PERBAIKAN *)	SELISIH
A	Area Penerangan			
1	Deskripsi Jalan	Jalan Lintas Barat Desa Bintan Bunyu (60 km dari Tanjung Uban)		
2	Panjang Jalan yang disinari	800 meter		
3	Lebar Jalan	8 meter (4 meter/ arah)		
4	Tipe Jalan	Aspal mulus		
5	Jenis Jalan	Arteri, Sekunder		

6	Minimum Iluminasi (SNI 7391 2008) = 15 ~ 20 Lux	16,4 Lux	27,2 Lux	10,8 Lux
B Titik Lampu				
1	Jumlah	80 unit	54 unit	26 unit
2	Formasi Tiang	Dua sisi jalan, Single Arm, Berhadapan		
3	Elevasi Lampu	8 meter		
4	Interval tiang	20 meter	30 meter	10 meter
C Spesifikasi Komponen/ Unit				
1	Lampu	LED 40 Watt	LED 75 Watt	LED 35 Watt
2	Baterai	VRLA, 12VDC, 150 Ah	250 Ah	100 Ah
3	Solar Charge Controller (SCC)	PWM, 20A	PWM, 30A	10A
4	Panel Surya	Polycrystalline, 2x 80 Wattpeak	Polycrystalline, 2x 150 Wattpeak	2 x 70 Wattpeak
D Penghematan Energi				
1	Harian	40 Watt * 80 unit * 12 jam = 38.400 Wh = 38,4 kWh	75 Watt * 54 unit * 12 jam = 48.600 Wh = 48,6 kWh	10,2 kWh
2	Bulanan	38,4 kWh * 30 hari = 1152 kWh	48,6 kWh * 30 hari = 1458 kWh	306 kWh
3	Tahunan	1152 kWh * 12 bulan = 13.824 kWh	1458 kWh * 12 bulan = 17.496 kWh	3672 kWh
4	Beban tahunan jika diembankan ke PLN (Konvensional)	13.824 kW / 0.85 = 16.263,53 kVA	17.496 kW / 0.85 = 20.583,53 kVA	4320 kWh
E Penghematan Biaya				
1	Tarif Dasar Listrik (Ref. April-Jun 2024 PJU PLN Batam)	Rp. 1776 /kWh		
2	Biaya Bulanan	1152 kWh * Rp. 1776/kWh = Rp. 2.045.952/bulan	1458 kWh * Rp. 1776/kWh = Rp. 2.589.408/bulan	Rp. 543.456 / bulan
3	Biaya Tahunan	13.824 kWh * Rp. 1776/kWh = Rp. 24.551.424/tahun	17.496 kWh * Rp. 1776/kWh = Rp. 31.072.896/tahun	Rp. 6.521.472 / tahun

*) Hanya deviasi nilai yang didata

Adapun analisisnya adalah sebagai berikut:

1. Sistem Terpasang, adalah nilai daya aktual substitusi PLN. Dikarenakan PJUTS ini adalah sistem mandiri (*standalone*) sehingga bisa dianggap konsumsi daya adalah sama jika menggunakan PLN (kVA), tentunya setelah dibagi oleh $\cos \varphi = 0,85$.
2. Sistem Perbaikan adalah improvisasi yang diperoleh dari kalkulasi sistem pencahayaan melalui efisiensi jumlah tiang atau unit. Ini dapat dijadikan opsi untuk instalasi serupa di masa mendatang. Dengan analisisnya sebagai berikut:
 - a) Nomor A-6; kenaikan 0.6 Lux disebabkan oleh meningkatnya kapasitas Lampu LED.

- b) Nomor B-1; pengurangan 26 unit merupakan poin utama dari efisiensi Sistem Perbaikan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kapasitas daya lampu sehingga iluminasi pencahayaan juga semakin luas per meter persegi.
Sesuai rumus iluminasi

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

E = iluminasi (Lux)

Φ = fluks cahaya (Lumen)

A = Luas bidang pencahayaan (m^2)

