

Studi Kelayakan Pemasangan PLTS 80 KW pada Sistem Kelistrikan PT. Indonesia Kendaraan Terminal

Pius Aditya Kurnia Ray, Rony Seto Wibowo, dan Feby Agung Pamuji
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ronyseto@ee.its.ac.id

Abstrak—PLTS sebagai salah satu pembangkit listrik terdistribusi adalah jenis pembangkit yang paling efisien untuk di terapkan pada lahan industri. Banyak industri menengah hingga besar di Indonesia yang tertarik untuk mulai menerapkan PLTS pada lahan usaha mereka. PT. Indonesia Kendaraan Terminal menjadi salah satu pelaku industri besar yang tertarik untuk menerapkan PLTS pada jaringan listrik mereka. Namun sebelum menjalankan menerapkan hal tersebut harus dilakukan analisa terlebih dahulu terhadap kelayakan investasinya. Pada tugas akhir ini akan dianalisa alternatif-alternatif investasi, untuk mendapatkan alternatif investasi seperti apa yang paling cocok dan paling menguntungkan dalam penerapan rencana ini. Oleh karena itu analisa kelayakan ekonomi teknik perlu dilakukan. Pada penelitian ini penulis merencanakan penggunaan 195 buah panel surya untuk diterapkan, dengan energi yang dihasilkan 89.83 MWh per tahun dan penghematan sebesar Rp 110.051.317,00. Metode ekonomi Teknik diterapkan untuk mendapatkan kelayakan dari investasi ini. Pada analisa ekonomi yang dilakukan didapatkan alternatif investasi terbaik dengan nilai NPV Rp 81.346.406,00, nilai IRR sebesar 0,54%. Sehingga proyek ini layak untuk dijalankan.

Kata Kunci—Ekonomi Teknik, Net Present Value (NPV), Panel Surya, PLTS, RETScreen.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN energi Indonesia sebagai negara berkembang terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, infrastruktur dan jumlah penduduk yang terus bertambah. Dari tahun 2000 dan 2014, tercatat Indonesia mengalami peningkatan permintaan energi sebesar 65%, bahkan diprediksi mengalami peningkatan sebesar 80% pada tahun 2030 [1]. Keterbatasan lahan, meningkatnya tingkat polusi udara akibat penggunaan bahan bakar fosil, dan partisipasi Indonesia dalam pergerakan transformasi energi menuju energi bersih, menyebabkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebagai pembangkitan tenaga listrik dalam bentuk *Distributed Generator (DG)* menjadi bagian dari prioritas pemerintah [2]. Tenaga matahari sebagai salah satu sumber energi baru dan terbarukan memiliki potensi yang paling besar dan paling diminati di Indonesia. Tenaga matahari ini di proses menjadi energi listrik oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Meningkatnya peminatan pemakaian panel surya juga didukung oleh pesatnya perkembangan teknologi dalam satu dekade ini [3]. Hal ini menyebabkan semakin baiknya tingkat efisiensi panel surya saat ini dan semakin menurunnya harga panel surya dari tahun ke tahun membuat alternatif sumber energi ini semakin populer saat ini. Banyak peneliti didunia

yang menargetkan untuk menurunkan harga PV lebih dari tiga kali di masa mendatang [4]. Banyak industri menengah hingga besar di Indonesia yang tertarik untuk mulai menerapkan PLTS pada lahan usaha mereka, meskipun energi yang dihasilkan PLTS belum dapat dijual pada PLN, tetapi PLTS dapat menghemat pemakaian listrik cukup besar.

PT. Indonesia Kendaraan Terminal menjadi salah satu pelaku industri besar yang tertarik untuk menerapkan PLTS pada jaringan listrik mereka. Namun sebelum menjalankan menerapkan hal tersebut harus dilakukan analisa terlebih dahulu terhadap kelayakan investasinya. Alternatif-alternatif investasi seperti apa yang paling cocok dan paling menguntungkan dalam penerapan rencana ini. Oleh karena itu analisa kelayakan investasi perlu dilakukan.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mencari dasar teori, referensi dan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang dilaksanakan. Sumber literature dari penelitian dapat berupa jurnal, buku, makalah, paper, tugas akhir, dan thesis yang sudah dilakukan sebelumnya. Beberapa hal yang harus dicari sebagai dasar untuk pengerjaan penelitian yaitu mengenai solar panel, menghitung energi keluaran berdasarkan tingkat *irradiance*, dan penghitungan kelayakan investasi.

B. Pengumpulan Data Radiasi Matahari

Mencari data radiasi matahari harian. Data didapat dengan menggunakan software RETScreen, dengan cara memasukan koordinat lokasi penelitian, dan lokasi koordinat pengukuran.

C. Perhitungan Jumlah Komponen yang Dibutuhkan

Penghitungan yang dilakukan untuk mendapatkan jumlah masing-masing komponen yang dibutuhkan, yaitu jumlah PV, SCC, inverter, dan baterai.

D. Menghitung Jumlah Investasi Awal

Jumlah investasi awal dihitung dengan menjumlah total semua pengeluaran awal yang di dapatkan dari pembelian komponen, pengiriman, harga impor, dan pajak masuk.

