

# ANALISIS RISIKO FINANSIAL DALAM PROYEK PHOTOVOLTAIC (PV) ROOFTOP SEGMENT INDUSTRI DI JAWA TIMUR: STUDI KASUS DI PT XXX - GRESIK

Zafriyal Afril<sup>1</sup>, Hakimul Batih<sup>2</sup>

Institut Teknologi PLN Jakarta, Indonesia

\* Email untuk Korespondensi: zafriyal2010006@itpln.ac.id, hakimul.batih@itpln.ac.id

---

## ABSTRAK (10 PT)

---

### **Kata kunci:**

Analisis Sensitivitas,  
Risiko Finansial,  
Proyek PV Rooftop,  
Metode Monte Carlo,  
Net Present Value,  
Internal Rate of  
Return.

### **Keywords:**

Sensitivity Analysis,  
Financial Risk,  
Rooftop PV Project,  
Monte Carlo Method,  
Net Present Value,  
Internal Rate of  
Return.

Penelitian ini mengkaji risiko finansial dalam proyek pemasangan PLTS Atap pada salah satu pelanggan segmen industri di Jawa Timur. Metode Monte Carlo digunakan dalam penelitian untuk mengatasi "keterbatasan data lapangan yang tersedia". Dalam proyek PV Rooftop yang baru dimulai, data historis jangka panjang terkait produksi energi, harga energi, dan faktor-faktor lain belum ada atau sangat terbatas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penurunan Tarif Dasar Listrik sebesar 20% dan penurunan produksi energi Surya sebesar 20% memiliki dampak yang paling signifikan, menyebabkan penurunan NPV lebih dari 140% dan penurunan IRR lebih dari 28%. Rekomendasi strategi mitigasi juga diusulkan untuk mengatasi risiko-risiko tersebut. Penelitian ini memberikan panduan bagi pengambil keputusan dalam merencanakan dan mengelola proyek energi terbarukan di masa depan khususnya PLTS Atap pada pelanggan segmen industri. Penelitian ini mengkaji risiko finansial dalam proyek pemasangan PLTS Atap pada pelanggan segmen industri di Jawa Timur. Pendekatan menggunakan metode Monte Carlo untuk mengidentifikasi, menilai, dan mengelola risiko-risiko yang mempengaruhi kinerja proyek. Data teknis, dan finansial digunakan dalam analisis. Hasil menunjukkan bahwa fluktuasi Harga Energi/Tarif Dasar Listrik (TDL) dan biaya operasional memiliki dampak signifikan terhadap Net Present Value (NPV) dan Internal Rate of Return (IRR) proyek. Rekomendasi strategi mitigasi juga diusulkan untuk mengatasi risiko-risiko tersebut. Penelitian ini memberikan panduan bagi pengambil keputusan dalam merencanakan dan mengelola proyek energi terbarukan di masa depan.

This study examines the financial risks in the rooftop solar installation project in one of the industrial segment customers in East Java. The Monte Carlo method was used in research to overcome the "limitations of available field data". In the newly started Rooftop PV project, long-term historical data related to energy production, energy prices, and other factors are not yet available or very limited. The results show that a 20% reduction in the Basic Electricity Tariff and a 20% decrease in solar energy production have the most significant impact, leading to a decrease in NPV of more than 140% and a decrease in IRR of more than 28%. Recommendations for mitigation strategies are also proposed to address these risks. This study provides guidance for decision-makers in planning and managing future renewable energy projects, especially rooftop solar for industrial segment customers. This study examines the financial risks in the rooftop solar installation project for industrial segment customers in East Java. The approach uses the Monte Carlo method to identify, assess, and manage risks that affect project performance. Technical, and financial data are used in the analysis. The results show that fluctuations in Energy Price/Electricity Basic Tariff (TDL) and operational costs have a significant impact on the Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) of the project. Recommendations for mitigation strategies are also proposed to address these risks. This research provides guidance for decision-makers in planning and managing future renewable energy projects.

---

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).*

---

## PENDAHULUAN

Krisis lingkungan dan keterbatasan sumber daya energi konvensional telah memicu pergeseran menuju penggunaan energi terbarukan sebagai solusi berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi global. Sebagai langkah mitigasi dalam mengurangi dampak dari perubahan iklim, pemerintah-pemerintah dunia telah memanfaatkan energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangkitkan listrik, seperti sinar matahari, angin, biomassa dan panas bumi (Darma, Lubis, & Husni, 2019). Di tengah upaya ini, teknologi energi surya, khususnya dengan menerapkan panel fotovoltaik (PV) pada atap bangunan (PV Rooftop), telah muncul sebagai pilihan menjanjikan dalam menghasilkan energi bersih secara terdesentralisasi. PV Rooftop memiliki potensi untuk mengubah bangunan-bangunan menjadi produsen energi mandiri, mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil, dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Indonesia, sebagai negara dengan tingkat cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun (Suri, et al., 2017), memiliki potensi yang signifikan dalam mengembangkan energi surya. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik hingga tahun 2060, dibutuhkan tambahan pembangkit dengan rata-rata sekitar 2,9 GW per tahun. Pada tahun 2060, kapasitas pembangkit diproyeksikan mencapai 159 GW, dengan PLTS mendominasi sekitar 41% dari total kapasitas. PLTB menyusul dengan porsi 23%, disusul oleh Amonia sebesar 12%, dan Hidrogen sebesar 7%. Sisanya sebesar 17% akan berasal dari pembangkit EBET lainnya seperti PLTA, PLTBio, PLTP, dan PLTAL (Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2023-2060, 2023).

Salah satu wilayah yang menunjukkan potensi besar adalah Jawa Timur, di mana industri menjadi salah satu sektor yang dapat mendapatkan manfaat dari penerapan PV Rooftop.

Dalam industri, konsumsi energi tinggi dan biaya operasional yang signifikan menciptakan peluang yang kuat untuk mengurangi beban finansial sekaligus dampak lingkungan melalui penggunaan energi surya atap (Lee, Trcka, & Hensen, 2013).

Namun, di balik potensi dan manfaat yang ditawarkan, proyek-proyek PV Rooftop dihadapkan pada sejumlah risiko finansial yang dapat memengaruhi kinerja dan keberlanjutan operasional. Ketidakpastian dalam variabel-variabel seperti biaya investasi awal, fluktuasi harga listrik, efisiensi teknologi, dan faktor-faktor lingkungan menghadirkan tantangan yang perlu diatasi dalam merencanakan dan mengimplementasikan proyek ini (Worren, 2012).

Dalam konteks ini, tesis ini membahas analisis risiko finansial pada proyek PV Rooftop di segmen industri di Jawa Timur dengan menggunakan metode Monte Carlo yang melibatkan simulasi berulang menggunakan berbagai skenario variabel. Diharapkan tesis ini akan memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai risiko-risiko kritis dan bagaimana pengaruhnya terhadap keputusan investasi serta perencanaan proyek PV Rooftop di masa depan.

Penelitian ini mengkaji analisis risiko finansial proyek energi surya atap (PV Rooftop) di segmen industri di Jawa Timur menggunakan metode Monte Carlo. Rumusan masalahnya meliputi identifikasi variabel utama yang mempengaruhi risiko finansial, dampak variabel-variabel tersebut terhadap kinerja proyek di PT XXX - Gresik, dan interaksi antara variabel risiko. Penelitian bertujuan untuk memahami faktor risiko yang memengaruhi keberhasilan finansial proyek, menganalisis dampaknya terhadap NPV dan IRR, serta mengevaluasi interaksi variabel risiko. Manfaat penelitian mencakup kontribusi akademik, panduan investasi, perencanaan strategis, serta rekomendasi kebijakan bagi industri energi terbarukan di Jawa Timur. Ruang lingkupnya terbatas pada proyek PV Rooftop di sektor industri, dengan fokus pada aspek keuangan seperti NPV, IRR, dan interaksi variabel risiko finansial tanpa membahas aspek teknis instalasi.

## METODE

Penelitian ini akan dilaksanakan di wilayah Jawa Timur, Indonesia. Untuk objek penelitian berlokasi di Jl. Beta III Kawasan Industri Maspion .Manyarejo, Manyar Sido Mukti, Kec. Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur dengan titik koordinat permukaan bumi yakni (-7.101907651777178, 112.6191105176556) Dengan menggunakan pendekatan metode monte carlo. Lokasi PT XXX - Gresik Jawa Timur dipilih sebagai tempat penelitian karena selain karena subyek penelitian saat ini sedang melakukan implementasi PV Rooftop, juga karena berada di wilayah yang memiliki potensi yang signifikan untuk pengembangan proyek PLTS Atap. Total Global tilted irradiation at optimum angle (GTI Opta) di area tersebut adalah 1986.8 kWh/m<sup>2</sup> (GlobalSolarAtlas, 2024). Total Collector Irradiance di wilayah tersebut sebesar 1.731,6 kWh/m<sup>2</sup> (GlobalSolarAtlas, 2024). Dengan nilai tersebut potensi PLTS yang dapat dihasilkan dalam setahun sebesar Specific photovoltaic power output PVOUT specific sebesar 1565.8 kWh/kWp (GlobalSolarAtlas, 2024). Penelitian ini akan melibatkan pelanggan dari segmen industri.



