

Analisis Teknis-Ekonomis Retrofit Lampu Penerangan Jalan Raya Gatot Subroto-Denpasar

Ni Made Karmiathi[✉], I Gusti Putu Mastawan Eka Putra, Ni Wayan Wisswani

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

[✉]made.karmiathi@pnb.ac.id

Abstrak: Pada tahun 2017, Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) di seluruh Indonesia telah berjumlah 225.249 unit, yang sebagian besar masih menggunakan lampu penerangan berteknologi lama dan tidak efisien sehingga mengonsumsi energi listrik yang sangat besar yakni 3.503,47 GWh/tahun. Untuk itu sangat mendesak diperlukan usaha penghematan energi listrik di sektor LPJU. Guna mendukung upaya ini maka dalam penelitian ini dilakukan analisis teknis dan ekonomis untuk menguji kelayakan proyek *retrofit/* penggantian LPJU di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar dari Lampu Merkuri 250 W menjadi Lampu LED 93 W. Pada akhir studi diperoleh bahwa proyek *retrofit* ini layak secara teknis karena mampu menghasilkan kuat pencahayaan rata-rata 13 Lux (dibandingkan syarat SNI lebih dari 11 Lux) dan penghematan konsumsi energi listrik 157,65 MWh/tahun serta layak secara ekonomis karena memenuhi kriteria kelayakan investasi *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Payback Period* (DPP).

Kata kunci: LPJU, retrofit, lampu LED, NPV, PI, DPP.

Abstract: In 2017, PSL (Public Street Lighting) in Indonesia has reached 225,249 units, That are still dominantly using old technology lighting and inefficient so it consume very large electricity energy, which are 3,503.47 GWh/year. Therefore, effort of electricity saving in the PSL sector is needed urgently. In order to support this effort, in this study a technical and economic analysis are carried out to evaluate the feasibility of the PSL retrofit project on Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar which replace 250 W Mercury Lights into 93 W LED Lights. At the end of the study, it is found that, this retrofit project is technically feasible because it is able to produce 13 Lux average illumination (greater than SNI requirement 11 Lux) and 157.65 MWh/year of electrical energy savings and economically feasible because it meet the investment feasibility technique criterias of Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) and Discounted Payback Period (DPP).

Keywords: PSL, retrofit, LED Light, NPV, PI, DPP.

I. PENDAHULUAN

Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) mempunyai peranan sangat vital dalam mendukung keamanan dan kenyamanan di jalan raya. Hal ini disebabkan karena LPJU berfungsi untuk menghasilkan kekontrasan antara obyek dan permukaan jalan, sebagai alat bantu navigasi pengguna jalan; meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari, mendukung keamanan lingkungan dan memberikan keindahan lingkungan jalan [1].

Oleh karena perannya yang sangat vital maka kebutuhan terhadap keberadaan LPJU semakin tinggi seiring dengan meningkatnya pertumbuhan infrastruktur jalan raya. Pertumbuhan ini juga diikuti oleh semakin meningkatnya konsumsi energi LPJU. Pada akhir tahun 2017 di seluruh Indonesia telah terpasang 225.249 Sistem LPJU (tumbuh 77,3% dibandingkan tahun 2010) yang mengonsumsi energi listrik 3.503,47 GWh [2] serta menyerap anggaran untuk biaya listrik yang sangat besar yakni Rp. 5,14 triliun/tahun. Kondisi serupa juga terjadi di wilayah Propinsi Bali. Pada tahun 2017, Bali telah memiliki 5.194 Sistem LPJU (tumbuh 52,5% dibandingkan tahun 2010) serta mengonsumsi energi listrik sebesar 69,31 GWh [2] yang setara dengan penyerapan dana

APBD sebesar Rp. 101,7 milyar/tahun (dihitung menggunakan Tarif Dasar Listrik 2017).