E. Menghitung Alternatif-Alternatif Investasi

Alternatif-alternatif investasi dihitung, untuk mendapatkan alternatif mana yang paling layak dilakukan. Alternatif yang diberikan yaitu, investasi tanpa pinjaman bank, investasi dengan pinjaman bank 50%, dan investasi dengan pinjaman bank 70%.

Tabel 1. Spesifikasi panel surya Grape Solar GD-D-410-Platinum

Maximum power (Pmax)	410	Watt
Voltage maximum Power (Vmpp)	50,3	Volt
Current at maximum Power Point (Impp)	8,15	Ampere
Open Circuit Voltage (Voc)	61,1	Volt
Short Circuit Current (Isc)	8,77	Ampere
Modul Efisiensi	16	%
Temperature Coeff of Voc	-0,244	V/°C
Temperature Coeff of Isc	0,0044	A/°C
Temperature Coeff of Pmax	-2,05	W/°C

Tabel 2. Jumlah rugi-rugi

Rugi-rugi	%	Hasil Pengukuran (%)
Rugi polusi, kotoran dan debu	3,5	
Rugi suhu modul solar	1,5 – 13,0	5,5
Rugi kabel DC	2,0	
Rugi kabel AC	0,5	
Jumlah Rugi		11,5

Bulan	Radiasi matahari harian - horizontal			
	Suhu udara °C	Kelembaban relatif %	Curah hujan mm	kWh/m ² /d
Januari	26.7	85.5%	309.69	3.67
Februari	26.7	83.5%	269.92	4.00
Maret	27.2	83.0%	209.56	3.97
April	27.8	82.5%	181.20	4.22
Mei	27.8	81.5%	142.29	3.81
Juni	27.8	79.5%	89.10	3.61
Juli	27.2	76.5%	72.85	4.03
Agustus	27.2	76.0%	65.10	4.33
September	27.8	74.5%	73.80	4.31
Oktober	28.3	76.0%	125.55	4.17
November	27.8	79.0%	186.00	3.78
Desember	27.2	81.5%	228.47	3.89
Tahunan	27.5	79.9%	1,953.53	3.98
Sumber	Tanah	Tanah	NASA	Tanah

Diukur pada

Gambar 1. Data radiasi matahari harian yang didapat dengan simulasi RETScreen, setelah memasukkan koordinat lokasi penelitian.

F. Melakukan Simulasi Dengan RETScreen

Simulasi kelayakan investasi dilakukan dengan menggunakan software RETScreen, untuk dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan rumus manual.

G. Analisa Hasil

Analisa hasil yang didapat dari alternatif-alternatif investasi. Melakukan evaluasi terhadap perhitungan dengan simulasi pada RETScreen.

H. Kesimpulan

Menarik Kesimpulan dari alternatif-alternatif investasi yang dianalisa untuk menentukan alternatif yang paling baik, serta pemberian saran.

III. ANALISIS ENERGI DAN KOMPONEN

A. Menentukan Tingkat Radiasi Matahari Harian

Lokasi untuk tingkat radiasi matahari harian yang diambil yaitu pada PT. Indonesia Kendaraan Terminal yang berlokasi pada Jl. Sindang Laut No. 100, Cilincing, Jakarta Utara. Setelah mengetahui lokasi perlu dicari titik kordinatnya untuk dimasukkan kedalam RETScreen, didapatkan titik kordinatnya pada -6.1,106.9. Data radiasi matahari harian yang didapat dengan simulasi RETScreen, setelah

Tabel 3. Energi yang dihasilkan

Bulan	J. Hari	Radiasi kWh/m ² /d	Energy Delivered kWh	RETScreen kWh
Jan	31	3.67	7031.55	7519
Feb	28	4	6922.15	7277
Mar	31	3.97	7606.33	7800
Apr	30	4.22	7824.51	7699
Mei	31	3.81	7299.78	7005
Jun	30	3.61	6693.48	6342
Jul	31	4.03	7721.29	7286
Agu	31	4.33	8296.08	8033
Sep	30	4.31	7991.38	8025
Okt	31	4.17	7989.52	8270
Nov	30	3.78	7008.68	7428
Des	31	3.89	7453.06	7990
Total annual (kWh)			89837.81	90674
Total annual (MWh)			89.83781034	90.674

Tabel 4. Pengeluaran biaya tiap komponen

Item	Spec	Jml	Harga (\$)	Total (\$)	Lok.
Modul Surya	Grape Solar GS-S-410-Platinum	195	106.61	20,788.95	USA
Inverter	Kehua Tech SPI 20kW	4	6,504.35	26,017.40	China
Solar Charge (SCC) Battery	Leonics MPPT LITHPOW ER Lifepo4 lithium ion	9	713.6	6,422.4	Thailand
		23	211.26	4,858.98	China

memasukan koordinat lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Penentuan Modul Panel Surya