**Gambar 1. Denah Lokasi Pt Xxx – Gresik**

Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu dimulai dari bulan September 2023 hingga Juli 2024. Waktu penelitian ini dipilih dengan dasar durasi pelaksanaan proyek implementasi PV Rooftop di PT XXX-Gresik yang sesungguhnya. Selain itu, waktu penelitian yang mencakup periode satu semester penuh akan memungkinkan untuk mengumpulkan data yang cukup untuk analisis sensitivitas dan evaluasi risiko yang komprehensif. Penelitian ini akan melibatkan pengawasan di lapangan, pengumpulan data, analisis, dan interpretasi hasil secara berkesinambungan sepanjang periode penelitian yang telah ditentukan.

Desain penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko finansial dalam proyek pemasangan PLTS Atap (PV Rooftop) pada segmen industri di Jawa Timur menggunakan pendekatan Monte Carlo. Metodologi meliputi pengumpulan data teknis dan finansial, identifikasi risiko, pemodelan Monte Carlo, serta perhitungan NPV dan IRR proyek. Setelah simulasi, analisis sensitivitas dilakukan untuk menilai dampak risiko terhadap kinerja finansial proyek, serta mengevaluasi potensi strategi mitigasi. Hasil yang diharapkan mencakup identifikasi risiko finansial signifikan, penilaian dampaknya, dan rekomendasi mitigasi risiko. Penelitian ini diharapkan memberi wawasan mendalam tentang risiko finansial dan strategi mitigasi dalam proyek energi terbarukan, khususnya PV Rooftop di segmen industri.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengumpulan Data

#### 1. Skema dan Spesifikasi PV Rooftop

Berdasarkan data simulasi produksi energi tahunan dari aplikasi Helioscope sebesar 327.316,40 kWh dari sistem PV Rooftop dengan kapasitas 225 kWp untuk PT XXX – Gresik di dapatkan total kebutuhan sistem sebagai berikut:

**Tabel 1. Kebutuhan Kapasitas Panel Pv Rooftop Pada LWBP Dan Peak Sun Hour Berdasarkan Luasan Atap**

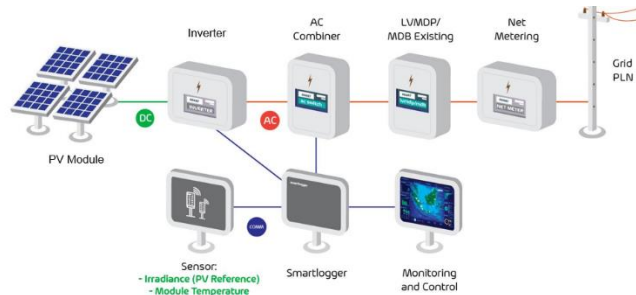
Design PT XXX - Gresik	
System Capacity	225 kWp
Panel	409 (@550 W/unit)
Inverter	2 (@30 kw/Unit)
	1 (@15 kw/Unit)
	2 (@50 kw/Unit)
Estimate Average Annual Production	313,002 kwh
Shading	3.60%
Note	Design 1 + Canopy

**Tabel 2. Kebutuhan Komponen Sistem**

Komponen	Tipe	Kapasitas	Jumlah	Total	Unit
Inverter	SUN2000-30KTL-M3 (400V) (2022)(Huawei)	30	2	60	kW
Inverter	SUN2000-15KTL-M2 (400V)(Huawei)	15	1	15	kW

Inverter	SUN2000-50KTL-M3 (400V)(Huawei)	50	2	100	kW
String	10 mm <sup>2</sup> (Tembaga)	18(601,4m)	18	601,4	m
Modul PV	Trina Solar, TSM-DE19 550W (550W)	550	409	224950	W

Berdasarkan informasi kunci yang diperoleh pada diskusi awal fase pra-projectproyek, diketahui bahwa PT XXX – Gresik menyampaikan kebutuhan PLTS atap sebesar 225 kWp yang didasarkan pada ketersediaan atap yang ada. Sebagai tindak lanjut dari diskusi awal tersebut maka proposal penawaran yang diterima oleh PT XXX – Gresik dari penyedia Layanan PV Rooftop bahwa perusahaan akan menggunakan panel Surya dengan opsi kapasitas 225 kWp DC dengan diagram sistem PV Rooftop Off-Grid sebagaimana gambar berikut:



Gambar 2. Diagram Sistem Pv Rooftop Pt Xxx – Gresik

Dengan usulan pemasangan sistem PV Rooftop di area pemasangan atap sebagaimana tergambar di bawah ini (layout berdasarkan hasil rekomendasi aplikasi Helioscope):



Gambar 3. Area Pemasangan Panel Pv Pt Xxx – Gresik

**2. Estimasi Produksi Energi Surya:**

Data produksi energi bulanan berdasarkan hasil pengolahan software Helioscope, didapatkan bahwa produksi PV Rooftop on-grid untuk kapasitas inverter sebesar 225 kWp sebagaimana ditunjukkan dalam tabel :

**Tabel 3.**Data Produksi Energi Listrik Surya Bulanan

Month	GHI(kWh/m <sup>2</sup> )	POA(kWh/m <sup>2</sup> )	Shaded(kWh/m <sup>2</sup> )	Name plate(kWh)	Grid(kWh)
January	157,70	157,40	151,20	32.347,20	26.976,20
February	115,50	115,60	111,00	23.700,90	20.091,10
March	168,10	168,10	161,80	34.603,00	29.180,10
April	152,60	152,90	147,60	31.573,50	26.615,90
May	144,30	144,70	139,70	29.808,50	25.095,70

June	141,80	142,20	137,10	29.212,80	24.648,50
July	162,20	162,80	157,60	33.636,20	28.334,90
August	183,00	183,40	177,90	38.111,20	31.966,20
September	191,50	191,90	186,30	39.972,80	33.157,40
October	165,10	165,30	159,60	34.162,90	28.761,40
November	149,60	149,50	143,20	30.585,00	25.900,60
December	155,30	154,90	148,40	31.707,50	26.588,40
				389.421,50	327.316,40

**Tabel 4.** Parameter Statistik Produksi Pv Rooftop Setahun 225 Kwp Di Pt Xxx - Gresik

	Monthly	Unit	Yearly
Rata-rata (mean)	27.276,37	kWh	
Median	26.796,05	kWh	
Standar Deviasi	3.287,76		11.389,14
Max	33.157,40	kWh	
Min	20.091,10	kWh	
Total	327.316,40	kWh	

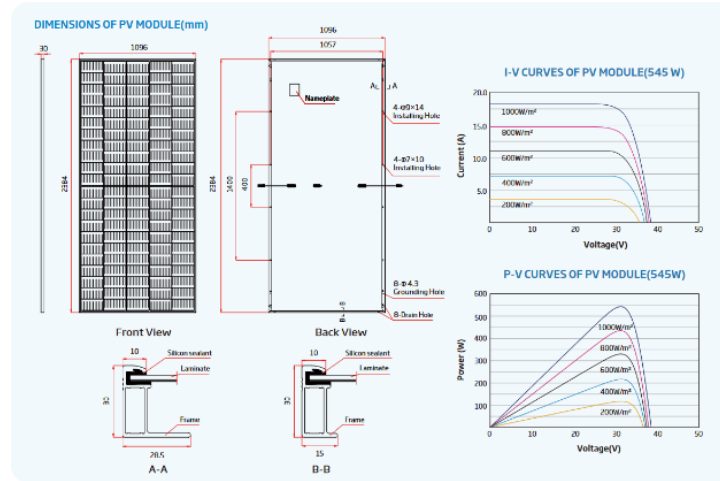
Dari tabel di atas diambil angka sebesar 327.316,40 kWh sebagai nilai parameter produksi Energi PV Rooftop tahunan dalam analisis Monte Carlo dan Standar Deviasi sebesar 11.389,14 kWh yang diambil dari nilai standar deviasi bulanan  $\times \sqrt{12}$  (How to correctly annualize a risk measure, n.d.)