Selain menyerap anggaran yang cukup besar, LPJU juga berkontribusi terhadap emisi salah satu gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global. Dengan menggunakan *grid emission factor* untuk Indonesia tahun 2016 sebesar 0,851 kg CO₂/kWh [3] maka konsumsi energi listrik LPJU secara Nasional dan Bali, masing-masing menyumbang emisi CO₂ ke udara sebesar 2,98 juta ton dan 58,98 ribu ton per tahun yang berkontribusi terhadap perubahan iklim bumi yang tidak bisa diabaikan.

Data di atas menunjukkan bahwa bahwa LPJU merupakan pengonsumsi energi dan penyerap anggaran serta penyumbang emisi GRK yang cukup besar. Besarnya konsumsi energi dan emisi LPJU antara lain disebabkan karena sebagian besar masih menggunakan teknologi lama yang cenderung tidak efisien serta memiliki umur pakai yang singkat [4].

Oleh karena itu guna melakukan penghematan energi serta mendukung komitmen pemerintah untuk mengurangi gas rumah kaca pada tahun 2020 sebesar 26% (melalui upaya sendiri) dan 41% (apabila mendapatkan dukungan internasional) [4], maka diperlukan adanya upaya penelitian dan pengembangan pada sektor LPJU.

Menurut studi yang dilakukan oleh Pusat Litbang Teknologi Ketenagalistrikan dan EBTKE – KESDM menyimpulkan bahwa penerapan teknologi penerangan jalan yang efisien mampu menghemat konsumsi energi 30-70% [5].

Teknologi LPJU yang efisien dan ramah lingkungan bisa diperoleh dengan menggunakan lampu hemat energi dan penggunaan sumber energi terbarukan ramah lingkungan sebagai catu dayanya [6]. Kemajuan teknologi lampu penerangan hemat energi telah menghasilkan banyak jenis lampu baru untuk penerangan jalan. Teknologi penerangan yang paling menjanjikan untuk penerangan jalan raya sebagai pengganti sistem pencahayaan sodium tekanan tinggi (*high pressure sodium*) saat ini antara lain lampu LED (*light emitting diode*), induksi, plasma, dan sistem pencahayaan *metal halide* (MH) [7]. Di antara jenis-jenis lampu penerangan tersebut, Lampu LED paling populer karena memiliki *luminous efficacy* 70-160 Lm/Watt, *life time* 40.000-90.000 Jam, kuat pencahayaan yang seragam, mengurangi silau dan meningkatkan kenyamanan mata dan kemampuan diskriminasi visual pengemudi kendaraan [8].

Sementara itu, kemungkinan menggunakan sumber energi terbarukan tergantung pada ketersediaannya di lokasi tersebut. Di antara semua jenis sumber energi terbarukan di negara ini, listrik tenaga surya memiliki potensi besar dan telah mulai banyak digunakan sebagai catu daya pada berbagai aplikasi industri maupun rumah tangga. Keuntungan dari energi surya antara lain: ketersediaannya yang kesinambungan (*sustainability*), bersih tanpa polusi, kemudahan perawatan dan tanpa kebisingan sama sekali [9]. Pemanfaatan tenaga surya sebagai catu daya LPJU diharapkan dapat mendukung pencapaian target pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebesar 23% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025 [10]. Sekalipun pemanfaatan tenaga surya sebagai catu daya LPJU sangat menjanjikan, namun untuk kondisi saat ini masih memiliki kelemahan yakni efisiensinya yang masih relatif rendah serta biaya investasi awal terutama untuk biaya panel surya dan baterai.

Guna mendukung percepatan penghematan energi di sektor penerangan jalan umum, maka dalam paper ini dilakukan penelitian tentang penghematan energi pada LPJU yang terpasang di sepanjang Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar.

