

Implementasi Penghematan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) di Jalan Kolektor Primer

Aulia Ullah¹, Ricard Misco Oktaviandra²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No.155 Panam, Pekanbaru

e-mail: ¹aulia.ullah@uin-suska.ac.id, ²ricard.Misco.Oktaviandra@Students.uin-suska.ac.id

Abstrak

Penerangan Jalan Umum (PJU) digunakan sebagai sarana penerangan jalan raya ketika malam hari. Keberadaan PJU ini, selain mengurangi angka kejahatan, juga mampu mengurangi angka kecelakaan. Jumlah PJU yang terpasang di beberapa ruas jalan utama membebani tagihan listrik pemerintah daerah, perlu upaya penghematan. Penelitian ini mengusulkan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS), sebagai solusi mengurangi konsumsi energi listrik dari PLN. Untuk mengurangi penggunaan beban lampu yang tidak diperlukan, PJUTS ini dilengkapi dengan sistem penghematan listrik dengan cara meredupkan nyala lampu jika tidak diperlukan. PJUTS ini terdiri dari Panel Surya, *Solar Charger Controller*, Aki, dan dilengkapi sensor PIR, potensiometer, relai sebagai komponen penghemat daya. Untuk menguji performa sistem, PJUTS ini di implementasikan di jalan lintas Pemda Perawang. Dari hasil pengujian didapatkan sistem yang digunakan terbukti mampu menyalakan lampu PJUTS mulai dari petang hingga fajar tanpa ada kendala. Pengujian intensitas penerangan pun telah memenuhi standar SNI 7391:2008. Mekanisme penghematan otomatis pada PJUTS ini mampu menghemat penggunaan energi hingga 36,9 % dibandingkan PJUTS konvensional.

Kata Kunci : PJUTS, Panel Surya, PIR, solar Charger Controller, SNI 7391:2008

Abstract

Public Street Lamp (PSL) is used as a means of lighting on the highway at night. The existence of this PJU can reduce the number of crimes and reduce the number of accidents. Several PSLs installed on several main roads have burdened local government electricity bills, it is necessary to reduce the use of electrical energy. This study proposes a Solar Street Lamp (SSL) as a solution to reducing electricity consumption. This SSL is equipped with an electricity-saving system by dimming the lights when not needed. This SSL consists of a Solar Panel, Solar Charger Controller, Battery, and a PIR sensor, potentiometer, relay as a power-saving component. The system testing process has been carried out by implementing this automatic saving SSL on the primary collector road. From the test results, it was found that the system specifications used were proven to be able to turn on SSL lights from evening to dawn without any problems. The lighting intensity test also complies with the SNI 7391: 2008 standard. That automatic saving mechanism in SSL can save energy use up to 36.9% compared to conventional SSL.

Keywords: SSL, Solar Panel, PIR, Solar Charger Controller, SNI 7391:2008

1. Pendahuluan

Penerangan Jalan Umum (PJU) sangat diperlukan sebagai sumber penerangan jalan, terutama untuk kondisi jalan yang gelap agar tidak terjadi tindak kejahatan maupun kecelakaan[1]. Jumlah PJU yang terpasang di beberapa ruas jalan utama membebani tagihan listrik pemerintah daerah, perlu upaya penghematan[2]. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) hadir sebagai solusi menghemat konsumsi listrik PJU[3][4][5]. Walaupun PJUTS memiliki biaya operasional relatif kecil, namun biaya investasi PJUTS harganya yang relatif mahal[6][7]. Salah satu cara mengurangi biaya tersebut adalah dengan cara menggunakan spesifikasi minimum yang masih memenuhi SNI 7392:2008[8].

Berbagai upaya sudah yang bisa dilakukan mengoptimalkan PJUTS, salah satu dengan menggunakan komponen hemat energi[9]. Cara lain yang cukup efektif adalah dengan cara mengatur intensitas penerangan menggunakan sebuah pengendali yang pada waktu tertentu, pengendali ini mengatur intensitas penerangan dengan nyala normal, redup, dan mati menyesuaikan waktu[10]. Namun metode ini ada keterbatasan jika ada kendaraan lewat bertepatan dengan jadwal lampu redup, maka lampu tidak akan berganti ke mode normal. Perlu ada metode lain berupa mekanisme penghematan secara otomatis dengan menyesuaikan dengan kendaraan yang lewat[11], namun penelitian ini belum terbukti ketika diimplementasikan secara langsung di lapangan.