### 3. Green Impact

- Annual Energy Generation: 327.316,4 kWh/year
- CO<sub>2</sub> Emission Reduction: ~278,2 ton CO<sub>2</sub>/year  
 CO<sub>2</sub> Emission Reduction (kg CO<sub>2</sub>/year)=327.316,4 kWh/year $\times$ 0.85 kg CO<sub>2</sub>/kWh = 278.219 kg CO<sub>2</sub>/year atau 278.2 tons CO<sub>2</sub>/year
- Equivalent Trees Planted: ~12.646 pohon per tahun  
 Equivalent Trees Planted = 278,219kg CO<sub>2</sub>/year / 22kg CO<sub>2</sub>/tree/year ~12.646 pohon per tahun.

### 4. Data Teknis Panel Surya

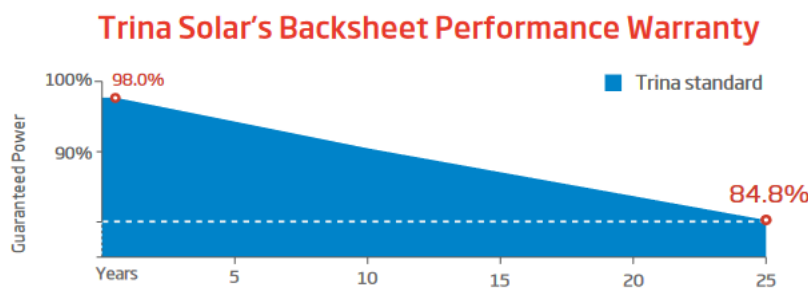
Berdasarkan rekomendasi Helioscope, jenis panel yang akan digunakan adalah TSM-DE19 550W (550W) dari Trina Solar, ([https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet\\_Vertex\\_DE19.pdf](https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet_Vertex_DE19.pdf)) dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:



Gambar 4. Spesifikasi Teknis Panel Surya Trina Solar Tsm-De19 550w

ELECTRICAL DATA (STC) TSM-XXXXE19 (XXX-530-555)		MECHANICAL DATA	
Peak Power Watts (Wp)***	530 535 540 545 550 555	Solar Cells	Monocrystalline
Bypass/Tolerance-Pass (W)	0 - +5	Max. of cells	110 cells
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	30.9 31.0 31.2 31.4 31.6 31.8	Module Dimensions	2384±0.50/2380 mm (93.86/±0.13 inches)
Maximum Power Current-Imp (A)	17.21 17.28 17.33 17.37 17.40 17.45	Weight	25.3 kg (55.3 lb)
Open Circuit Voltage-Voc (V)	37.1 37.3 37.5 37.7 37.9 38.1	Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmittance, Anti-Reflection, Tempered Glass
Short Circuit Current-Isc (A)	18.31 18.35 18.41 18.47 18.52 18.56	Encapsulant material	EVA/POE
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.3 20.5 20.7 20.9 21.0 21.2	Backsheet	White
<small>STC Irradiance: 1000W/m², Cell Temperature: 25°C, Air Mass: AM1.5, *Bypass/Tolerance: 0.5%</small>		Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminum Alloy
<b>ELECTRICAL DATA (NOCT)</b>		J-Box	IP68 Rated
Maximum Power (Wp)	401 405 409 413 417 420	Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 inches²), Pure Lead: 300/200 mm(11.81/7.87 inches) Lengths can be customized
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	29.6 29.8 29.9 30.1 30.2 30.5	Connector	Shoebit MK4 LVDC / Trina Solar TSM-Fiber / Trina Solar TSM
Maximum Power Current-Imp (A)	14.01 14.05 14.10 14.15 14.19 14.23	<b>TEMPERATURE RATINGS</b>	
Open Circuit Voltage-Voc (V)	35.0 35.1 35.3 35.5 35.7 35.9	NOCT (Nominal operating cell temperature)	43°C (107°F)
Short Circuit Current-Isc (A)	14.70 14.80 14.84 14.88 14.92 14.96	Temperature Coefficient of Pmax	-0.34%/°C
<small>NOCT Irradiance: 800W/m², Ambient Temperature: 25°C, Wind Speed: 1m/s</small>		Temperature Coefficient of Voc	-0.25%/°C
		Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
		<b>WARRANTY</b>	
		12 year Product Workmanship Warranty	<b>PACKAGING CONFIGURATION</b>
		25 year Power Warranty	
		2% first year degradation	Modules per box: 36 pieces
		0.55% Annual Power Attenuation	Modules per 40' container: 720 pieces
		<small>Photo credit: Trina Solar</small>	

Gambar 5. Mechanical Dan Electrical Parameter Panel Surya Trina Solar Yang Digunakan



Gambar 6. Gambar Usia Produktif Panel Surya Trina Solar Tsm-De19 550w

5. Nilai Investasi Awal Sesuai Ketersediaan Atap Pelanggan

Berdasarkan hasil survey luasan atap serta data penawaran dari salah satu kontraktor penyedia system PV Rooftop, didapat bahwa nilai direct purchase / Investasi dari sistem PVR berukuran 225 kWp untuk PT XXX – Gresik adalah Rp 2.645.601.750. Nilai ini sudah termasuk komponen panel surya, inverter, aksesoris, balance-of-system, perkabelan, jasa pengerjaan termasuk perijinan (nidi/SLO).

6. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Besaran biaya operasional dalam proyek energi terbarukan seperti PV rooftop bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran proyek, jenis teknologi, lokasi geografis, dan sebagainya. Biasanya, biaya

operasional dapat dihitung sebagai persentase dari total biaya investasi awal (CAPEX) proyek. Namun, angka pasti ini sangat tergantung pada kondisi spesifik proyek dan lingkungan di mana proyek tersebut beroperasi.

Sebagai contoh, dalam banyak proyek energi terbarukan, biaya operasional dapat berkisar antara 1% hingga 3% dari total biaya investasi awal per tahun (Lazou & Papatsoris, 2000). Namun, angka ini hanya merupakan estimasi umum dan dapat lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada faktor-faktor yang telah disebutkan di atas.

Dengan demikian, kisaran variasi biaya operasi dan pemeliharaan (OM) per tahun untuk PV Rooftop yang akan dikembangkan dengan investasi sebesar Rp 2.645.601.750 di PT XXX adalah  $1\% \times \text{Rp } 2.645.601.750 =$

**Tabel 5. Biaya Operasional Dan Standar Deviasi**

Persentase (%)	Investasi	Nilai biaya O/M	Standar Deviasi
1%	Rp 2.645.601.750	26.456.017,5	Rp 1.322.800,88

Untuk pilihan besaran biaya O/M ini diasumsikan mengikuti kestabilan nilai biaya investasi awal sehingga ditetapkan nilai standar deviasi O/M sebesar 5% dari nilai biaya O/M yang sebesar 1% dari nilai investasi atau senilai Rp 1.322.800,88

### 7. Suku Bunga (Cost of Capital/CoC)

Berdasarkan informasi dari mitra pengembang PV Rooftop data suku bunga yang digunakan untuk menghitung nilai diskonto dalam analisis finansial proyek berdasarkan informasi Suku Bunga Kredit Rupiah Menurut “Kelompok Bank Swasta Nasional – Investasi” tahun 2019 - 2023 (Suku Bunga Kredit Rupiah, 2024) sebagai berikut:

**Tabel 6. Suku Bunga Kredit Tahunan Bank Swasta Nasional - Investasi**

Bank Swasta Nasional – Investasi	Suku Bunga Kredit Rupiah Tahunan											
	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2019	10,6%	10,56%	10,52%	10,49%	10,45%	10,41%	10,4%	10,34%	10,3%	10,16%	10,17%	10,02%
2020	10,02%	9,98%	9,81%	9,57%	9,43%	9,42%	9,28%	9,2%	9,11%	9,03%	8,93%	8,81%
2021	8,79%	8,67%	8,66%	8,55%	8,51%	8,72%	8,61%	8,55%	8,5%	8,42%	8,35%	8,22%
2022	8,25%	8,21%	8,14%	8,08%	8,02%	7,87%	7,87%	7,88%	7,92%	8%	8,09%	8,28%
2023	8,35%	8,39%	8,42%	8,43%	8,44%	8,37%	8,33%	8,3%	8,27%	8,24%	8,23%	8,23%

**Tabel 7. Parameter Statistik Suku Bunga Kredit Tahunan Bank Swasta Nasional - Investasi**

Monthly	
Rata-rata	8,95%
Median	8,55%
Standar Deviasi	0,87%
Max	10,60%
Min	7,87%

Dari tabel di atas diambil nilai rata-rata total sebesar 8,95% sebagai dasar parameter Cost Of Capital dalam analisis Monte Carlo dan Standar Deviasi sebesar 0,87%.