Sekalipun untuk melakukan penghematan energi pada LPJU bisa dilakukan melalui penggunaan lampu hemat energi dan/ atau penggunaan sumber energi terbarukan sebagai catu daya, namun mempertimbangkan hasil penelitian sebelumnya yang menyimpulkan bahwa lampu penerangan tenaga surya tidak layak dari kajian investasi dan biaya energinya 3,9 kali lebih mahal dibandingkan tarif dasar listrik PLN yang antara lain disebabkan oleh mahalnya harga panel surya dan baterai [6], maka dalam penelitian ini dipilih opsi hanya melakukan penggantian lampu yang disebut *retrofit*. *Retrofit* yang dimaksud dalam penelitian ini adalah penggantian lama (jenis merkuri) menjadi

lampu hemat energi LED, sedangkan komponen lainnya tetap menggunakan komponen semula seperti tiang lampu dan lengannya serta catu dayanya tetap dari jaringan PLN. Dari aspek ini *retrofit* merupakan upaya penghematan yang tercepat, termudah dan termurah.

Untuk mengetahui apakah *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar ini layak atau tidak, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis atau evaluasi teknis melalui kalkulasi manual dan verifikasi menggunakan bantuan perangkat lunak serta analisis secara ekonomi menggunakan teknik kelayakan investasi *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Pay Back Period* (DPP).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada LPJU di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar mulai Bulan Nopember 2018 hingga Bulan April 2019. Pengumpulan data pendukung didapatkan melalui observasi lapangan, *review* terhadap literatur yang relevan dan *interview* dengan dinas/instansi pemerintah terkait. Sedangkan metodologi yang digunakan dalam studi penelitian ini antara lain: Melakukan *review* terhadap spesifikasi LPJU *existing* sesuai dengan SNI dan literatur terkait, melakukan analisis/ evaluasi teknis terhadap lampu pengganti (*retrofit*) hemat energi yang memenuhi syarat, melalui penentuan *initial flux*, penentuan *type* lampu dan kapasitasnya secara manual kemudian diverifikasi menggunakan perangkat lunak Dialux, analisis konservasi energi dan lingkungan, analisis ekonomi/ kelayakan investasi dan penyusunan kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis LPJU Jalan Raya Gatot Subroto

Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar menghubungkan Simpang Perempatan Tohpati (-8,639°, 115,254°) dengan Simpang Pertigaan Kerobokan (-8,637°, 115,175°) sepanjang 9,17 Km dengan lebar jalan 11 m. Jalan raya ini termasuk katagori jalan arteri. Pada jalan ini telah terpasang LPJU (Lampu Penerangan Jalan Umum) jenis Merkuri 250 W yang terpasang pada tiang lampu setinggi 10 m, panjang lengan 3,5 m dan sudut kemiringan 10°, yang terpasang pada salah satu sisi jalan raya dengan jarak antar tiang 40 m sebanyak 229 Unit. LPJU ini beroperasi selama 12 jam per hari mulai pukul 18.00-06.00 Wita.

B. Analisis Teknis

1. Penentuan *Initial flux* dan Kapasitas Lampu

Untuk memenuhi persyaratan minimal rata-rata iluminasi dari lampu penerangan jalan, maka perlu dihitung besar *initial flux* yang diperlukan [11]. Besar *initial flux* bisa dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\phi = \frac{E_{ave} \times P_s \times W_R}{C_U \times M_F} \quad (1)$$

dengan

- E_{ave} , iluminasi rata-rata minimum. Sesuai SNI, iluminasi rata-rata LPJU untuk jalan arteri adalah 11-20 Lux [1]. Pada proyek ini ditentukan sebesar 11 Lux.
- P_s , jarak antar tiang lampu penerangan jalan existing, yakni 40 m.
- W_R , lebar jalan existing sebesar 11 m.
- M_F , adalah *maintenance factor* yang dihitung dengan Persamaan (2).

$$M_F = LLD \times LDD \tag{2}$$

LLD (*Lamp Lumens Depreciation*) untuk lampu LED adalah 0,7 [12], sedangkan LDD (*Luminaire Dirt Depreciation*) adalah 0,9 (untuk jalan dengan lalu lintas menengah sampai padat, kondisi lingkungan cukup bersih serta lama paparan terhadap debu tanpa pembersihan lampu maksimal selama 3 tahun) [13], maka menurut Persamaan (2), $M_F = 0,7 \times 0,9 = 0,63$.