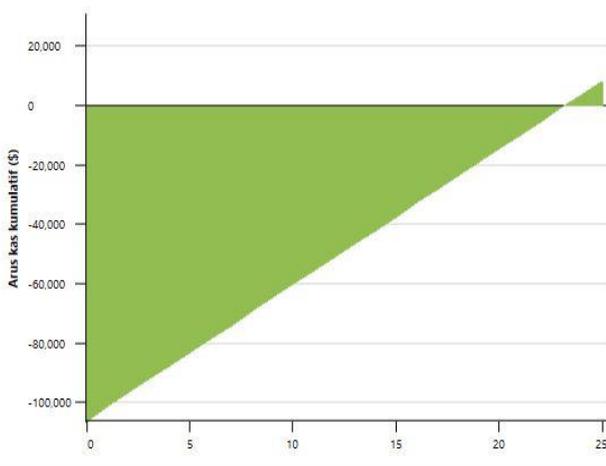
Dalam penelitian ini dipilih bahan yang akan digunakan adalah *mono-silicon*, karena dari bahan lainnya *mono-silicon* memiliki tingkat efisiensi yang paling besar. Serta bahan ini adalah jenis bahan yang paling umum digunakan untuk bidang usaha yang sedang peneliti jadikan bahan penelitian.

Kemudian harus ditentukan berapa kapasitas dari panel surya yang akan digunakan. Dalam penelitian ini diperlukan panel surya dengan kapasitas total 80 kW, sehingga dibutuhkan panel surya dengan kapasitas besar. Panel surya dari Grape Solar dengan model GS-S-410-Platinum menjadi pilihan peneliti, karena selain bahannya sesuai dengan yang diinginkan, kapasitas dari modul surya ini cukup besar yaitu 410 watts/modul dengan efisiensi 16%. Spesifikasi panel surya grape solar GD-D_410-Platinum dapat dilihat pada Tabel 1.

Penghitungan jumlah modul panel surya yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan berikut,

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{P_{\text{watt peak}}}{P_{\text{max}}} \quad (1) \\
 &= \frac{80000}{410} \\
 &= 195,12 \\
 &\approx 195
 \end{aligned}$$

Dibulatkan kebawah karena P panel surya tidak boleh melebihi P inverter. Kemudian dihitung luas *solar collector area* yang dapat dihitung dengan menggunakan data pada *datasheet*.



Gambar 2. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi tanpa pinjaman bank.

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	0.58%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	0.3%
IRR sebelum pajak - aset	%	0.58%
MIRR sebelum pajak - aset	%	0.3%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	23.2
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	8,131
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	325
Rasio manfaat-biaya (B-C)		1.1
Kemampuan pengembalian hutang		Tanpa hutang
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO ₂	-4.63
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.083

Gambar 3. Simulasi analisis biaya alternatif investasi tanpa pinjaman bank.

$$\begin{aligned} \text{Solar collector area} &= 195 \times 2.565 \text{ m}^2 \\ &= 500 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

C. Menghitung Energi Output dari Panel Surya

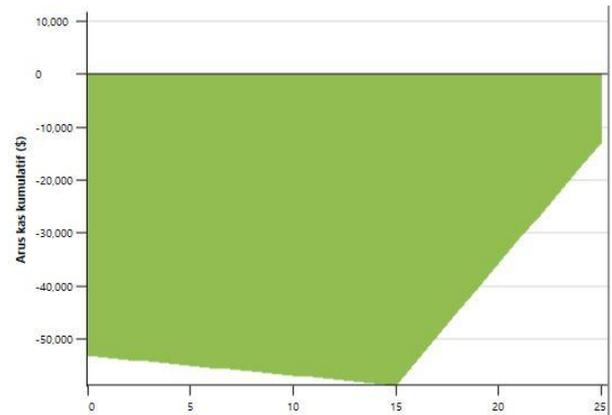
Perlu diketahui bahwa daya input dari panel surya tidak 100% masuk kedalam inverter, karena dipengaruhi oleh rugi-rugi/losses dari komponen dan sistem [5]. Jumlah rugi-rugi dapat dilihat pada Tabel 2.

$$\begin{aligned} \text{Daya output PV/modul} &= 410 - (410 \times 115\%) \text{ watt} \\ &= 410 - 47,15 \text{ watt} \\ &= 362,85 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya output seluruh PV} &= \text{daya output (termasuk rugi) x} \\ &\text{jumlah modul} \\ &(2) \\ &= 362,85 \text{ watt x } 195 \\ &= 70.755,75 \text{ watt/hari} \\ &= 70,75575 \text{ kW/hari} \end{aligned}$$

Jika ingin menghitung energi yang dihasilkan rata-rata pertahun, maka dibutuhkan data rata-rata lamanya matahari bersinar setiap harinya, atau disebut *Peak Sun Hour* (PSH), jika diambil dari data BMKG nilainya adalah 4.4.

$$\begin{aligned} \text{Pout} &= P_i \times \text{PSH} \text{ kwh} \\ &= 70,75575 \times 4,4 \text{ kwh} \\ &= 311,3 \text{ kwh} \end{aligned} \tag{3}$$



Gambar 4. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi dengan pinjaman bank 50%.