### 8. Harga Energi/Tarif Dasar Listrik

Berdasarkan data tarif tenaga listrik tahun 2019 hingga 2023 yang diperoleh dari halaman web PT PLN Persero (Tarif Adjustment, 2024) diketahui bahwa tarif untuk golongan I3/TM (segmen Industri dengan total kebutuhan daya di atas 200KVA), maka diperoleh informasi Harga Energi/Tarif Dasar Listrik di tahun 2019 hingga 2023 untuk segmen Tarif I3P adalah sebagai berikut:

**Tabel 8.** Tarif Dasar Listrik Segmen Tarif I3p

Nama Perusahaan:	PT XXX - Gresik		
Tarif/Daya	I3P/1,11MVA		
	TAHUN	LWBP (Rp/KWH)	WBP (Rp/KWH)
	2019	1.035,78	K x LWBP
	2020	1.035,78	K x LWBP
	2021	1.035,78	K x LWBP
	2022	1.035,78	K x LWBP
	2023	1.035,78	K x LWBP
	Rerata	1.035,78	

Nampak bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan pada tarif listrik kelas Industri I3P selama kurun 5 tahun terakhir.

**Tabel 9.** Parameter Statistik Tarif Dasar Listrik Tahunan

Rata-rata	Rp	1.035,78
Median	Rp	1.035,78
Standar Deviasi		0,00
Max	Rp	1.035,78
Min	Rp	1.035,78

## 9. Penggunaan Listrik PLN

Data penggunaan energi listrik dari jaringan listrik PLN dalam kurun waktu pemakaian Oktober 2022, November 2022, Juni 2024:

**Tabel 10.** Penggunaan Listrik PLN

Month	Year	Pemakaian (kWh)				Total Pengeluaran (Rp)
		LWBP (kWh)	LWBP (Rp)	WBP (kWh)	WBP (Rp)	
Oktober	2022	393.360	407.434.421	80.320	124.790.774	532.225.195
November	2022	384.192	397.038.390	77.584	120.539.933	518.478.323
Juni	2024	373.571	386.937.370	78.642	122.183.716	524.394.719

Untuk data penggunaan energi listrik dari PLN tidak digunakan sebagai parameter perhitungan karena dalam hal ini sudah diwakili oleh spesifikasi sistem PV Rooftop yang diimplementasikan oleh penyedia sistem PV Rooftop di PT XXX – Gresik.

### Penetapan Variabel

Dalam analisis Arus Kas untuk mengetahui nilai NPV dan IRR proyek PV Rooftop PT XXX – Gresik dilakukan langkah-langkah penetapan variabel untuk parameter perhitungan sebagai berikut:

- Data skema dan spesifikasi sistem yang digunakan untuk memastikan konfigurasi sistem PV rooftop.
- Data simulasi Produksi PV Rooftop sebagai dasar untuk proyeksi produksi energi.
- Biaya Investasi (CAPEX) dan Operasional (OPEX) untuk menghitung biaya awal proyek dan biaya tahunan yang harus dikeluarkan untuk pemeliharaan dan operasi.
- Suku Bunga Bank untuk Proyek untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan.
- Harga Energi/Tarif Dasar Listrik dari PLN: Untuk menghitung penghematan atau pendapatan dari energi yang dihasilkan.



**Tabel 11.** Variabel Parameter Analisis

No	Parameter	Mean
1	Kapasitas PV (kWp)	225
2	Biaya Investasi (IDR)	Rp <b>2.645.601.750</b>
3	Biaya Operasional (1% Capex)	Rp <b>26.456.017,50,-</b>
4	Produksi Energi (kWh/thn)	327.316,40
5	Tarif Listrik (IDR/kWh)	Rp 1.035,78
6	Suku Bunga (%)	8,94%

### Analisis Arus Kas

Sebelum melakukan simulasi Monte Carlo, dilakukan analisis arus kas untuk menghitung nilai NPV Dan IRR proyek selama 25 tahun menggunakan variabel yang sudah ditetapkan di atas menggunakan tabel Excel di lembar kerja Excel yang terdiri dari kolom-kolom berikut (secara berurutan dari paling kiri ke kanan) (Assagaf, 2021):

**Tabel 12.** Nilai Parameter Keuangan Semua Variabel Tetap

		Kondisi	Status
IRR	10,93%	>CoC	<b>LAYAK</b>
NPV	Rp 439.645.181	>0	<b>LAYAK</b>
B/C	1,17	>1	<b>LAYAK</b>

### Analisis Monte Carlo

Untuk melakukan analisis NPV dan IRR menggunakan metode Monte Carlo dilakukan simulasi dengan memasukkan angka acak yang dihasilkan berdasarkan distribusi probabilitas untuk setiap variabel input-tidak-pasti ke dalam tabel perhitungan NPV dan IRR. Tujuan dari simulasi Monte Carlo di sini adalah untuk mengukur dampak ketidakpastian dari variabel-variabel ini terhadap hasil NPV maupun IRR. Oleh karena itu, setiap iterasi simulasi Monte Carlo akan menggunakan serangkaian nilai input acak yang berbeda. Jika analisis melibatkan umur ekonomis dari sistem PV Rooftop selama 25 tahun, maka dihitung NPV dan IRR dengan mempertimbangkan arus kas tahunan selama 25 tahun, jumlah iterasi yang diperlukan dalam simulasi Monte Carlo sangat bergantung pada kompleksitas model dan tingkat kepercayaan yang diinginkan. Namun, secara umum, angka 10.000 iterasi sering kali digunakan dalam praktek keuangan dan Teknik (Reinout, 2019). Berikut adalah langkah-langkah mendetail untuk melakukan simulasi Monte Carlo di Excel dengan memperhitungkan umur ekonomis sistem selama 25 tahun:

1. Mengidentifikasi variabel tidak pasti dan menentukan tipe distribusi masing-masing variabel
  - a. Produksi Energi Tahunan (kWh): Distribusi normal (mean dan standar deviasi diketahui)
  - b. Tarif Listrik (IDR/kWh): Distribusi normal
  - c. Biaya Operasional (OPEX) tahunan: Distribusi normal
  - d. Suku Bunga Diskon (persen) tahunan: Distribusi normal
2. Menggunakan fungsi *built-in* dalam MS Excel untuk menghasilkan angka acak (penulis menggunakan versi MS Excel 365)
  - a. RAND(): Menghasilkan angka acak antara 0 dan 1
  - b. NORM.INV(RAND(); mean; standard\_dev): Menghasilkan nilai acak dari distribusi normal
3. Input parameter statistik di MS Excel:

**Table 13.** Parameter Statistik Dengan Nilai Random Masing-Masing Variabel

Parameter	Mean	Standar Deviasi	Rand val	Keterangan
Kapasitas PV (kWp)	225,00			Fixed
Biaya Investasi (IDR)	Rp. 2.645.601.750,00			Fixed

Biaya Operasional 1%	Rp. 26.456.017,50	Rp 1.322.800,88	Rp. 26.909.517,86	Berdasarkan Data distribusi normal
Produksi Energi (kWh/thn)	327316,40	11389,14	334516,9695	Berdasarkan Data distribusi normal
Tarif Listrik (IDR/kWh)	1035,78	0,00	Rp. 1.035,78	Berdasarkan Data distribusi normal
Suku Bunga (%)	8,94%	0,87%	7,33%	Berdasarkan Data distribusi normal

Perhitungan nilai NPV dan IRR menggunakan angka acak yang dihasilkan dari fungsi RAND(); dan fungsi NORM.INV(RAND()); dari MS Excel.

4. Tampilan hasil iterasi Monte Carlo dengan fungsi Data Tabel untuk biaya investasi Rp 2.645.601.750,00.

**Tabel 14.** Hasil Iterasi Monte Carlo 10000 X Dengan Fungsi Data Table

Iterasi	NPV	IRR
1	Rp 447.193.154,76	10,99%
2	Rp 463.358.024,94	11,01%
3	Rp 488.042.369,60	11,10%
4	Rp 464.547.001,49	10,98%
5	Rp 491.496.217,28	11,12%
6	Rp 478.985.778,59	11,07%
7	Rp 485.939.385,44	11,16%
8	Rp 411.657.506,85	10,72%
9	Rp 413.860.650,56	10,82%
.	.	.
..	..	..
...	...	...
....	....	....
9998	Rp 485.219.924,08	11,20%
9999	Rp 486.753.958,86	11,14%
10000	Rp 519.379.354,70	11,24%

#### 5. Statistik Deskriptif

Perhitungan statistik deskriptif *mean* (rata-rata), *median*, *standard deviation* (deviasi standar), *minimum*, dan *maximum* menggunakan fungsi AVERAGE, MEDIAN, STDEV.P, MIN, MAX di MS Excel dari 10.000 iterasi NPV dan IRR menghasilkan informasi sebagai berikut:

**Tabel 15.** Analisis NPV Untuk Nilai Investasi Sesuai Nilai Investasi Awal, Biaya O&M 1% Dari Investasi, 10.000 X Iterasi Monte Carlo