- c) Nomor B-4; ada perluasan bidang pencahayaan dikarenakan oleh kenaikan iluminasi lampu sehingga interval jarak tiap tiang dapat lebih diregangkan.
- d) Nomor C-1; memilih kapasitas Lampu LED lebih besar dari 40 Watt menjadi 75 Watt sebagai upaya mendapatkan bidang penyinaran lebih luas sehingga dapat dilakukan efisiensi jumlah unit PJUTS.
- e) Nomor C-2; Kenaikan kapasitas Baterai dikarenakan oleh kenaikan beban lampu sehingga diperlukan *storage energy* yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan daya di malam hari (*discharge*).
- f) Nomor C-3; kenaikan ukuran *Solar Charge Control* dikarenakan bertambah besarnya ukuran Panel Surya dalam menghasilkan listrik.
- g) Nomor C-4; hal yang sama oleh Panel Surya sebagai pembangkit listrik, diperlukan bidang yang lebih luas untuk menyerap energi matahari lebih banyak sehingga diperoleh energi listrik yang lebih besar.
- h) Nomor D-1~4; adalah jumlah penghematan energi listrik yang seharusnya disuplai oleh PLN pada sistem konvensional ataupun jaringan *ON Grid*.
- i) Nomor E-1~3; adalah jumlah penghematan biaya listrik yang seharusnya dibayar oleh pelanggan atau penduduk setempat jika masih menggunakan PJU sumber energi dari PLN. Nilai ini disandarkan terhadap Tarif Dasar Listrik per kWh. Kebijakan ini bisa jadi nilainya tiap waktu berubah seperti yang ditetapkan pada Penyesuaian Tarif Listrik Berkala (PTLB)/ *Automatic Tariff Adjustment* yang dipengaruhi oleh nilai kurs mata uang asing terhadap Rupiah, harga energi primer sebagai bahan bakar pembangkit dan tingkat inflasi terhadap biaya pokok penyediaan acuan oleh PLN.

KESIMPULAN

Beban pada Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya umumnya adalah beban konstan sepanjang hari sekitar 12 jam. Pasokan energi listrik bertumpu pada baterai dimana pengisian baterai ini dikendalikan oleh *Solar Charge Controller* di siang hari dan energi yang tersimpan pada baterai digunakan untuk melayani beban lampu LED pada malam hari. Dengan menggunakan “PJUTS Sistem Terpasang” sepanjang 800 meter di Lintas Barat Bintang Bunyu ini sangat menguntungkan dan diperoleh penghematan energi sebesar 16.263,53 kVA/tahun atau penghematan biaya energi sebesar Rp. 24.551.424,00/ tahun. Sedangkan dengan menggunakan opsi “PJUTS Sistem Perbaikan” melalui efisiensi jumlah tiang, maka biaya produksi dan perawatan/ maintenance akan berkurang. Sehingga diperoleh penghematan energi sebesar 20.583,53 kVA/ tahun atau penghematan biaya energi sebesar Rp. 31.072.896,00 / tahun. Dengan demikian diperoleh kenaikan penghematan sebesar 26,56% dari “PJUTS Sistem Terpasang” sebelumnya. Sementara itu dari sisi iluminasi “PJUTS Sistem Terpasang” sebesar 16,4 Lux dan “PJUTS Sistem Perbaikan” sebesar 27,2 Lux sehingga keduanya bisa ditegaskan telah memenuhi persyaratan kepatuhan pencahayaan untuk jalan arteri antar kota yaitu sebesar 15~20 Lux menurut SNI 7391 tahun 2008. Kemudian meskipun peralatan PJUTS telah memiliki teknologi mutakhir dan efisiensi tinggi namun faktor eksternal berupa sosialisasi masyarakat akan sadar teknologi sangat dibutuhkan sehingga saling menjaga kelangsungan operasi unit yang dipasang, agar terhindar dari pengrusakan yang nanti akan mempengaruhi turunnya nilai keandalan sistem secara menyeluruh.

Kepada Pembaca ataupun mahasiswa Teknik Elektro yang ingin melanjutkan kajian ini dapat ditinjau perbandingan penghematan energi dari jenis pembebanan cahaya yaitu sebelum dan sesudah menggunakan lampu LED (seperti *floodlight* ataupun *fluorescent*), lalu disertai oleh kajian investasi ekonomisnya.