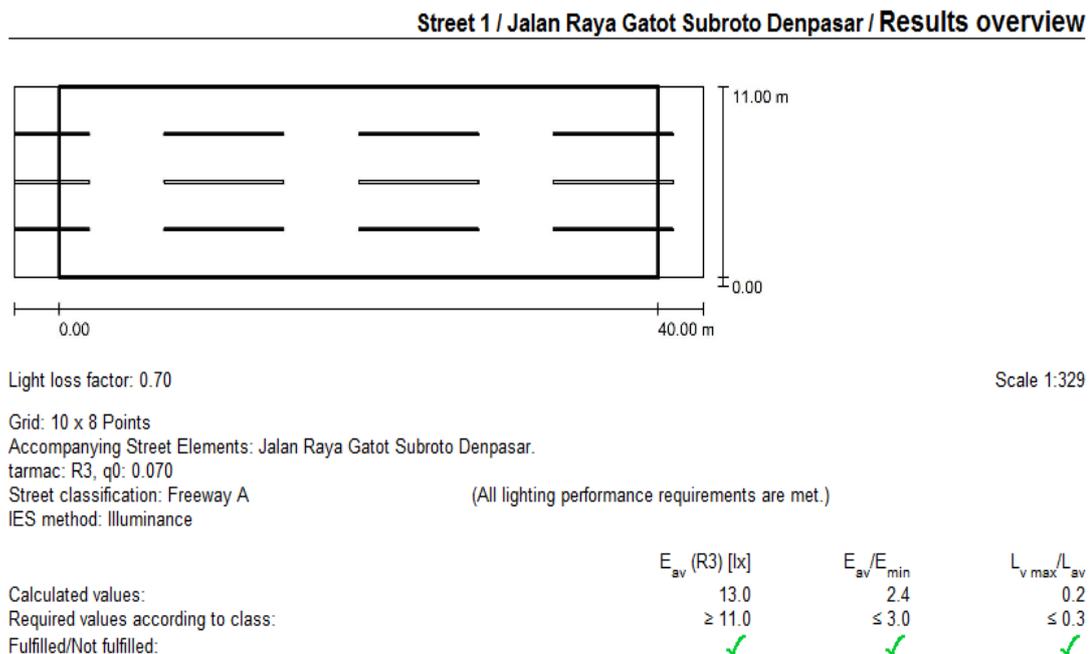
- C_U , koefisien utilisasi yang diperoleh dari Kurva Faktor Utilisasi dari lampu berdasarkan besaran rasio antara lebar jalan (W_R) terhadap tinggi tiang lampu (H). Tinggi tiang lampu (H) ditentukan 10-m, sedangkan lebar jalan (W_R) 11 m, sehingga $W_R/H = 1,1$. Dengan menggunakan Kurva Faktor Utilisasi pada [14] apabila lampu yang digunakan adalah Philips LED (type BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC) maka C_U didapatkan sebesar 0,6.

Apabila semua nilai dari variabel di atas dimasukkan ke Persamaan (1), maka besar *initial flux* dari lampu yang akan digunakan, $\phi = 12,804$

lumens. Dengan menggunakan Philips Concern Photometric Database 2018-12-04 [14], bisa dipilih lampu LED yang mempunyai *initial flux* > 12,804 lumens dengan daya terendah yakni type BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, yang mempunyai intial flux 13,100 lumens dan daya 93 Watt.

2. Verifikasi Menggunakan Aplikasi DIALux
 Dengan menggunakan *software* aplikasi DIALux 4.13 [15], dapat dilakukan verifikasi apakah *project retrofit* lampu penerangan jalan menggunakan Philips Led BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, 93W bisa memenuhi persyaratan SNI untuk Jalan rRaya Gatot Subroto dengan lebar jalan 11 meter, yakni mempunyai iluminasi rata-rata, $E_{ave} = 11$ Lux.
 Berdasarkan hasil kalkulasi menggunakan aplikasi DIALux 4.13 dengan variabel dijaga tetap untuk tinggi tiang lampu (10 m), panjang lengan (3,5 m) dan sudut kemiringan lengan lampu (10 derajat), jarak antar tiang lampu (40 m) serta posisi tiang lampu yang sama (pada satu sisi dari jalan raya) maka diperoleh keluaran: semua unjuk kerja penerangan jalan terpenuhi, yakni $E_{ave} = 13$ Lux (≥ 11 Lux) dan $E_{ave} / E_{min} \leq 3.0$ seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.

Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa Philips Led BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC, 93 W memenuhi syarat secara teknis untuk digunakan sebagai pengganti (*retrofit*) lampu penerangan jalan existing.



Gambar 1. Hasil keluaran *software* DIALux 4.13 untuk *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto.

C. Analisis Konservasi Energi dan Lingkungan

Sesuai data teknis lampu penerangan jalan existing, jenis lampu yang digunakan adalah lampu merkuri dengan daya 250 W, sedangkan sesuai hasil kalkulasi pada bagian sebelumnya diperoleh bahwa jenis lampu pengganti adalah type LED dengan daya 93 W, sehingga terjadi penghematan daya listrik, *electricity power saving*, *EPS* sebesar: $250\text{ W} - 93\text{ W} = 157\text{ W}$ atau terjadi penghematan daya sebesar 63 %. Sedangkan penghematan energi listrik, *electricity energy saving*, *EES* per tahun bisa dihitung dengan Persamaan (3).

$$EES = EPS \times \text{Jumlah Lampu} \times \text{Waktu Operasi Per Hari} \times \text{Jumlah Hari} \quad (3)$$

dalam 1 tahun.

Dengan memasukkan $EPS = 157\text{ W}$, jumlah lampu = 229 buah, waktu operasi 12 jam/hari dan jumlah hari per tahun 365 hari ke dalam Persamaan (3), maka *EES* yang diperoleh 157.646,06 Kwh. Penghematan energi listrik ini setara dengan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 231.310.903,58/tahun (dihitung dengan menggunakan Tarif Dasar Listrik PLN Golongan Tarif P-3/TR Bulan Januari-Maret 2019, yakni Rp. 1.467,28 /kWh [13]).

Penghematan energi listrik pada *project retrofit* ini juga berdampak terhadap berkurangnya emisi gas CO₂ ke udara. Dengan menggunakan *grid emission factor* untuk Indonesia tahun 2016 sebesar 0,851 kg CO₂/kWh [14] maka emisi karbon yang dapat dikurangi dengan implementasi proyek *retrofit* ini sebesar 134,16 ton CO₂/ tahun.

Jika penurunan emisi karbon ini dijual melalui mekanisme ETS (*emission trading system*) dengan tarif efektif 30 Euro/ton [15] dan dengan nilai tukar (kurs) Euro terhadap Rupiah, Rp. 14,408.45/Euro [16], maka diperoleh nilai jual pengurangan emisi gas karbon sebesar Rp. 57.989.743,24/tahun.

D. Analisis Kelayakan Investasi

Teknik analisis kelayakan investasi proyek *retrofit* ini adalah *Present Net Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discounted Pay Back Period* (DPP).

1. Net Present Value (NPV)

NPV dari *project* ini dapat dihitung menggunakan Persamaan [17]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n PVNCF_t - C \quad (4)$$

dengan

- $PVNCF_t$, nilai sekarang arus kas bersih (*present value net cash flow*) dari *project* ini.
- t , adalah umur *project* dari tahun ke-1 sampai tahun ke- n . Dalam *project* ini n sama dengan umur dari Lampu LED, yakni 50.000 jam atau 11 tahun.

- C , *capital expenditure* nilai investasi awal dari *project* ini, yakni sebesar Rp. 1.362.550.000 seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Biaya investasi *project retrofit*.

| No | Komponen | Jumlah | Satuan | Total Harga (Rp) |
|-------------|---|--------|--------|------------------|
| 1 | Lampu PHILIPS BGP 323 T50 1x GRN125-3S/657 DC, 93 W, Lifetime>50.000 Jam. | 229 | Unit | 961.800.000 |
| 2 | Kabel Power 3 x 2,5 mm NYHYH & Aksesoris. | 229 | Set | 125.950.000 |
| 3 | Jasa Instalasi | 229 | Lot | 274.000.000 |
| Total Biaya | | | | 1.362.550.000 |

Teknik analisis kelayakan investasi NPV mempunyai kriteria sebagai berikut: investasi dianggap layak, jika $NPV > 0$ dan investasi dianggap tidak layak, jika $NPV < 0$.