Peneliti mencoba mengusulkan sebuah rancangan sistem PJUTS dengan mekanisme penghematan nyala lampu secara otomatis dengan pilihan mode normal dan mode hemat. Nyala lampu akan menyesuaikan dengan kondisi pengguna jalan dengan cara mendeteksi kendaraan yang akan lewat. Jika tidak ada kendaraan lewat, maka nyala lampu berada mode hemat (lebih redup) namun tetap memenuhi standar SNI 7392:2008[12].

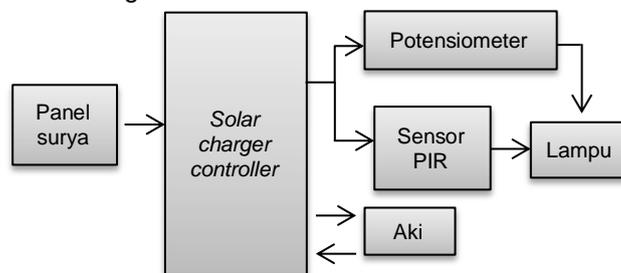
2. Metode Penelitian

Penelitian ini ingin melihat bagaimana hasil implementasi PJUTS dengan penghematan otomatis dalam mengurangi konsumsi energi listrik. Blok diagram PJUTS dibuat sebagai pedoman dalam perancangan sistem, berdasarkan blok diagram ini skematik sistem PJUTS dibuat. Langkah selanjutnya menghitung kebutuhan spesifikasi komponen, mulai dari kebutuhan daya lampu, kapasitas aki, dan panel surya. Setelah spesifikasi ditentukan, sistem PJUTS dibuat purwarupa, diuji, dan baru kemudian diimplementasikan untuk melihat bagaimana mekanisme penghematan otomatis dalam menghemat penggunaan energi listrik dibandingkan PJUTS konvensional.

2.1 Blok Diagram PJUTS

PJUTS terdiri dari panel surya yang terhubung dengan *Solar Charger Controller* (SCC) yang berfungsi sebagai pengendali ketika pengisian Aki. SCC mengatur aliran arus dari panel ke aki dan dari aki ke lampu. Ketika siang hari SCC akan mengalirkan arus ke aki, namun jika terdeteksi cahaya matahari, maka SCC akan membalik arus dengan cara mengalirkan arus aki ke lampu.

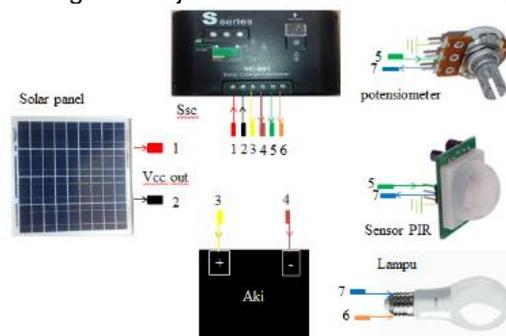
Untuk mode hemat dilakukan dengan cara mengurangi arus yang masuk ke lampu sehingga lampu menjadi redup. Cara mengurangi arus dengan cara memberikan hambatan yang pada penelitian ini dipilih menggunakan Potensiometer. Komponen ini dipilih bertujuan untuk memudahkan menala kecerahan lampu. Untuk mekanisme perubahan mode hemat dan mode normal, digunakan modul sensor PIR yang sudah terintegrasi dengan relai. Ketika terdeteksi gerakan, modul PIR menghubungkan aki ke lampu, dan ketika tidak ada gerakan kendaraan/manusia terdeteksi, maka akan terputus dan arus akan kembali melewati potensiometer. Berikut blok diagram sistem



Gambar 1. Blok Diagram PJUTS dengan Mekanisme Penghematan Nyala Lampu

2.2 Desain PJUTS dengan Penghematan Otomatis

Dari blok diagram, lalu semua perangkat keras digabungkan dan dirancang jalur kabel. Semua komponen mulai dengan panel surya, *solar Charger Controller*, aki, sensor PIR, potensiometer dan lampu dirangkai menjadi satu dalam sebuah skematik.