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	-1.3%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	-0.99%
IRR sebelum pajak - aset	%	-4.3%
MIRR sebelum pajak - aset	%	-3.5%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	> proyek
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	-12,949
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	-518
Rasio manfaat-biaya (B-C)		0.76
Kemampuan pengembalian hutang		0.92
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO ₂	7.57
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.093

Gambar 5. Simulasi analisis biaya alternatif investasi dengan pinjaman bank 50%.

$$\begin{aligned} \text{Energy Yield} &= \text{Pout} \times 365 \text{ hari} \\ &= 311,3 \text{ kWh} \times 365 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} &= 113.633,73 \text{ kWh/tahun} \\ &= 113,63373 \text{ MWh/tahun} \end{aligned}$$

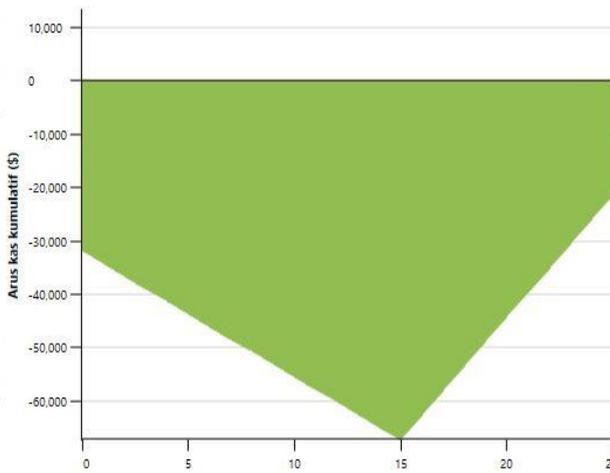
$$\begin{aligned} \text{Htilt} &= \text{PSH} \times 365 \text{ hari} \\ &= 4,4 \text{ h} \times 365 \text{ hari} \\ &= 1606 \text{ h} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \text{E. ideal} &= P \text{ Module} \times \text{jumlah modul} \times \text{Htilt} \\ &= 410 \times 364 \times 1606 \\ &= 128.399.700 \text{ Wh/tahun} \\ &= 128.399,7 \text{ kWh/tahun} \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{Performance Ratio} &= \frac{E_{\text{yield}}}{E_{\text{ideal}}} \\ &= \frac{113.633,73}{128.399,7} \\ &= 0,9 \\ &= 90\% \end{aligned} \tag{7}$$

Maka *performance ratio* nya dinyatakan baik karena hasil masuk dalam nilai 70 – 90%. Setelah mendapatkan data-data diatas maka dapat dihitung energi yang dihasilkan panel surya pertahunnya, dengan memasukan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Energi dihasilkan} &= \text{Radiasi matahari miring} \times \text{Total hari} \\ &\text{dalam 1 bulan} \times \text{solar collector area} \times \\ &\text{performance ratio} \times \text{PV factor} \times \\ &\text{Inverter factor.} \end{aligned} \tag{8}$$



Gambar 6. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi dengan pinjaman bank 70%.

Kelayakan keuangan		
IRR sebelum pajak - ekuitas	%	-2.4%
MIRR sebelum pajak - ekuitas	%	-1.5%
IRR sebelum pajak - asset	%	-6%
MIRR sebelum pajak - aset	%	-4.4%
Pengembalian sederhana	thn	23.2
Balik modal ekuitas	thn	> proyek
Nilai Bersih Sekarang (NPV)	\$	-21,382
Penghematan siklus hidup tahunan	\$/thn	-855
Rasio manfaat-biaya (B-C)		0.33
Kemampuan pengembalian hutang		0.66
Biaya pengurangan GHG	\$/tCO ₂	12.50
Biaya produksi energi	\$/kWh	0.096

Gambar 7. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi dengan pinjaman bank 70%.

Jika dilihat hasil yang didapatkan dari hitung manual dan hasil yang didapat dari simulasi dengan menggunakan RETScreen maka hasil yang di dapat tidak terlalu berbeda. Energi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3.

D. Kebutuhan Baterai

Dalam penelitian ini baterai menyimpan 30% energy dari panel surya. Jumlah baterai yang dibutuhkan untuk mendukung energi dari panel surya dapat dihitung dengan metode yang akan dijelaskan. Pertama ditentukan spesifikasi baterai yang diinginkan yaitu 200 Ah, 12 volt.

$$\begin{aligned}
 \text{Battery Power} &= 30\% \times P_{\text{max pv}} \\
 &= 30\% \times 80000 \\
 &= 24000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ah dibutuhkan} &= \frac{Ek}{V \times \text{Pawer Factor}} \quad (9) \\
 &= \frac{24000}{12 \times 0.9} \\
 &= 2.222,2222 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Sesuai ketentuan penggunaan *deep cycle battery* yang hanya di-discharge sebanyak 50% dari kapasitas total, maka *Depth of Discharge (DOD)* diberlakukan pada baterai. Sehingga nilai kapasitas baterai yang didapat di kalikan 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Ah dibutuhkan} &= 2 \times 2.222,2222 \\
 &= 4.444,4444 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