NPV	
Rata-rata	Rp 452.538.334,80
Median	Rp 440.888.795,34
Standar Deviasi	Rp 221.064.663,94
Max	Rp1.353.201.641,52
Min	-Rp 214.269.583,57
Probabilitas NPV $\geq 0$	98,82%
Kuartil pertama	Rp 296.966.646,23
Kuartil kedua	Rp 593.137.333,32
Value at Risk	Rp 111.233.024,53

**Tabel 16.** Analisis Irr Untuk Nilai Investasi Sesuai Nilai Investasi Awal, Biaya O&M 1% Dari Investasi, 10.000 X Iterasi Monte Carlo

IRR	
Rata-rata	10,93%
Median	10,93%
Standar Deviasi	0,13%
Max	11,35%
Min	10,45%
Probabilitas IRR $\geq$ Suku Bunga Bank	100,00%
Kuartil pertama	10,85%
Kuartil kedua	11,02%
Value at Risk	10,72%

**Tabel 17.** analisis NPV dan IRR untuk nilai Investasi sesuai nilai investasi awal, Biaya O&M 1% dari investasi, 10.000 x iterasi Monte Carlo

Parameter	Mean	Standar Deviasi	Rand val	Keterangan
Kapasitas PV (kWp)	225,00			Fixed
Biaya Investasi (IDR)	Rp 2.645.601.750,00			Fixed
Biaya Operasional 1%	Rp 26.456.017,50	Rp1.322.800,88	Rp27.444.837,57	Based on Data
Produksi Energi (kWh/thn)	327.316,40	11.389,14	342.154,67	Based on Data
Tarif Listrik (IDR/kWh)	1035,78	0,00	Rp 1.035,78	Based on Data
Suku Bunga (%)	8,94%	0,87%	7,64%	Based on Data
NPV 25 tahun 10000 Iterasi	Rp 452.538.334,80			LAYAK

IRR 25 tahun		
10000 Iterasi	10,93%	LAYAK

### Analisis Sensitivitas

Menentukan variabel mana yang paling mempengaruhi hasil NPV dan IRR, dengan analisis sensitivitas melalui langkah-langkah:

1. Membuat tabel uji sensitivitas dengan menggunakan fungsi *Data Table* di Excel pada lembar kerja simulasi montecarlo yang sudah ada dengan cara mengatur variabel input dan melihat perubahan kecil dalam variabel ini (Nilai investasi awal proyek, produksi energi listrik pv rooftop, tarif listrik PLN, suku Bunga bank, mempengaruhi NPV dan IRR:
  - a. Dengan semua parameter tetap (Produksi listrik dari PV Rooftop, Tarif listrik PLN, serta suku bunga Bank tetap), dilakukan uji sensitivitas penyesuaian nilai NPV dan IRR dengan melakukan variasi nilai investasi awal mulai dari 0,8x, 0,9x, 1,1x dan 1,2x dari nilai investasi sesungguhnya menggunakan fungsi *Data Table* pada MS Excel.
  - b. Dengan semua parameter tetap (Nilai investasi awal, biaya operasional, tarif listrik PLN, serta suku bunga Bank), dilakukan uji sensitivitas penyesuaian nilai NPV dan IRR dengan melakukan variasi nilai produksi listrik dari PV Rooftop mulai dari 0,8x, 0,9x, 1,1x dan 1,2x dari angka produksi rata-rata menggunakan fungsi *Data Table* pada MS Excel.
  - c. Terakhir, dengan melakukan variasi suku bunga Bank mulai dari 0,8x, 0,9x, 1,1x dan 1,2x dari angka suku Bunga Bank eksisting dan semua parameter lain tetap (Nilai investasi awal, biaya operasional, tarif listrik PLN, serta produksi listrik dari PV Rooftop), dilakukan uji sensitivitas penyesuaian nilai NPV dan IRR menggunakan fungsi *Data Table* pada MS Excel.

### 2. Hasil pengolahan analisis sensitivitas

#### a. Pengolahan Hasil Analisis

Di kolom ke-dua data-data dikelompokkan berdasarkan variabel, di kolom ke-tiga adalah “% perubahan” yang terdiri dari -20%, -10%, 0% (tetap), 10%, dan 20% perubahan dari variabel awal. Di kolom ke-empat adalah nilai NPV dalam Rupiah. Di kolom ke-lima adalah perubahan NPV (%). Di kolom berikutnya adalah nilai IRR (%) dan selanjutnya adalah kolom perubahan nilai IRR (%).

**Tabel 18.** Hasil Analisis Sensitivitas dengan baseline NPV dan IRR

No	Variabel	Perubahan (%)	NPV (IDR)	Perubahan NPV (%)	IRR (%)	Perubahan IRR (%)
1	Biaya Investasi	-20	Rp1.031.283.251,05	127,89%	14,51%	32,76%
2	Biaya Investasi	-10	Rp 743.729.773,99	64,35%	12,55%	14,83%
3	Biaya Investasi	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
4	Biaya Investasi	10	Rp 161.478.077,30	-64,32%	10,93%	0,00%
5	Biaya Investasi	20	-Rp 132.638.880,44	-129,31%	8,39%	-23,29%
6	Produksi Energi	-20	-Rp 220.013.152,93	-148,62%	7,86%	-28,13%
7	Produksi Energi	-10	Rp 116.165.298,64	-74,33%	9,43%	-13,77%
8	Produksi Energi	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
9	Produksi Energi	10	Rp 789.162.433,39	74,39%	12,39%	13,34%
10	Produksi Energi	20	Rp1.123.239.801,18	148,21%	13,81%	26,34%
11	TDL	-20	-Rp 221.265.620,94	-148,89%	7,85%	-28,15%
12	TDL	-10	Rp 119.416.351,89	-73,61%	9,43%	-13,77%
13	TDL	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%

14	TDL	10	Rp 788.721.874,15	74,29%	12,39%	13,35%
15	TDL	20	Rp1.130.883.395,96	149,90%	13,81%	26,37%
16	Suku Bunga	-20	Rp 968.627.275,91	114,04%	10,93%	0,02%
17	Suku Bunga	-10	Rp 692.456.405,97	53,02%	10,93%	0,01%
18	Suku Bunga	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
19	Suku Bunga	10	Rp 239.615.079,31	-47,05%	10,93%	0,02%
20	Suku Bunga	20	Rp 52.075.155,49	-88,49%	10,93%	0,00%

b. Pengurutan Data Berdasarkan NPV kemudian IRR

1. Pengurutan berdasarkan NPV yang tertinggi ke terendah kemudian melakukan pemeringkatan NPV

2. Pengurutan berdasarkan IRR yang tertinggi ke terendah kemudian melakukan pemeringkatan IRR

b. Menggabungkan peringkat NPV dan IRR

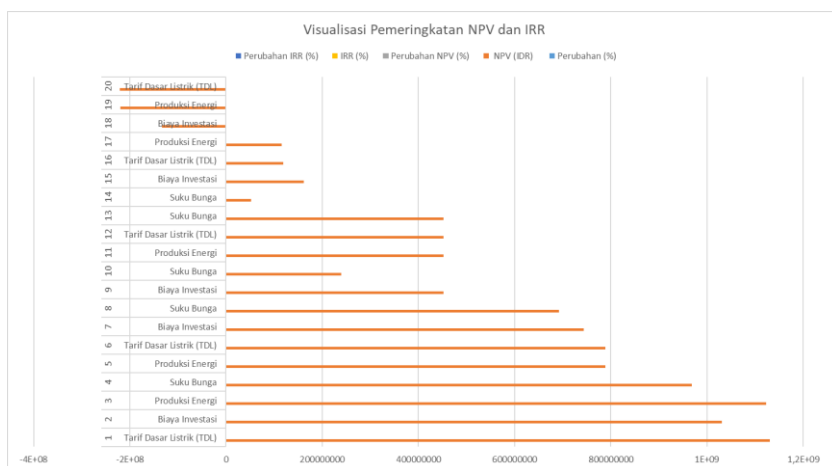
1. Pengurutan berdasarkan gabungan peringkat NPV dan IRR dengan angka peringkatnya paling rendah ke tinggi (angka peringkat rendah menunjukkan peringkat tinggi).