Gambar 2. Skematik Sistem PJUTS dengan Penghematan Otomatis

Spesifikasi setiap komponen dihitung sesuai kebutuhan penerangan PJU yang sesuai standar SNI 7391:2008 (tabel 1), kemudian hasil hitungan tersebut diambil nilai terdekat sesuai dengan komponen yang tersedia di pasaran.

Tabel 1. Tabel Kualitas Pencahayaan Sesuai SNI 7392:2008 [12]

Jenis / Klasifikasi Jalan Kolektor	Kuat pencahayaan		Luminansi			Batasan Silau	
	E rata- rata (lux)	Kemerataan (uniformity) g1	L rata- rata (cd/m ²)	Kemerataan (uniformity) Vd Vi	G	TJ (%)	
- Primer	3 – 7	0.14	1.00	0.4 0.5	4-6	20	
- Sekunder	3 - 7	0.14	1.00	0.4 0.5	4-6	20	

Keterangan :

g1 = E_{min}/E_{maks} ;

G = kesilauan

VD = L_{min}/L_{maks} ;

VI = $L_{min}/L_{rata-rata}$

TJ = batas ambang kesilauan

2.3 Perhitungan Spesifikasi Desain PJUTS

Pada tahapan ini, semua komponen dirakit sesuai skematik seperti pada gambar 3. Semua spesifikasi komponen menyesuaikan dengan perhitungan. Semua komponen dirakit menjadi sebuah purwarupa PJUTS. Untuk mendapatkan spesifikasi lampu, aki, dan ukuran panel yang sesuai, dihitung menggunakan persamaan berikut [8]:

- a. Perhitungan sudut inklinasi.

$$\tan^{-1} \alpha = \frac{e}{h} \quad (3)$$

keterangan :

α = sudut inklinasi (derajat)

e = jarak tiang (m)

h = tinggi lampu (m)

Diketahui jarak tiang 10 m, tinggi lampu 6 m

$$\tan^{-1} \alpha = \frac{10}{6} = 1,6$$

$$\alpha = \tan^{-1} . 1,6 = 57^{\circ}$$

- b. Menghitung intensitas cahaya.

$$I = \frac{E \cdot h^2}{\cos \alpha} \quad (4)$$

keterangan :

i = intensitas cahaya (candela)

E = Iluminansi lux (lux)

- c. Perhitungan Fluks

$$\phi = 4\pi \cdot I \quad (5)$$

keterangan :

ϕ = fluks (lumen)

masukkan nilai I min dan max

$$\begin{aligned} \Phi_{max} &= 4 \cdot 3,14 \cdot 466,6 \\ &= 5861,3 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{min} &= 4 \cdot 3,14 \cdot 200 \\ &= 2512 \text{ lumen} \end{aligned}$$

Diketahui $\alpha = 57^{\circ}$, berdasarkan tabel 1 (SNI 7391:2008), E minimum 3 dan E maksimum 7, maka didapatkan

$$I_{max} = \frac{7 \cdot 6^2}{\cos 57^{\circ}} = 466,6 \text{ candela}$$

$$I_{min} = \frac{3 \cdot 6^2}{\cos 57^{\circ}} = 200 \text{ candela}$$

- d. Perhitungan daya lampu .

$$P = \frac{\phi}{K} \quad (6)$$

keterangan :

P = daya lampu (watt)

K = efisiensi lampu (lumen/watt)

$$P_{max} = \frac{5861,3}{150} = 39 \text{ watt.}$$

$$P_{min} = \frac{2512}{150} = 16 \text{ watt}$$

- e. Perhitungan total arus yang disimpan aki selama pengisian

$$Ah_{total} = t \cdot I_{rata-rata} \quad (7)$$

keterangan :

t = lama waktu pengisian (detik)

Ah = arus yang tersimpan

Durasi waktu ketika lampu mode normal dan mode hemat.

$$t_{normal} = n \cdot t_a$$

$$t_{redup} = 12 \text{ jam} - t_{normal} \quad (8)$$

keterangan :

t_{normal} = lampu waktu lampu menyala normal

t_{redup} = lama waktu lampu menyala redup

n = total jumlah perubahan ke mode nyala normal

t_a = pengaturan jeda waktu alat ketika nyala normal

- f. Perhitungan Arus tersimpan pada Aki.

$$Ah = t \cdot I_{rata-rata} \quad (9)$$

ket :

Ah = Total penyimpanan arus pada Aki

t = waktu

Kebutuhan energi minimal yang harus ditampung Ak

$E = \text{Daya minimum lampu} \cdot \text{nyala lampu}$
 $= 16 \text{ W} \cdot 12 \text{ jam}$; (asumsi menyala selama 12 jam)
 $= 192 \text{ Wh}$.