Sistem kelistrikan kasus acuan (baseline)	Jenis bahan bakar	GHG (selain T&D) tCO ₂ /MWh	Susut T&D %	Faktor emisi GHG tCO ₂ /MWh
Negara - daerah				
Indonesia	Semua tipe	0.755	9.4%	0.833
Listrik yang diekspor ke jaringan	MWh	90.7	Susut T&D	9.4%
Emisi GHG				
Kasus acuan	tCO ₂	75.5		
Kasus diusulkan	tCO ₂	7.1		
Pengurangan emisi GHG pertahun bruto	tCO ₂	68.4		



68.4 tCO₂ sama dengan 29,398.7

Gambar 8. Hasil analisa emisi pada RETScreen.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baterai} &= \frac{\text{Ah dibutuhkan}}{\text{Ah pada catalog}} \quad (10) \\
 &= \frac{4.444,4444}{200} \\
 &= 22,2222 \\
 &\approx 23
 \end{aligned}$$

E. Kebutuhan Inverter

Dalam pemilihan inverter penting diperhatikan Pmax keluaran dari panel surya, karena kapasitas inverter harus mampu menampung seluruh energi yang dihasilkan panel surya. Sehingga dinyatakan kapasitas inverter harus lebih besar dari kapasitas panel surya, secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut,

$$P_{\text{inv}} > P_{\text{max pv}} \quad (11)$$

Inverter yang akan dipakai adalah inverter KEHUA Tech dengan model SPI20K-B, dengan kapasitas maksimum 20kW.

$$\begin{aligned}
 N \text{ inverter} &= \frac{P_{\text{maks}}}{P_{\text{maks inv}}} \quad (12) \\
 &= \frac{70,75575 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} \\
 &= 3,5377875 \\
 &\approx 4
 \end{aligned}$$

F. Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan tempat mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging dan kelebihan voltase dari solar panel. Karena keterbatasan spesifikasi solar

charge controller sehingga perlu dibatasi jumlah solar panel dalam 1 solar charge controller.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah PV/1 SCC} &= I_{sc} / PV_{Isc} & (13) \\ &= 200 / 8,77 \\ &= 22 \\ \text{Jumlah SCC yang diperlukan} &= 195 / 22 \\ &= 8,86 \\ &\approx 9 \end{aligned}$$

IV. ANALISA KELAYAKAN EKONOMI

Analisa kelayakan ekonomi perlu dilakukan untuk melihat apakah investasi yang akan dilakukan layak untuk dilakukan atau tidak. Melalui analisis kelayakan ekonomi juga akan dilihat alternatif-alternatif investasi lainnya untuk mencari alternatif mana yang paling baik untuk dilakukan, dan alternatif investasi mana yang paling menguntungkan. Dalam melakukan analisa kelayakan ekonomi, masa proyek yang diberlakukan adalah 25 tahun, karena hal ini mengacu pada asuransi performa dari modul panel surya PV Grape Solar yang ditanggung selama 25 tahun. Alternatif besar pinjaman yang diberlakukan mengacu kepada aturan Bank Indonesia yang menyebutkan pinjaman untuk sebuah proyek adalah maksimum 70% dari *cost of project* yang dibiayai. Kurs rupiah yang dipakai dalam penelitian ini adalah 1\$ = Rp. 14,182.00.

A. Biaya Pengadaan Komponen PLTS

Setelah didapat semua jumlah masing-masing dari komponen PLTS, maka dapat dicari harga persatuannya lalu dilakukan perhitungan total pengeluaran. Pengeluaran biaya tiap komponen dapat dilihat pada Tabel 4. Karena semua komponen berasal dari luar negeri, maka harus dihitung juga biaya pengiriman, nilai kurs rupiah, dan juga pajak masuk barang sebagai tarif impornya, maka didapatkan total investasi dari pembelian komponen PLTS. Total investasi dari pembelian = Rp 1.499.860.173,00

B. Arus Kas Tahunan

Pada Penelitian ini arus kas yang masuk dan keluar merupakan biaya yang didapatkan dari penghematan listrik tahunan akibat pemasangan PLTS, biaya operasi dan perawatan (O&M) PLTS, dan biaya tagihan hutang jika ada. Biaya penghematan listrik tahunan dapat diketahui melalui besarnya energi yang dihasilkan PLTS per tahunnya dan harga listrik per kWh yang ditentukan PLN. PT. Indonesia Kendaraan Terminal termasuk kedalam golongan industri besar-menengah, maka tarif listrik yang dikenakan pada perusahaan sebesar Rp. 1.225,00/kWh.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan Listrik} &= 89.837,81 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.225,00 \\ &= \text{Rp } 110.051.317,00 \\ \text{O\&M} &= \text{Rp } 58.536,00 / \text{kWp} \\ &= \text{Rp } 46.803.054,00 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Biaya tagihan utang akan dikenakan pada arus kas tahunan jika investasi yang dilakukan tidak sepenuhnya dilakukan dari modal sendiri. Penentuan besarnya tagihan utang pertahunnya dapat diketahui dengan menggunakan konsep faktor pemulihan modal deret seragam atau *Uniform Series Capital Recovery Factor* (USCRF). Konsep ini memiliki rumus bunga:

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (14)$$

Dimana,

A = Angsuran pertahun/bulan yang harus dibayar

P = Nilai sekarang atau *present worth*, dalam hal ini besar investasi diawal.