Sementara itu, $PVNCF_t$, Nilai Sekarang Arus Kas Bersih (*present value net cash flow*), bisa diperoleh dari Persamaan [17]:

$$PVNCF_t = NCF_t \times DF_t \quad (5)$$

dengan

- NCF_t , (*net cash flow*), adalah Arus Kas Bersih dari tahun pertama sampai tahun ke- t .
- DF_t , discount factor atau faktor diskonto.

Arus Kas Bersih, NCF_t , diperoleh dengan cara mengurangkan Kas Masuk (*Cash-In*) dengan Kas Keluar (*Cash-Out*):

$$NCF_t = (Cash-In)_t - (Cash-out)_t \quad (6)$$

Cash-In, Arus Kas Masuk ke *project* ini terdiri dari 2 bagian (a) *EES*, penghematan energi listrik dan (b) Hasil penjualan pengurangan emisi karbon dari *project* ini, yang telah dihitung pada bagian 3.3.1 dan 3.3.2 masing-masing sebesar Rp. 231.310.903,58/thn dan Rp. 57.989.743,24/thn.

Cash-Out, Arus Kas Keluar dari *project* ini hanya terdiri biaya pemeliharaan *maintenance*, M antara lain pembersihan *armature* lampu LED untuk menjaga nilai LDD (*Luminaire Dirt Depreciation*) pada angka 0,9. Biaya pemeliharaan diasumsikan sebesar 1% [17] dari biaya investasi yakni sebesar Rp. 136.255.000/tahun.

DF_t , *discount factor* atau faktor diskonto [17] dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$DF_t = \frac{1}{(1+d)^t} \quad (7)$$

dengan

- d adalah suku bunga pinjaman, ditentukan sama dengan 9,95% berdasarkan Suku Bunga Dasar Kredit (SBDK) Akhir Pebruari 2019 untuk suku bunga dasar kredit bank-bank BUMN [18].
- t , adalah umur *project* dari tahun ke-1 sampai tahun ke- n . Dalam *project* ini n sama dengan umur dari Lampu LED, yakni 50.000 Jam atau 11 tahun.

Apabila Biaya Investasi (C), Arus Kas Masuk berupa Penghematan Biaya Energi Listrik dan Hasil Penjualan Penurunan Emisi Karbon; Arus Kas Keluar; Arus Kas Bersih NCF_t (Persamaan 6); Faktor Diskonto, DF_t (Persamaan 7) dan Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $PVNCF_t$ (Persamaan 5) dihitung dari tahun ke-1 sampai tahun ke-11, maka bisa ditabulasikan seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Berdasarkan tabel ini, bisa diperoleh bahwa Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $\sum NCF_t \times DF_t = \text{Rp. } 1.794.655.851$. Sehingga dengan memasukkan nilai ini dan nilai investasi C ke Persamaan 4, diperoleh $NPV = \text{Rp. } 432.105.850,81$. Oleh karena NPV bernilai positif (>0), maka sesuai kriteria NPV , proyek retrofit LPJU ini dinilai layak/ *feasible*.

2. Profitability Index (PI)

Analisis teknik kelayakan investasi *Profitability Index* (PI) [17] dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n PVNCF_t}{C} \quad (8)$$

Dengan kriteria: jika $PI > 1$ maka investasi dianggap layak/ *feasible*, sedangkan jika $PI < 1$, investasi dianggap tidak layak/ *not feasible*.

Apabila nilai Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih, $\sum NCF_t \times DF_t$ dan nilai investasi C dimasukkan ke Persamaan 8, diperoleh $PI = 1,317$. Oleh karena nilai $PI > 1$, sesuai kriteria PI , maka *project retrofit* LPJU ini dinilai layak/ *feasible*.