Dengan asumsi $V_{\text{Aki}} = 12 \text{ V}$,
 maka kapasitas aki :
 $Ah = 192/12 = 16 \text{ Ah}$

g. Perhitungan Spesifikasi Desain Panel Surya. Total energi yang dihasilkan panel surya [13]:

$$E = P_{pv} \cdot PSH \quad (10)$$

Indonesia merupakan daerah yang memiliki rata – rata radiasi yaitu 4.82 kWh/m/hari. Maka didapat jam ekuivalennya yaitu 4.82 jam per hari (dibulatkan menjadi 5 jam per hari).

$$P_{pv} = \frac{192}{4,82} = 39,83 \text{ Wp}.$$

panel surya harus memiliki daya 39.83 Wp (digenapkan sesuai kapasitas panel terdekat yang tersedia di pasaran sebesar 50 Wp).

Sedangkan total arus yang masuk ke aki :

$$I = \frac{P}{V} \quad (11)$$

2.4 Proses Pengujian dan Implementasi

PJUTS dilakukan pengujian untuk mengukur berapa besar arus tegangan yang dihasilkan panel surya, berapa arus dan tegangan yang digunakan oleh lampu, baik ketika menyala normal maupun ketika mekanisme penghematan otomatis diimplementasikan. Setelah PJUTS didesain sesuai hitungan spesifikasi, tahapan berikutnya adalah proses perakitan menjadi sebuah purwarupa. Selanjutnya pengujian komponen-komponen yang digunakan dalam PJUTS, mencakup pengujian sensitivitas sensor, pengujian menguji kapasitas aki, pengujian besaran arus dan tegangan panel ke baterai dan dari baterai ke lampu. Setelah itu purwarupa diimplementasikan di jalan lintas, dan dari data ini dilakukan perhitungan berapa total penghematan sistem ini

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proses pembuatan Purwarupa PJUTS dengan Penghematan Otomatis

Adapun purwarupa dari PJUTS dengan mekanisme penghematan otomatis energi pada penerangan jalan umum tenaga surya didapat seperti gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Seluruh Komponen PJUTS

Keterangan

1. Panel Surya 50 Wp
2. SSC.
3. Aki 12 VDC.
4. Potensiometer
5. Sensor PIR
6. Lampu

3.2. Pengujian Sistem PJUTS

Pengujian ini dilakukan untuk menguji sensitivitas sensor, mengukur nilai variabel arus dan tegangan dari panel surya dan dari aki.

3.2.1. Sensitivitas Sensor pada PJUTS

Pada pengujian ini, PJUTS dengan penghematan otomatis ini diuji bagaimana sensitivitas sensor berdasarkan posisi kendaraan dalam merespons untuk mengubah kondisi lampu mode hemat ke mode normal.

Tabel 2. Sensitivitas Sensor Terhadap Jarak Kendaraan dengan PJUTS

Jarak kendaraan Ke PJUTS	Keadaan lampu PJUTS	Jarak kendaraan dari PJUTS	Keadaan lampu PJUTS
1 m	Normal	5 m	Normal
1,5 m	Normal	6 m	Normal
2 m	Normal	6.5 m	Normal
3 m	Normal	7 m	Redup (mode hemat)
4 m	Normal	7,5 m	Redup (mode hemat)

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan tabel 2, terlihat sensor sudah mampu mendeteksi pengendara pada jarak kurang dari 6,5 m. Pada jarak ini, sistem mampu mendeteksi kendaraan dan merubah kondisi lampu dari kondisi mode hemat ke kondisi mode normal. Pada jarak lebih dari 7 m, sensor belum mampu mendeteksi kendaraan, terlihat pada jarak tersebut lampu masih dalam kondisi mode hemat.