I, = Besar suku bunga

N = Lamanya umur investasi

Besarnya nilai angsuran hutang pertahunnya (A) akan bergantung pada besar investasi awal yang dikeluarkan, atau bergantung pada berapa besar dari nilai investasi yang dibayar dengan menggunakan pinjaman bank. Dengan menggunakan data dari Bank Indonesia diketahui besar suku bunga adalah 4.5%

C. Alternatif Investasi Tanpa Pinjaman Bank

Jika investasi tidak menggunakan bank, maka semua nilai pengeluaran awal akan menjadi nilai *present worth*.

$$P (\text{present worth})(C_0) = \text{Rp } 1.499.860.173,61$$

Suku bunga dianggap 0%, karena investasi dilakukan tanpa melakukan pinjaman bank, sehingga bunga utang tidak dikenakan. Maka angsuran utangnya juga tidak ada.

$$C_t = \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang}$$

$$C_t = \text{Rp } 63.248.263,00$$

Untuk mencari apakah alternatif investasi ini layak untuk dilaksanakan maka dihitung *Net Present Value* nya (NPV), dengan cara sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (15)$$

Dimana,

NPV, *Net Present Value*

C_t, Arus kas per tahun dalam periode t

C₀, Nilai investasi awal pada tahun ke-0

r, Suku bunga atau discount rate

t, Periode investasi

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0 \\ &= \text{Rp } 1.581.206.580,00 - \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\ &= \text{Rp } 81.346.406,00 \end{aligned}$$

Nilai NPV yang positif menandakan investasi yang direncanakan sudah bisa menghasilkan keuntungan. Jadi alternatif investasi ini layak untuk dilaksanakan. Untuk memperkuat hasil tersebut dapat dilakukan perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR). IRR adalah suatu kondisi dimana tingkat pendapatan menyebabkan nilai NPW (*Net Present Worth*) sama dengan nol. Hal ini dapat dituliskan ke dalam persamaan:

$$NPW = PW_R - PW_E = 0 \quad (16)$$

Atau,

$$\sum_{t=0}^N R_t(P/F, i\%, t) - \sum_{t=0}^N E_t(P/F, i\%, t) = 0 \quad (17)$$

Dimana,

PW_R, nilai *Present Worth* dari semua pemasukan (aliran kas positif)

PW_E, nilai *Present Worth* dari semua pengeluaran (aliran kas negatif)

R_t, Penerimaan neto yang terjadi pada periode ke-t

E_t, Pengeluaran neto yang terjadi pada periode ke-t, termasuk investasi awal. Maka,

$$0 = \text{Rp}1.581.206.580,00 (P/F, i\%, t) - \text{Rp}1.499.860.173,00$$

$$(P/F, i\%, 25) = \frac{\text{Rp}1.499.860.173,00}{\text{Rp}1.581.206.580,00} = 0,9486$$

Mencari nilai i dengan cara mencari nilai terdekat pada table pamejemukan diskrit dengan P/F dan t diketahui, maka mencari pendekatan dari i 0% - 5%

$$i (0\%) = 0$$

$$i (0,5\%) = 0,8828$$

$$\frac{0,5-i}{0,5-0} = \frac{0,8828-0,9486}{0,8828-0}$$

$$i = 0,5372\%$$

Nilai i atau IRR yang positif menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan pada masa mendatang akan mendatangkan keuntungan sehingga investasi ini dianggap layak untuk dikerjakan. Dari hasil simulasi RETScreen dapat dilihat pada gambar 2 dan Gambar 3. NPV dengan simulasi adalah Rp 114.564.915,00, dan *rate of return* (IRR) bernilai 0,58% (positif). Melalui simulasi juga dapat diketahui bahwa investasi mengalami pengembalian modal pada awal tahun ke 23. Alternatif Investasi Dengan Pinjaman Bank 50%

Jika investasi direncanakan dengan menggunakan pinjaman bank untuk sebagian jumlah modal maka perhitungannya akan berbeda, karena dalam aliran arus kasnya akan terjadi 2 fase. Fase saat masih ditanggung tagihan utang dan fase dimana sudah tidak ada lagi tagihan utang, maka perhitungannya dapat menjadi:

$$C_{o1} (\text{Pinjaman Bank}) = 50\% \times \text{Rp} 1.499.860.173,00 = \text{Rp} 749.930.086,00$$

$$C_{o2} (\text{Uang muka}) = 50\% \times \text{Rp} 1.499.860.173,00 = \text{Rp} 749.930.086,00$$

Besar tagihan utang yang harus dibayar pertahunnya.

$$A = C_{o1} \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (18)$$

$$A = \text{Rp} 749.930.086,00 \left[\frac{0,045(1+0,045)^{15}}{(1+0,045)^{15} - 1} \right] = \text{Rp} 749.930.086,00 \times (0,093113808) = \text{Rp} 69.828.846,00$$

Dengan adanya pinjaman dari bank, maka arus kas masuk pertahunnya memilik 2 masa, yaitu aliran kas pada masa pembayaran utang, dan aliran kas setelah masa pembayaran utang lunas.