3. Discounted Payback Period (DPP)

Payback Period adalah lamanya periode waktu yang dibutuhkan oleh suatu proyek untuk mengembalikan biaya investasi. Sedangkan *Discounted Payback Period* adalah periode pengembalian nilai investasi yang didiskontokan yang mana dihitung lamanya waktu yang dibutuhkan oleh akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($PVNCF$) bernilai sama dengan biaya investasi awal (C).

Kriteria layak tidaknya suatu proyek berdasarkan DPP adalah: apabila DPP lebih pendek dari umur proyek maka investasi dianggap layak, sedangkan jika DPP lebih panjang dari umur proyek maka investasi dianggap tidak layak.

Sesuai yang ditampilkan pada Tabel 2, bahwa pada tahun ke-7, Akumulasi Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($\sum NCF_t \times DF_t$) sebesar Rp. 1.344.314.292 mendekati Nilai Investasi C sebesar Rp. 1.362.550.000 dengan selisih sebesar -Rp. 18.235.708,46. Sedangkan pada tahun ke-8, Nilai Sekarang Arus Kas Bersih ($PVNCF$) sebesar Rp. 129.073.101, maka untuk menutupi selisih terhadap Nilai Investasi sebesar -Rp.18.235.708,46 tersebut diperlukan waktu selama 0,14 tahun atau 1,7 bulan (Rp. 18.235.708,46 dibagi Rp. 129.073.101).

Jadi DPP proyek ini adalah 7 tahun 2 bulan (dibulatkan). Oleh karena DPP lebih pendek dari umur proyek (11 tahun) maka sesuai kriteria DPP, proyek ini dianggap layak/ *feasible*.

Tabel 2. Hasil perhitungan NCF, DF dan PVNCF untuk project retrofit LPJU dengan $i = 9,95\%$.

| Tahun Ke | Biaya Investasi, C (Rp) | Arus Kas Masuk (Rp) | | Arus Kas Keluar (Rp) | Arus Kas Bersih, NCF _t (Rp) | Discount Factor, DF _t | PVNCF _t = NCF _t *DF _t (Rp) | Akumulasi, $\sum NCF_t * DF_t$ (Rp) |
|--|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|--|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| | | Penghematan Biaya Listrik | Penjualan Emisi Karbon | Biaya Pemeliharaan | | | | |
| 0 | 1,362,550,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,0000 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,9095 | 250,727,737 | 250,727,737 |
| 2 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,8272 | 228,037,960 | 478,765,697 |
| 3 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,7523 | 207,401,510 | 686,167,207 |
| 4 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,6843 | 188,632,569 | 874,799,776 |
| 5 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,6223 | 171,562,137 | 1,046,361,912 |
| 6 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,5660 | 156,036,504 | 1,202,398,417 |
| 7 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,5148 | 141,915,875 | 1,344,314,292 |
| 8 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,4682 | 129,073,101 | 1,473,387,393 |
| 9 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,4258 | 117,392,543 | 1,590,779,936 |
| 10 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,3873 | 106,769,025 | 1,697,548,961 |
| 11 | 0 | 231,310,904 | 57,989,743 | 13,625,500 | 275,675,147 | 0,3523 | 97,106,890 | 1,794,655,851 |
| Akumulasi $\sum NCF_t * DF_t$: | | | | | | | 1,794,655,851 | |

IV. KESIMPULAN

Sesuai hasil analisis teknis, lampu hemat energi LED 93W (Philips BGP323 T50 1xGRN125-3S/657 DC) yang dipasang pada tiang lampu saat ini (*existing*) setinggi 10 m, panjang lengan 3,5 m dan sudut kemiringan 10°, yang ditempatkan pada salah satu sisi jalan dengan jarak antar tiang 40 m, ternyata memenuhi syarat untuk mengganti lampu Merkuri 250 W sebagai LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar yang mempunyai panjang dan lebar jalan masing-masing 9,17 Km dan 11 m, terbukti mampu menghasilkan iluminasi rata-rata 13,0 Lux (lebih besar dari persyaratan SNI untuk jalan arteri ≥ 11 Lux).