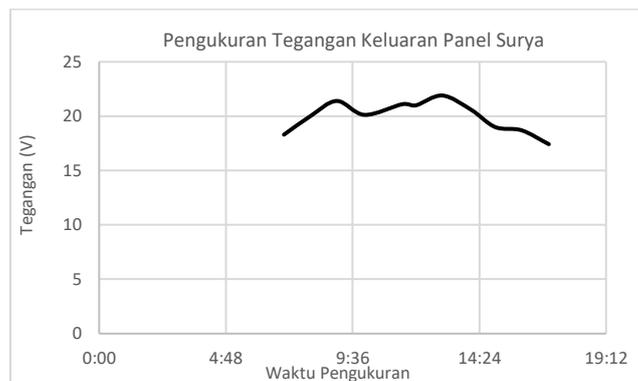
3.2.2. Pengujian kemampuan Aki, SCC, dalam menyalakan PJUTS

Dari hasil pengujian lampu PJUTS, lampu ini mampu menyala sesuai dengan asumsi awal selama 12 jam. Dari percobaan terbukti spesifikasi aki yang digunakan telah memenuhi kebutuhan penyimpanan energi untuk kebutuhan menyalakan lampu dari senja sampai pagi. Dari hasil pengamatan, sistem PJUTS ini berhasil menyala ketika matahari mulai terbenam (waktu pengamatan menunjukkan pukul 18:15). Dan lampu mati ketika fajar (waktu pengamatan menunjukkan pukul 06:05). Dari pengujian ini terbukti SCC sudah berjalan baik dan kapasitas penyimpanan aki mampu menyalakan lampu sampai pagi.

3.2.3. Hasil Pengukuran Tegangan, Arus Terhadap Komponen Pada Sistem PJUTS.

a. Pengukuran tegangan keluaran dari panel surya 50 Wp.

Pengukuran dilakukan dengan alat bantu multimeter yang telah di set pada V_{DC} , tegangan keluaran dari panel surya diukur menggunakan multimeter digital. Dari hasil pengukuran didapatkan tegangan keluaran panel rata-rata



Gambar 5. Grafik pengukuran tegangan panel surya

b. Pengukuran tegangan dan arus masuk pada aki.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan terhadap tegangan keluaran dari panel surya dan tegangan pada aki beserta arus yang masuk pada aki, energi yang masuk ke aki selama satu hari \pm 12 jam pengecasan oleh panel surya didapatkan :

$$\begin{aligned}
 Ah_{input} &= t \cdot I_{rata-rata} \\
 &= 12 \text{ jam} \cdot 0,9A \\
 Ah_{input} &= 10,8Ah
 \end{aligned}$$

c. Pengukuran Tegangan dan Arus Keluar Pada Aki

Hasil Pengukuran Lampu PJUTS Dalam Kondisi nyala normal. Dari hasil pengukuran tegangan dan arus yang dari SSC ke lampu, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Tegangan lampu hidup normal (V_{normal}) = 12,48 V_{DC}
2. Arus lampu hidup normal (I_{normal}) = 0,95A
3. $P = V_{normal} \cdot I_{normal}$
 = 0,95 A . 12,48 V
 = 11.86 Watt

Hasil Pengukuran Lampu PJUTS Dalam Kondisi Redup didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut :

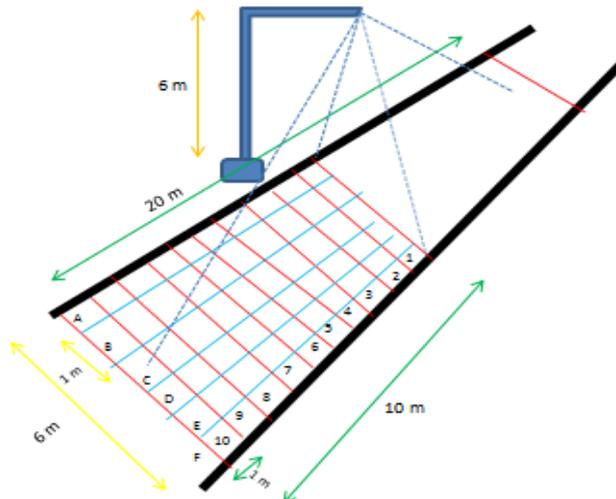
1. Tegangan lampu hidup redup (V_{redup}) = 12,56 V_{DC}
2. Arus lampu hidup redup (I_{redup}) = 0,37A
3. $P = V_{redup} \cdot I_{redup} = 12,56 V \cdot 0,37 A$
 = 4,65 Watt