$$C_{t1} (\text{pada masa utang}) = \text{Pengehematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} = \text{Rp} 110.051.317,00 - \text{Rp} 46.803.054,00 / \text{tahun} - \text{Rp} 69.828.846,00 = - \text{Rp} 6.580.583,00$$

$$C_{t2} (\text{setelah masa utang}) = \text{Pengehematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang} = \text{Rp} 110.051.317,00 - \text{Rp} 46.803.054,00 / \text{tahun} - 0 = \text{Rp} 63.248.263,00$$

$$NPV = NPV_1 - NPV_2 - C_0 \quad (19)$$

$$NPV = \left(\sum_{t=1}^N \frac{C_{t1}}{(1+i)^t} \right) + \left(\sum_{t=1}^N \frac{C_{t2}}{(1+i)^t} \right) - C_{o2} \quad (20)$$

$$NPV = -\text{Rp} 70.672.472,00 + \text{Rp} 632.482.632,00 - \text{Rp} 749.930.086,00 = -\text{Rp} 188.119.926,00$$

Jika dilihat dari perhitungan NPV pertama memiliki t dari 1 hingga 15 karena lamanya pembayaran hutang adalah 15 tahun, dan besar i adalah 4,5% karena utang dikenai bunga utang. Pada NPV kedua memiliki t dari 1 hingga 10 karena masa tanpa tagihan utang selama 10 tahun, dan i bernilai 0 karena tidak dikenai lagi bunga utang. Jika dilihat dari nilai NPV yang bernilai negatif, maka tidak terjadi pengembalian modal selama jangka investasi, dan dinyatakan alternatif investasi ini tidak dianjurkan untuk dijalankan.

Untuk mencari berapa besar IRR pada kondisi dimana aliran kas tidak seragam selama periode investasi, maka perhitungan IRR harus dihitung dari semua aliran kas masuk dan semua aliran kas keluar. Dari data aliran kas yang didapat di perhitungan sebelumnya.

$$NPW = A_1(P/A, i\%, 15) + A_2(A/P, i\%, 25) + A_3(A/P, i\%, 25) + F(P/F, i\%, 25) - C_{o2}$$

Dimana,

A₁, Tagihan utang

A₂, O&M

A₃, Pengehematan Listrik

F, Nilai NPV₁ - NPV₂ dari persamaan 4.1

$$NPW = 0 = -\text{Rp} 69.828.846,00 (P/A, i\%, 15) - \text{Rp} 46.803.054,00 (P/A, i\%, 25) + \text{Rp} 110.051.317,00 (P/A, i\%, 25) + \text{Rp} 561.810.159,00 (P/F, i\%, 25) - \text{Rp} 749.930.086,00$$

Untuk mencari nilai i pada kasus ini akan banyak interpolasi yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai i yang mendekati, karena terdapat dua faktor, yaitu P/A dan P/F. Untuk mempermudah dapat dilakukan pendekatan dengan menganggap aliran kas terjadi tanpa bunga, sehingga dua faktor berbeda tersebut dapat dikonversi menjadi satu. Seperti mengkonversi P/A dan P/F menjadi P/F saja [6-7].

$$\text{Rp} 749.930.086,00 = (-\text{Rp} 69.828.846,00 \times 15) + (-\text{Rp} 46.803.054,00 \times 25) + (\text{Rp} 110.051.317,00 \times 25) + \text{Rp} 561.810.159,00 (P/F, i\%, 25)$$

$$\text{Rp} 749.930.086,00 = \text{Rp} 1.095.584.046,00 (P/F, i\%, 25) = \frac{\text{Rp} 749.930.086,00}{\text{Rp} 1.095.584.046,00}$$

$$(P/F, i\%, 25) = 0,6845$$

Pencarian nilai i dengan cara mencari nilai terdekat pada tabel pamejemukan diskrit dengan P/F = 0,6845 dan t = 25. Didapatkan hasil yang mendekati yaitu 1,5% dan 2%. Lalu dilakukan interpolasi untuk mencari nilai pastinya.

$$(P/F, 1,5\%, 25) = 0,6892$$

$$(P/F, i\%, 25) = 0,6845$$

$$(P/F, 2\%, 25) = 0,6095$$

$$\frac{2\% - i}{2\% - 1,5\%} = \frac{0,6095 - 0,6845}{0,6095 - 0,6892}$$

$$2\% - i = 0,5\% (0,1088)$$

$$i = 2\% - (0,0544)$$

$$= 1,9455\%$$

Perlu diingat bahwa nilai aliran kas keluar lebih besar dari aliran kas masuk jadi nilai IRR yang didapat adalah -1,9455%. Hal ini menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan tidak mendatangkan untung, dan tidak layak untuk dijalankan. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi dengan

pinjaman bank 50%. Dapat dilihat pada Gambar 4. Simulasi analisis biaya alternatif investasi dengan pinjaman bank 50%. Dapat dilihat pada Gambar 5. Dari simulasi didapatkan besar nilai *Net Present Value* (NPV) yaitu -Rp 182.442.330,00, dan *rate of return* (IRR) yang didapat bernilai negatif, yaitu -1,3%, yang memperkuat argument diatas.