Keuntungan yang diperoleh dari proyek *retrofit* ini antara lain diperoleh penghematan energi listrik sebesar 157.646,06 Kwh/tahun setara dengan Rp. 231.310.903,58 dan penurunan emisi karbon ke udara sebesar 134,16 ton CO₂/tahun setara dengan Rp. 57.989.743,24.

Sedangkan berdasarkan analisis kelayakan investasi diperoleh NPV sebesar Rp. 432.105.850,81 (NPV>0), PI sebesar 1,317 (PI>1) dan DPP selama 7 tahun dan 2 bulan (lebih pendek dari umur proyek 11 tahun), maka sesuai kriteria bahwa proyek ini layak/*feasible*.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proyek *retrofit* LPJU Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar ini layak/*feasible* baik secara teknis maupun ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Pimpinan dan Staff Dinas Perhubungan Kota Denpasar atas ijin melakukan penelitian dan data-data yang diberikan pada obyek penelitian di Jalan Raya Gatot Subroto Denpasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BSN, *SNI 7391:2008 Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2008.
- [2] Ditjen Ketenagalistrikan KESDM, *Statistik Ketenagalistrikan 2017*, Jakarta: Ditjen Ketenagalistrikan KESDM, 2018.
- [3] PT. PLN, *Electricity Energy Business Plan of PT. PLN (Persero) Year 2016-2025*, Jakarta: PT. PLN, 2015.
- [4] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman: Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, Buku 1 Pengelolaan Sistem PJU Energi Efisien*, Jakarta: Ditjen EBTKE KESDM, 2013.
- [5] Ditjen EBTKE, *Buku Pedoman Efisiensi Energi Pencahayaan Jalan Umum, BUKU II: Perencanaan Sistem PJU Efisien Energi*, Jakarta: Ditjen EBTKE-KESDM, 2014.
- [6] N. Karmiathi, I. Kumara, W. Ariastina and I. Gunarta, "Techno-economic analysis of solar-powered lighting of bali above seawater toll-road," *J. TELKOMNIKA*, vol. 16, no. 5, pp. 232018.
- [7] Y. Jiang, S. Li, B. Guan and G. Zhao, "Cost-effectiveness of new roadway lighting systems," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 2, no. 3, 2015.
- [8] N. Aung and Z. Myint, "Design of stand-alone solar street lighting system with LED," *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, vol. 3, no. 17, 2014.
- [9] A. Jusoh, T. Sutikno, T. Guan and S. Mekhilef, "A review on favourable maximum power point tracking systems in solar energy application," *Journal TELKOMNIKA*, vol. 12, no. 1, 2014.
- [10] I. B. K. Sugirianta and I. G. N. A. D. Saputra, "Modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter," *Journal Matrix*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [11] M. Sandiogo, "Road lighting, lighting Saudi Arabia roads," in *IIEE-CRCSA 5th Technical Seminar-White Palace Hotel*, 2013.
- [12] M. Royer, "Lumen maintenance and light loss factors: consequences of current design practices for LEDs," *Leukos*, vol. 10, 2014.
- [13] R. Kauffman, *Calculating Light Loss Factors for LED Street Lighting Systems*, USA: Municipal Solid-State Street Lighting Consortium.
- [14] Philips, *Luminaire Selection – Philips Concern Photometric Database 2018-12-04*, 2018.
- [15] U. Pont, *DIALux - Tutorial*, 2014.
- [16] PT. PLN, *Penetapan Penyesuaian Tarif (Tariff Adjustment) Bulan Januari-Maret 2019*, Jakarta: PT. PLN (Persero), 2019.
- [17] PT. PLN, *Electricity Energy Business Plan of PT. PLN (Persero) Year 2016-2025*, Jakarta: PT. PLN, 2015.
- [18] OECD, *Effective Carbon Rates: Pricing CO2 through Taxes and Emissions Trading Systems*, Paris: OECD Publishing, 2016.