**Tabel 19.** Pengurutan berdasarkan gabungan peringkat NPV dan IRR

Peringkat NPV	Peringkat IRR	Gabungan Peringkat	Peringkat Baru	Variabel	Perubahan (%)	NPV (IDR)	Perubahan NPV (%)	IRR (%)	Perubahan IRR (%)
1	2	3	1	Tarif Dasar Listrik (TDL)	+20	Rp1.130.883.395,96	149,90%	13,81%	26,37%
3	1	4	2	Biaya Investasi	-20	Rp1.031.283.251,05	127,89%	14,51%	32,76%
2	3	5	3	Produksi Energi	+20	Rp1.123.239.801,18	148,21%	13,81%	26,34%
4	7	11	4	Suku Bunga	-20	Rp 968.627.275,91	114,04%	10,93%	0,02%
5	6	11	5	Produksi Energi	+10	Rp 789.162.433,39	74,39%	12,39%	13,34%
6	5	11	6	Tarif Dasar Listrik (TDL)	+10	Rp 788.721.874,15	74,29%	12,39%	13,35%
7	4	11	7	Biaya Investasi	-10	Rp 743.729.773,99	64,35%	12,55%	14,83%
8	9	17	8	Suku Bunga	-10	Rp 692.456.405,97	53,02%	10,93%	0,01%
9	11	20	9	Biaya Investasi	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
13	8	21	10	Suku Bunga	+10	Rp 239.615.079,31	-47,05%	10,93%	0,02%
10	12	22	11	Produksi Energi	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
11	13	24	12	Tarif Dasar Listrik (TDL)	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
12	14	26	13	Suku Bunga	0	Rp 452.538.334,80	0,00%	10,93%	0,00%
17	10	27	14	Suku Bunga	+20	Rp 52.075.155,49	-88,49%	10,93%	0,00%
14	15	29	15	Biaya Investasi	+10	Rp 161.478.077,30	-64,32%	10,93%	0,00%
15	17	32	16	Tarif Dasar Listrik (TDL)	-10	Rp 119.416.351,89	-73,61%	9,43%	-13,77%
16	16	32	17	Produksi Energi	-10	Rp 116.165.298,64	-74,33%	9,43%	-13,77%
18	18	36	18	Biaya Investasi	+20	-Rp 132.638.880,44	-129,31%	8,39%	-23,29%
19	19	38	19	Produksi Energi	-20	-Rp 220.013.152,93	-148,62%	7,86%	-28,13%
20	20	40	20	Tarif Dasar Listrik (TDL)	-20	-Rp 221.265.620,94	-148,89%	7,85%	-28,15%

#### b. Visualisasi Hasil Pemeringkatan NPV dan IRR

Dalam analisis hasil lebih lanjut, dilakukan visualisasi data analisis sensitivitas menggunakan jenis grafik diagram batang (*Bar Chart*) dengan membuat grafik batang horizontal yang menampilkan perubahan NPV atau IRR untuk setiap variabel kemudian mengurutkan batang berdasarkan hasil penggabungan peringkat NPV dan IRR dari yang terbesar ke terkecil.



Gambar 7. Pemeringkatan NPV Dan IRR Berdasarkan Perubahan Variabel

### Interpretasi Hasil Analisis

#### 1. Peran Variabel Harga Energi/Tarif Dasar Listrik

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa variabel Harga Energi/Tarif Dasar Listrik memiliki dampak terbesar terhadap NPV dan IRR proyek PV rooftop di PT XXX - Gresik. Kenaikan Harga Energi/Tarif Dasar Listrik sebesar 20% mengakibatkan perubahan NPV sebesar +149% serta kenaikan IRR sebesar +27%. Sebaliknya, adanya penurunan Harga Energi/Tarif Dasar Listrik sebesar -20% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -149% dan penurunan IRR sebesar -28,15%. Dengan temuan ini maka dapat kita simpulkan bahwa Harga Energi/Tarif Dasar Listrik adalah variabel kunci dari penelitian ini.

#### 2. Peran Variabel Biaya Investasi

Jika biaya investasi mengalami penurunan sebesar 20% maka akan mengakibatkan kenaikan NPV sebesar +128% dan kenaikan IRR sebesar +32%. Sebaliknya, jika investasi naik 20%, maka NPV akan turun -128% dan IRR akan turun -23%.

#### 3. Peran Variabel Produksi Energi PV Rooftop

Jika produksi energi PV Rooftop mengalami peningkatan sebesar +20% akan mengakibatkan peningkatan NPV sebesar +148,21% dan peningkatan IRR sebesar +26,34%. Namun sebaliknya, jika produksi energi PV Rooftop mengalami penurunan sebesar -20% maka akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -148,62% serta penurunan IRR sebesar -28,13%. Kedua variabel ini (biaya investasi dan variabel produksi energi) menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan tetapi lebih rendah dibandingkan perubahan Harga Energi/Tarif Dasar Listrik.

#### 4. Variabel-variabel Kunci yang Paling Berpengaruh pada Risiko Finansial

Dari interpretasi hasil analisis sensitivitas diketahui bahwa ada 7 (tujuh) kondisi variabel yang dapat menyebabkan risiko dalam kelayakan proyek (pengurangan nilai NPV dan nilai IRR dari nilai awal), di mana 3 (tiga) di antaranya adalah kondisi risiko berupa nilai NPV negatif ( $NPV < 0$ ) dan nilai IRR < suku bunga Bank.

#### Strategi Mitigasi Risiko

Dari hasil analisis sensitivitas, diperoleh urutan penyebab risiko finansial sebagai berikut (dari yang terbesar hingga terkecil) beserta usulan strategi mitigasinya:

1. Penurunan Harga Energi/Tarif Dasar Listrik sebesar -20% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -148,89% dan penurunan IRR sebesar -28,15%, dengan kondisi keseluruhan NPV negatif dan IRR < suku Bunga Bank. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
  - a. Mengusulkan Kontrak Jangka Panjang dengan PT PLN: Mengamankan kontrak jual beli listrik (PPA) dengan harga tetap dalam jangka panjang untuk mengurangi risiko fluktuasi TDL.
  - b. Melakukan Negosiasi Tarif: Berkolaborasi dengan pemerintah atau PLN untuk mendapatkan tarif khusus bagi perusahaan yang berinvestasi dalam energi terbarukan.
2. Penurunan produksi energi sebesar -20% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -148,62% serta penurunan IRR sebesar -28,13% dengan kondisi keseluruhan NPV negatif dan IRR < suku Bunga Bank. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:

- a. Meningkatkan pemeliharaan dan monitoring: Melaksanakan program pemeliharaan yang ketat dan monitoring *real-time* untuk memastikan panel surya beroperasi pada efisiensi maksimum.
  - b. Melakukan pemilihan komponen panel surya yang memiliki laju degradasi terendah atau panel surya dengan kualitas terbaik. Hal ini dapat dilakukan namun tentu akan berpengaruh langsung terhadap kenaikan nilai investasi awal proyek PV Rooftop.
  - c. Teknologi terbaru: Pemilihan teknologi panel surya terbaru yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan degradasi yang lebih rendah.
  - d. Penggunaan sistem penyimpanan energi: Mengintegrasikan sistem penyimpanan energi (energy storage) untuk menyimpan kelebihan produksi energi dan menggunakannya saat produksi menurun.
3. Peningkatan biaya investasi sebesar +20% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -129,31% serta penurunan IRR sebesar -23,29% dengan kondisi keseluruhan NPV negatif dan  $IRR < \text{suku Bunga Bank}$ . Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
    - a. Melakukan Optimisasi Desain: Mengoptimalkan desain sistem untuk mengurangi biaya dengan tetap mempertahankan kinerja yang optimal.
    - b. Memilih Pemasok Alternatif: Mencari alternatif pemasok untuk mendapatkan harga yang lebih kompetitif.
    - c. Mengupayakan Hibah dan Insentif: Mengajukan hibah atau memanfaatkan insentif pemerintah untuk energi terbarukan untuk mengurangi biaya investasi.
  4. Penurunan produksi energi sebesar -10% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -74,33% serta penurunan IRR sebesar -13,77%. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
    - a. Audit Energi: Melakukan audit energi secara berkala untuk mengidentifikasi dan memperbaiki faktor-faktor yang mengurangi produksi energi.
    - b. Pelatihan: Memberikan pelatihan kepada tim operasional untuk memastikan perawatan dan operasi dilakukan dengan cara yang paling efisien.
  5. Penurunan TDL sebesar -10% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -73,61% serta penurunan IRR sebesar -13,77%. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
    - a. Diversifikasi Penggunaan Energi: Menggunakan energi yang dihasilkan untuk keperluan lain di perusahaan atau menjual kelebihan energi ke jaringan (net metering).
    - b. Penyesuaian Harga: Melakukan penyesuaian harga secara internal untuk mengurangi dampak dari penurunan Harga Energi/Tarif Dasar Listrik.
  6. Kenaikan biaya investasi sebesar +10% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -64,32% dengan kondisi IRR tetap di angka 10,93%. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
    - a. Efisiensi Proyek: Meningkatkan efisiensi proyek melalui pengelolaan proyek yang lebih baik dan pengurangan biaya yang tidak perlu.
    - b. Pembiayaan: Menggunakan skema pembiayaan yang lebih efisien seperti leasing atau pembiayaan bersama untuk mengurangi beban investasi awal.
  7. Kenaikan suku Bunga bank sebesar +20% akan menyebabkan penurunan NPV sebesar -88,49% dengan kondisi IRR tetap di angka 10,93%. Berikut Strategi mitigasi yang diusulkan:
    - a. Hedging (lindung nilai): Menggunakan instrumen keuangan untuk melindungi proyek dari kenaikan suku bunga (Kolb & Overdahl, 2010).
    - b. Refinancing: Mencari peluang untuk refinancing dengan suku bunga yang lebih rendah jika kondisi pasar memungkinkan (Brealey, Myers, & Allen, 2017)
    - c. Pinjaman Tetap: Mengamankan pinjaman dengan suku bunga tetap untuk menghindari fluktuasi suku bunga (Choudhry, 2011).
  8. Relevansi Hasil dalam Konteks Industri:

Hasil penelitian ini memiliki relevansi yang luas dalam konteks industri energi terbarukan khususnya PV Rooftop untuk pelanggan segmen industri. Temuan ini memberikan wawasan berharga bagi para pemangku kepentingan dalam menghadapi risiko finansial yang melekat dalam proyek energi terbarukan. Implikasi praktis dari hasil ini dapat membantu pengambil keputusan dalam mengidentifikasi risiko-risiko yang mungkin terjadi dan merancang strategi mitigasi yang sesuai.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa variabel-variabel utama yang mempengaruhi risiko finansial proyek PV Rooftop di segmen industri Jawa Timur adalah penurunan harga energi atau Tarif Dasar Listrik (TDL), penurunan produksi energi, dan peningkatan biaya investasi. Penurunan TDL dan produksi energi masing-masing sebesar 20% memiliki dampak signifikan terhadap penurunan nilai NPV dan IRR proyek. Interaksi antara variabel-variabel ini dapat secara signifikan mempengaruhi kelayakan finansial proyek. Namun, penelitian ini belum memperhitungkan faktor degradasi panel surya, yang juga dapat mempengaruhi hasil produksi energi dalam jangka panjang.

## REFERENSI

- Ahmed, T. Z., Mohamed, A., Ahmed, M. E., Abdalgader, A. O., & Hassan-Sayed, M. G. (2023). Investigating energy policies to boost grid-connected rooftop solar PV in Sudan. *Oxford Clean Energy*, 994–1005.
- Altomonte, L. (2023, December 13). What is Hazard Identification and Risk Assessment? Retrieved from Safety Culture: <https://safetyculture.com/topics/risk-assessment/hazard-identification-and-risk-assessment/>
- Andrade, H. M., & Brandalise, N. (2019). MONTE CARLO ECONOMIC AND FINANCIAL FEASIBILITY ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR DISTRIBUTED GENERATION. *Systems & Management*, 348-355.
- Apa Itu Simulasi Monte Carlo? (n.d.). Retrieved from Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com/id/what-is/monte-carlo-simulation/>
- Assagaf, A. (2021, 12). Feasibility Study PV Rooftop. MTE0302 Manajemen Proyek Lecture. Jakarta, Jakarta, Indonesia.
- Beh, C. (2022, 5 10). Building Rooftop Solar PV Risks and Rewards. Retrieved from Marsh: <https://www.marsh.com/en-gb/services/risk-consulting/insights/building-rooftop-solar-pv-risks-rewards.html>
- Bernard, Chris. (2024, May 20). How to Run a Monte Carlo Simulation in Excel: 5 Key Steps. Retrieved from Datamation: <https://www.datamation.com/big-data/how-to-run-monte-carlo-simulation-in-excel/>
- Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2017). *Principles of Corporate Finance* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chandak, P. (2024, March 12). Indonesia Boosts Rooftop Solar Adoption With New Regulations – Minister Of Energy And Mineral Resources Releases Guidelines. Retrieved from solarquarter.com: <https://solarquarter.com/2024/03/12/indonesia-boosts-rooftop-solar-adoption-with-new-regulations-minister-of-energy-and-mineral-resources-releases-guidelines/>
- Chattapadhyay, D. B., Putta, J., & Rao, R. M. (2021). Risk Identification, Assessments, and Prediction for Mega Construction Projects: A Risk Prediction Paradigm Based on Cross Analytical-Machine Learning Model. *MDPI - Buildings*.
- Choudhry, M. (2011). *The Bond and Money Markets: Strategy, Trading, Analysis*. Butterworth-Heinemann.
- Coelho, E. d., Aquila, G., Bonatto, B. D., Balestrassi, P. P., Pamplona, E. d., & Nakamura, W. T. (2021). Regulatory impact of photovoltaic prosumer policies in Brazil based on a financial risk analysis. *Utilities Policy*.
- Couto, P. R., Damasceno, J. C., & de Oliveira, S. P. (n.d.). Monte Carlo Simulations Applied to Uncertainty in Measurement.
- Darma, S., Lubis, H., & Husni, R. (2019, Agustus 28). Mendorong Transisi Menuju Energi Terbarukan Demi Masa Depan yang Berkelanjutan. Diambil kembali dari Pojok Iklim oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan: <http://pojokiklim.menlhk.go.id/read/mendorong-transisi-menuju-energi-terbarukan-demi-masa-depan-yang-berkelanjutan>
- Datta, U., Kalam, A., & Shi, J. (2020). The economic prospect of rooftop photovoltaic (PV) system in the commercial buildings in Bangladesh: a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2129–2143.
- EBTKE, H., & Pribadi, A. (2021, September 2). Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda. Retrieved from ebtke.esdm.go.id: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/09/02/2952/indonesia.kaya.energi.surya.pemanfaatan.listrik.tenaga.surya.oleh.masyarakat.tidak.boleh.ditunda>
- Electrical4U. (2024, April 30). What is Photovoltaic Effect? Retrieved from Electrical4U: <https://www.electrical4u.com/what-is-photovoltaic-effect/>
- Feldman, D., Bolinger, M., & Schwabe, P. (2020). *Current and Future Costs of Renewable Energy Project Finance Across Technologies*. Denver: NREL.



- From sunlight to electricity. (n.d.). Retrieved from Australian Academy of Science: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/solar-pv>
- Gonçalves, A. C., Costoya, X., Nieto, R., & Liberato, M. L. (2024). Extreme weather events on energy systems: a comprehensive review on impacts, mitigation,. SpringerOpen.
- Graf, S., & Korn, R. (2020). A guide to Monte Carlo simulation concepts for assessment of risk-return profiles for regulatory purposes. *European Actuarial Journal*, 273-293.
- Hasjanah, K., & Simanjuntak, U. (2024, February 23). MEMR Regulation No. 2/2024 Limits Public Participation to Support Energy Transition through Rooftop Solar PV. Retrieved from IESR: <https://iesr.or.id/en/memr-regulation-no-2-2024-limits-public-participation-to-support-energy-transition-through-rooftop-solar-pv>
- How to correctly annualize a risk measure. (n.d.). Retrieved from Ortec Finance: <https://www.ortecfinance.com/en/insights/blog/how-to-correctly-annualize-a-risk-measure>
- Hu, M., Liu, Z., Huang, Y., Wei, M., & Yuan, B. (2023, October 25). Estimation of Rooftop Solar Photovoltaic Potential Based on High-Resolution Images and Digital Surface Models. MDPI.
- J.M.K.C. Donev et al. (2024). Photovoltaic effect. Retrieved from Energy Education. Av: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\\_effect](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect)
- Jieb, Y. A., & Hossain, E. (2021). Solar Resources. In *Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications* (pp. 73-94). Springer.
- Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2012). Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. NREL.
- Kautsar, S. R., & Damayanti, M. S. (2020). Financial Feasibility Study of Hydro Power Plant on A River in West Sumatra. *EJBMR*.
- Kenton, W., James, M., & Kvilhaug, S. (2024, June 27). Monte Carlo Simulation: What It Is, How It Works, History, 4 Key Steps. Retrieved from Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/m/montecarlosimulation.asp>
- Khan, T. Y., Soudagar, M. E., Kanchan, M., Afzal, A., Banapurmath, N. R., Akram, N., . . . Shahapurkar, K. (2019). Optimum location and influence of tilt angle on performance of solar PV panels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 511-532.
- Kneip, J., & Byun, S. (2022, April 12). Renewable energy projects present unique lender risks, need for oversight. Retrieved from Federal Reserve Bank of Dallas: <https://www.dallasfed.org/research/economics/2022/0412>
- Kolb, R., & Overdahl, J. (2010). *Financial Derivatives: Pricing and Risk Management*. John Wiley & Sons.
- Kwak, Y. H., & Ingall, L. (2007). Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. *Risk Management*, 44-57.
- Lazou, A. A., & Papatoris, A. D. (2000). The economics of photovoltaic stand-alone residential households: A case study for various European and Mediterranean locations. Elsevier, 411-427.
- Lee, B., Trcka, M., & Hensen, J. L. (2013). Rooftop photovoltaic (PV) systems: a cost-benefit analysis study of industrial halls. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Volume 9, Issue 4, 319-326.
- Lionelli, M. (2021, April 19). Simulation and Modelling to Understand Change. Retrieved from Bookdown.Org: [https://bookdown.org/manuele\\_leonelli/SimBook/](https://bookdown.org/manuele_leonelli/SimBook/)
- Liu, Y. (2022). Evaluation Method Based on NPV and IRR. *ICEMED 2022* (pp. 816-820). Atlantis Press International B.V.
- Nizhebetskyi, Dmytro;. (2013, September 17). Risk Identification (What is it, techniques and examples). Retrieved from IT PM School: Risk Identification (What is it, techniques and examples)
- Pasang PLTS Atap, Tagihan Listrik Lebih Hemat. (2019, August 8). Retrieved from Artikel GPR Menkominfo: [https://www.kominfo.go.id/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel\\_gpr](https://www.kominfo.go.id/content/detail/20547/pasang-plts-atap-tagihan-listrik-lebih-hemat/0/artikel_gpr)
- Pemanfaatan Energi Terbarukan: Bagaimana Panel Surya Bisa Mengurangi Emisi Karbon Anda. (2024, Februari 27). Retrieved from Sun Energy: <https://sunenergy.id/pemanfaatan-energi-terbarukan>
- PERATURAN GUBERNUR JAWA TIMUR NOMOR 6 TAHUN 2020. (2020). Jawa Timur, Indonesia: Provinsi Jawa Timur.
- Pereira, E. J., Pinho, J. T., Galhardo, M. A., & Macêdo, W. N. (2014). Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy. *Renewable Energy*, 347-355.
- Peta Lokasi PT XXX - Gresik. (2024). Retrieved from Google Maps: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-7.101233,112.61879,11&s=-7.101908,112.619111&m=site>
- PlanRadar. (2023, May 31). Mitigating risks, maximizing returns: Key strategies for renewable energy project success. Retrieved from PlanRadar: <https://www.planradar.com/au/mitigating-risks-maximising-returns-renewable-energy-projects/>
- Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules. (2009). *International Journal of Photoenergy*, 1-13.