D. Alternatif Investasi Dengan Pinjaman Bank 70%

Umumnya jika investasi direncanakan dilakukan dengan memanfaatkan pinjaman dari bank, besar pinjaman yang diambil sebesar 70% dari nilai total investasi.

$$C_{01} (\text{Pinjaman Bank}) = 70\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\ = \text{Rp } 1.049.902.121,00$$

$$C_{02} (\text{Uang muka}) = 30\% \times \text{Rp } 1.499.860.173,00 \\ = \text{Rp } 449.958.052,00$$

Besar tagihan utang yang harus dibayar pertahunnya.

$$A = C_{01} \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right]$$

$$A = \text{Rp } 1.049.902.121,00 \left[\frac{0.045(1+0.045)^{15}}{(1+0.045)^{15} - 1} \right] \\ = \text{Rp } 1.049.902.121,00 \times (0.093113808) \\ = \text{Rp } 97.760.384,00$$

Aliran kas pada dua fase dapat dihitung.

$$C_{11} (\text{pada masa utang}) = \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M tagihan utang}$$

$$= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00/\text{tahun} - \text{Rp } 97.760.384,00 = - \text{Rp } 34.512.121,00$$

$$C_{12} (\text{setelah masa utang}) = \text{Penghematan listrik} - \text{O\&M} - \text{tagihan utang}$$

$$= \text{Rp } 110.051.317,00 - \text{Rp } 46.803.054,00 / \text{tahun} - 0 \\ = \text{Rp } 63.248.263,00$$

$$\text{NPV} = \text{NPV}_1 - \text{NPV}_2 - C_0 \\ = -\text{Rp } 370.644.506,00 + \text{Rp } 500.465.681,00 - \text{Rp } 449.958.052,00 \\ = -\text{Rp } 320.136.876,00$$

Nilai NPV yang bernilai negatif, maka tidak terjadi pengembalian modal selama jangka investasi, dan dinyatakan alternatif investasi ini tidak dianjurkan untuk dijalankan. Jika dibandingkan dengan nilai NPV dengan peminjaman dari bank sebesar 50%, NPV pada pinjaman 70% memiliki nilai yang lebih negatif. Hal ini karena semakin besar utangnya maka semakin besar juga angsuran pembayaran utang yang harus dibayarkan setiap tahunnya, dan pajak yang dikenakan pada pembahayaran utang juga bernilai lebih besar meskipun ratio pajaknya sama. Simulasi aliran kas tahunan pada alternatif investasi dengan pinjaman bank 70%. Dapat dilihat pada Gambar 6. Simulasi aliran kas tahunan pada

alternatif investasi dengan pinjaman bank 70% dapat dilihat pada Gambar 7. Dari simulasi didapatkan besar nilai *Net Present Value* (NPV) yaitu -Rp 301.245.313,00, dan *rate of return* (IRR) yang didapat bernilai negatif, yaitu -2,4% yang membuktikan bahwa alternatif investasi ini tidak layak dijalankan

V. TINJAUAN LINGKUNGAN

Jika dilihat dari simulasi RETScreen sebelum dilakukan pemasangan panel surya gas rumah kaca yang dihasilkan dari pemakaian listrik sebesar 75,5 tCO₂, dan setelah dilakukan pemasangan panel surya dengan keluaran daya 89,84 MWh gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar 7,1 tCO₂. Pengurangan yang terjadi sebesar 68,4 tCO₂, atau setara dengan 29.398,7 liter bensin. Hasil analisa emisi pada RETScreen dapat dilihat pada Gambar 8.

VI. KESIMPULAN

Dengan jumlah komponen 195 pcs panel surya, 23 baterai, 4 inverter, dan 9 *Solar Charge Controller* (SCC), dapat dihitung 3 alternatif investasi. Dari semua alternatif investasi yang diberikan, alternatif investasi yang paling disarankan adalah alternatif investasi tanpa pinjaman bank, karena pada alternatif ini NPV bernilai positif sebesar Rp 81.346.406,00. Hal ini berarti alternatif investasi ini pada akhir periode investasinya dapat menghasilkan keuntungan sebesar Rp 81.346.406,00. Didukung dengan nilai IRR yang positif 0.58% menguatkan bahwa alternatif investasi ini layak dijalankan. Diketahui proyek akan mengalami balik modal pada awal tahun ke 23.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1995.
- [2] B. S. Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2000.
- [3] A. Sangwongwanich, Y. Yang, D. Sera, F. Blaabjerg, and D. Zhou, "Impacts of PV Array Sizing on PV Inverter Lifetime and Reliability," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2017, pp. 1–9, doi: 10.1109/TIA.2018.2825955.
- [4] N. A. K. Dekko, "Apikasi Solar Panel Roof Sebagai Alternatif Energi di Reefer Container Yard PT. Terminal Petikemas Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2020.
- [5] R. Hariyati, M. N. Qosim, and A. W. Hasanah, "Konsep fotovoltaik terintegrasi on-grid dengan gedung stt-pln," *Energi dan Kelistrikan J. Ilm.*, vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [6] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Lautan Pustaka, 2019.
- [7] A. Nurhayati and R. K. S. Dewi, *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Penerbit And, 2017.