3.2.4. Pengujian PJUTS dengan Mekanisme Penghematan Otomatis

Implementasi PJUTS dengan penghematan telah dilakukan selama 09 April 2019 hingga 17 April 2019. Ada beberapa tahapan pengujian dilakukan, yang pertama mengukur sebaran intensitas penerangan yang menyinari jalan. Kemudian dilakukan jumlah proses penghematan (berapa kali lampu berganti dari menyala redup ke menyala normal yang terjadi) setiap malam selama 7 berturut-turut. Pengamatan dilakukan hari setiap malam dihitung sejak magrib (ketika lampu PJUTS menyala) hingga fajar (ketika lampu PJUTS padam).

a. Pengukuran Tingkat Kelayakan Cahaya dari Lampu PJUTS

Untuk memudahkan pengukuran intensitas penerangan, jalan dibagi menjadi beberapa titik pengukuran. Hasil pembagian titik pengukuran cahaya disajikan dalam gambar 5 berikut.



Gambar 5. Ilustrasi Luas Cakupan Cahaya Titik Pengukuran

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kuat Pencahayaan (Illuminasi)

Nilai Pada Titik Pencahayaan (lux)	Panjang Jalan (meter)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Lebar Jalan (meter)	A	5.2	5.2	5.2	5.1	4.0	3.7	3.3	3.1	1.9	1.3
	B	5.2	5.2	5.2	5.1	4.0	3.6	3.3	3.1	1.7	1.2
	C	5.2	5.2	5.2	5.0	4.0	3.7	3.4	3.1	1.4	1.2
	D	5.2	5.1	4.8	4.6	3.8	3.7	3.2	3.0	1.3	1.1
	E	5.0	4.8	4.6	4.7	3.8	3.6	3.3	3.0	1.3	1.4
	F	5.0	4.9	4.4	4.3	3.7	3.5	3.0	3.1	1.0	0.8

Luas cakupan titik cahaya masing-masing akan dibagi 1 meter untuk satu titik perhitungan cahaya dengan memakai alat bantu Lux meter. Hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada tabel 3. Dari hasil pengukuran ini, terlihat mayoritas area pengamatan, iluminasi lampu di jalan yang berjenis kolektor primer sudah memenuhi standar SNI 7392 tahun 2008, yaitu 3 Lux – 7 Lux.

3.3. Pengambilan Data Implementasi dan Perhitungan PJUTS dengan Penghematan Otomatis

PJUTS dengan mekanisme penghematan otomatis ini diharapkan mampu untuk mengefisienkan pemakaian energi pada komponen penyimpanan PJUTS dibandingkan dengan PJUTS konvensional yang tidak menggunakan mode hemat.



Gambar 6. Kondisi Implementasi Alat Efektivitas Penghematan Energi pada Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya pada Siang Hari

Untuk melihat besarnya penghematan, perlu dilakukan penghitungan durasi PJUTS menyala dalam mode normal, dan nyala dalam mode hemat. Konfigurasinya, ketika tidak ada kendaraan yang lewat, lampu PJUTS menyala dengan mode hemat, ketika ada kendaraan lewat lampu akan menyala selama 1 menit. Untuk menghitung total waktu lampu menyala mode normal, bisa diidentifikasi dengan cara menghitung total kendaraan yang lewat setiap malam pada masa pengujian.

Dari hasil pengamatan tanggal 09 April 2019 hingga tanggal 17 April 2019, didapatkan jumlah kendaraan lewat tiap malam, Total minimum sebanyak 176 kali dan total maksimal banyak 282 kali. Untuk perhitungan total kendaraan, ini kita pilih berdasarkan kendaraan terbanyak (kondisi terburuk), sebesar 282 kali kendaraan lewat dalam semalam. dengan alasan pastinya penggunaan energi terhadap aki akan lebih besar.