- Rahman, A. A., Salam, Z., Shaari, S., & Ramli, M. Z. (2019). Methodology to Determine Photovoltaic Inverter Conversion Efficiency for the Equatorial Region. MDPI - Applied Sciences.
- Rahman, T., Al Mansur, A., Lipu, M. S., Rahman, M. S., Ashique, R., Elavarasan, R. M., & Hossain, E. (2023). Investigation of Degradation of Solar Photovoltaics: A Review of Aging Factors, Impacts, and Future Directions toward Sustainable Energy Management. *Energies* -MDPI.
- Reinout, H. (2019). On the number of Monte Carlo runs in comparative probabilistic LCA. *Journal of Life Cycle Assessment*, 394–402.
- (2023). Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2023-2060. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Rexy. (2023, August 27). Mengenal Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Solusi Energi Bersih untuk Masa Depan. Retrieved from Isocenter Indonesia: <https://isoindonesiacenter.com/mengenal-teknologi-pembangkit-listrik-tenaga-surya-solusi-energi-bersih-untuk-masa-depan/>
- Rosyad, A. Y., Wahyudi, C. A., & Noakes, C. J. (2021). Profitability assessment of PV rooftop implementation for prosumer under net metering scheme in Indonesia. *IET*, 714-716.
- Rumsey, K. (2018, August 24). An (Brief) Introduction to Monte Carlo Methods. Retrieved from University of New Mexico Department of Mathematics & Statistics: <https://math.unm.edu/~ktrumsey/classes/fall19/MonteCarlo.html>
- Seel, J., Mills, A., Wisner, R., Deb, S., Asokkumar, A., Hassanzadeh, M., & Aarabali, A. (2018). Impacts of High Variable Renewable Energy Futures on Wholesale Electricity Prices, and on Electric-Sector Decision Making. California: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Senova, A., Tobisova, A., & Rozenberg, R. (2023). New Approaches to Project Risk Assessment Utilizing the Monte Carlo Method. MDPI - Sustainability.
- Seroka, N. S., Khotseng, L., & Taziwa, R. T. (2022). Solar Energy Materials-Evolution and Niche Applications: A Literature Review. ResearchGate - Materials.
- Shaik, F., Lingala, S. S., & Veeraboina, P. (2023). Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study. *Sustainable Energy Research*, 1-23.
- Silva, V. D., Ferreira, P., Cunha, J., & Kimura, H. (2022). Methods for Financial Assessment of Renewable Energy. MDPI - Processes.
- Solar Photovoltaic Cell Basics. (n.d.). Retrieved from Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>
- Suku Bunga Kredit Rupiah. (2024). Retrieved from BPS: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzgZlZl=/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html>
- Support, M. (n.d.). Go with the cash flow: Calculate NPV and IRR in Excel. Retrieved from Microsoft Support: <https://support.microsoft.com/en-us/office/go-with-the-cash-flow-calculate-npv-and-irr-in-excel-9e3d78bb-f1de-4f8e-a20e-b8955851690c>
- Suri, M., Cebecauer, T., Suriova, N., Schierer, B., Skoczek, A., Betak, J., . . . ChrKavy, D. (2017, May). Solar resource and photovoltaic potential of Indonesia (English). The World Bank. Retrieved from Map and data downloads: <https://globalsolaratlas.info/download/indonesia>
- Tanaka, K., Wilson, C., & Managi, S. (2022). Impact of feed-in tariffs on electricity consumption. SpringerLink, 49-72.
- Tarif Adjustment. (2024). Retrieved from Web PLN: <https://web.pln.co.id/pelanggan/tarif-tenaga-listrik/tariff-adjustment/>
- The photovoltaic effect. (2006, December 1). Retrieved from Scienzagiovane.unibo.it : <http://scienzagiovane.unibo.it/English/solar-energy/3-photovoltaic-effect.html>
- The, Team Investopedia. (2024, May 1). How to Create a Monte Carlo Simulation Using Excel. Retrieved from Investopedia: <https://www.investopedia.com/articles/investing/093015/create-monte-carlo-simulation-using-excel.asp>
- UNEP. (2004). Financial Risk Management Instrument For Renewable Energy Projects. United Nations.
- Vera, Y. E., Castillo, O. D., Pardo, L. Á., Fernanda, L., & Pérez, S. (2020). Performance Study of Monocrystalline and Polycrystalline Solar PV Modules in Tropical Environments. *AETA 2019* (pp. 193-203). Springer.
- Vipond, T. (n.d.). Internal Rate of Return (IRR) An Analyst's Guide to IRR. Retrieved from corporatefinanceinstitute.com: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/internal-rate-return-irr/>
- Vodapally, N. S., & Ali, M. H. (2023). A Comprehensive Review of Solar Photovoltaic (PV). *Energies*, 9.
- Wang, Z., Luther, M. B., Horan, P., Matthews, J., & Liu, C. (2023). On-site solar PV generation and use: Self-consumption and. SpringerLink, 1835-1849.

- Wang, Z., Xiao, Y., Wan, Y., Liu, K., & Wang, X. (2022). Research on energy management strategy of photovoltaic–battery energy storage system. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 488-493.
- What is Refinancing? (n.d.). Retrieved from Corporate Finance Institute: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/refinancing/>
- Wilkinson, S., John, M., & Morrison, G. M. (2021). Rooftop PV and the Renewable Energy Transition; a Review of Driving Forces and Analytical Frameworks. *MDPI - Sustainability*.
- Winslow, M. (2019). LCOE and Monte Carlo Simulation in Excel 2016. Retrieved from YouTube: <https://youtu.be/U2Pm-Uipf6Q?si=mvvFSdb0qY3meA3i>
- Worren, J. E. (2012, 2 8). Assessing the Risks in Solar Project Development. Retrieved from Renewable Energy World: <https://www.renewableenergyworld.com/om/asset-management/assessing-the-risks-in-solar-project-development/#gref>
- Zhang, D., Cai, X., Song, C., Liu, J., Ding, J., Zhong, C., & Hu, W. (2021). Life-Cycle Economic Evaluation of Batteries for Electrochemical Energy Storage Systems. *Journal of Electrical Engineering & Technology - Springer*, 2497–2507.
- Zheng, Y., Shen, H., & Li, J. (2021). A techno-economic sizing method for PV/battery/grid hybrid solar systems for residential buildings. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 5245-5254.