REFERENSI

- [1] B. Budiyo, & H. Setiawan, Analisa Perbandingan Kinerja Panel Surya Vertikal Dengan Panel Surya Fleksibel Pada Jenis *Monocrystalline*, RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) vol. 4, no. 1 hal. 77-86, 2021.
- [2] B. Michael, Solar Electricity Handbook, Green Stream Publishing, 2017.
- [3] B. Ramdani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *Dos & Don'ts*, GIZ Jakarta, 2018.

- [4] C. I. Cahyadi, I. G. Agung, A. Mas, & D. Kusyadi, Efisiensi Recharger Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *Edu Elektro. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 61–65, 2020.
- [5] H. Harmini, & T. Nurhayati, Desain Dan Implementasi *Maximum Power Solar Tracker* Menggunakan Panel *Photovoltaic* di Kota Semarang, *Elektrika*, vol. 10 no. 1, pp.5-9, 2018.
- [6] H. Kristiawan, I. N. S. Kumara, & I. A. D. Giriantari, Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Gedung Sekolah Di Kota Denpasar, *SPEKTRUM*, vol. 6, no. 4, pp. 66–70, 2019.
- [7] Haerurrozi, Abdul Natsir, S, Analisis Unjuk Kerja PLTS *On-Grid* Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Universitas Mataram, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 2019.
- [8] Huda. N, Energi Baru Terbarukan *Solar Cell* Sederhana Untuk Sistem Penerangan Rumah Tangga, Cahaya Bagaskara: Jurnal Ilmiah Teknik Elektronika, Universitas Muhammadiyah, Vol. 3 No.1, ISSN:2580-9083, 2018.
- [9] I. Susanti, Rumiasih, & A. Firmansyah, Analisa Penentuan Kapasitas Baterai Dan Pengisiannya Pada Mobil Listrik, *Elektra*, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, 2019.
- [10] K. A. Prasetyo, N. Yuniarti, & E. Prianto, Pengembangan Alat *Control Charging* Panel Surya Menggunakan *Arduino Nano* Untuk Sepeda Listrik Niaga, *J. Edukasi Elektro*, vol. 2, no. 1, pp.50–58, 2018.
- [11] M. H. Fadhilah, E. Kurniawan, & U. Sunarya, Perancangan Dan Implementasi MPPT *Charge Controller* Pada Panel Surya Menggunakan Mikrokontroler Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik, *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 3164– 3170, 2017.
- [12] P. Mohanty, K. R. Sharma, M. Gujar, M. Kolhe, & A. N. Azmi, *PV System Design for Off-Grid Applications* PV System Design for Off-Grid Applications, 2015.
- [13] R. Mayfield, *Photovoltaic Design & Installation for Dummies*, Willey Publishing, 2010.
- [14] Radhiansyah, M.Reza & C. Ekaputri, Desain Optimal dan Implementasi Penggerak Panel Surya Menggunakan Metode Perhitungan Sudut *Azimuth* Matahari, *eProceedings of Engineering*, vol 5, no. 3, 2018.
- [15] Sandro Putra, C. R, Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal, *Seminar Nasional Cendekiawan*, 6(1), 23.4, 2016.
- [16] Soewarto, T. Alamsyah, and A. B. W, “Optimalisasi Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* 2000Wp, *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, pp. 298–300, 2020.
- [17] T. Koerniawan, & A. W. Hasanah, Kajian Sistem Kinerja PLTS *Off-Grid* 1 kWp DI STT-PLN, *Ilmu energi dan kelistrikan*, vol. 10, no.1, pp. 38–44, 2018.
- [18] W. Budiman, N. Hariyanto, & Syahril, Perancangan dan Realisasi Sistem Pengisian Baterai 12 Volt 45 Ah pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di UPI Bandung, *Reka Elkomika* vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2014.
- [19] Badan Standarisasi Nasional (BSN), Standar Nasional Indonesia, SNI 7391:2008, ICS 93.080.40, 2008.
- [20] (2024) PT. PLN Batam, Tarif Listrik Batam website. [Online]. Available: <https://www.plnbatam.com>
- [21] 2024, Hexamitra, Hexamitra, PJU Tenaga Surya (PJUTS) website. [Online]. Available: <https://www.hexamitra.co.id>
- [22] 2023, Badan Pusat Statistik website. [Online]. Available: <https://tanjungpinangkota.bps.go.id>