Menggunakan data percobaan durasi penyalaan, pengukuran arus, tegangan, didapatkan hasil perhitungan PJUTS dengan mode penghematan dan PJUTS tanpa penghematan seperti pada tabel 4

Tabel 4. Perhitungan Penggunaan Energi dengan Penghematan dibandingkan Konvensional

Jenis PJUTS	Mode PJUTS	Durasi Waktu	Daya	Energi yang digunakan PJUTS	Total
Tanpa Penghematan Otomatis	Mode Normal	12 Jam	11,86 Watt	142,32 Wh	142,32 Wh
Dengan Penghematan Otomatis	Mode Normal	4 jam 42 menit	11,86 Watt	55,74 Wh	89,70 Wh
	Mode Hemat	7 jam 18 menit	4,65 Watt	33,94 Wh	
Selisih Energi yang digunakan					52,62 Wh

c. Perbandingan Pemakaian Energi oleh PJUTS dengan Penghematan Otomatis dengan PJUTS konvensional

Dari hasil perhitungan pemakaian energi oleh sistem PJUTS menggunakan mekanisme penghematan otomatis dibandingkan dengan PJUTS konvensional, didapatkan :

$$\begin{aligned}\% \text{ penghematan} &= E_{\text{Penghematan}} / E_{\text{Total}} \\ &= 52,62 / 142,32 \\ &= 0,369 \\ &= 36,9 \%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan penghematan yang dapat dilakukan PJUTS dengan penghematan otomatis sebesar 36,9 % dibandingkan PJUTS konvensional (tanpa penghematan).

4. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan pengujian, ada 2 kesimpulan yang dapat diuraikan, yaitu :

1. Dari hasil implementasi sistem berdasarkan desain PJUTS yang sudah dirancang, dengan rincian panel 50 Wp, aki 12 V_{DC} 40Ah dan lampu LED 40 watt, telah memenuhi SNI untuk jalan kolektor primer.
2. Dari hasil implementasi PJUTS di jalan kolektor primer, didapatkan hasil PJUTS dengan mekanisme penghematan otomatis ini dapat menghemat penggunaan energi sebesar 36,9% lebih hemat dibandingkan PJUTS konvensional tanpa penghematan.

Daftar Pustaka

- [1] I. Rini, "Penerangan Jalan Umum Antara Hak dan Kewajiban," *NORMA*, vol. 1, pp. 46–62, 2004.
- [2] B. Winardi and A. Nugroho, "Perencanaan Penataan Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) Sebagai Upaya Efisiensi Tagihan Rekening Listrik Kecamatan Suruh Kabupaten Semarang UPJ Salatiga," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. Desember, pp. 138–144, 2012.
- [3] 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.
- [4] I. S. Mardikaningsih, W. Sutopo, M. Hisjam, and R. Zakaria, "Techno-economic feasibility analysis of a public street light with solar cell power," *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2, pp. 769–773, 2016.
- [5] N. B. Rupawanti, "Analisis Dan Efisiensi Daya Instalasi Penerangan Jalan Umum Menggunakan Solar Cell di Kabupaten Lamongan," *J. Elektro*, vol. 2, no. 2, p. 7, 2017, doi: 10.30736/je.v2i2.80.
- [6] E. Kusumayogo, U. Wibawa, and H. Suyono, "Analisis Teknis Dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Solar Cell Untuk Kebutuhan Penerangan Di Jalan Tol Darmo Surabaya," *J. Mhs. Tek. Elektro Univ. Brawijaya*, pp. 1–6, 2014.
- [7] 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.
- [8] M. Mustaqim and M. Haddin, "Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, vol. 6, no. 1, p. 106, 2017, doi: 10.36055/setrum.v6i1.2260.
- [9] A. Hasibuan, W. V. Siregar, and I. Fahri, "THE USE OF LEDS ON PUBLIC STREET LIGHTING TO INCREASE," (*Journal Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 18–32, 2020).
- [10] J. H. Sun, J. F. Su, G. S. Zhang, Y. Li, and C. Zhao, "An energy-saving control method based on multi-sensor system for solar street lamp," *Proc. - 2010 Int. Conf. Digit. Manuf. Autom. ICDMA 2010*, vol. 1, pp. 192–194, 2010, doi: 10.1109/ICDMA.2010.210.
- [11] Y. Wang, C. Hao, S. Zhang, Y. Huang, and H. Wang, "Design of solar LED street lamp automatic control circuit," *2009 Int. Conf. Energy Environ. Technol. ICEET 2009*, vol. 1, pp. 90–93, 2009, doi: 10.1109/ICEET.2009.28.
- [12] Departemen Pekerjaan Umum, *Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan (Standar Nasional Indonesia 7391 :2008)*. 2008.
- [13] Standards Australia, "Stand-alone power systems," *As/Nzs 4509.2:2010*, vol. Part 2: Sy, p. 33, 2010.