

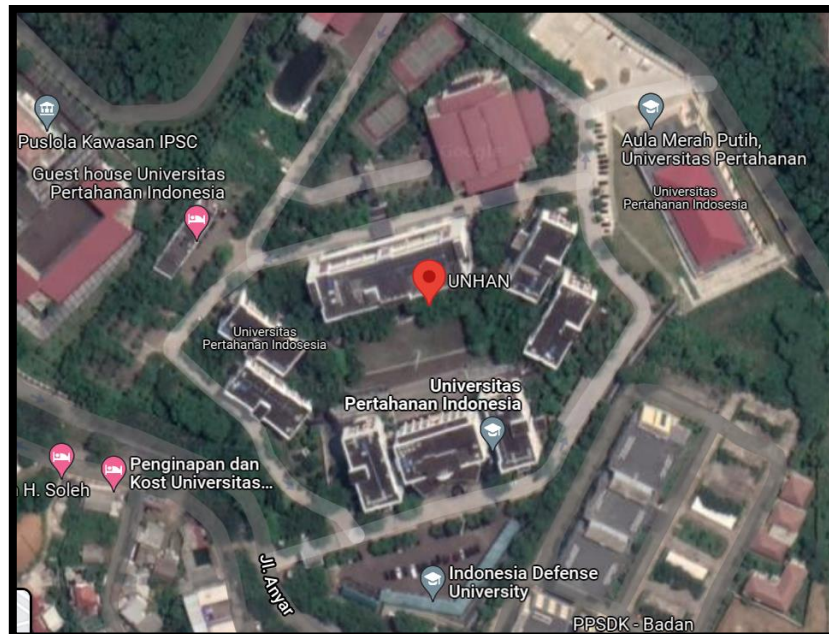
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Data

##### 4.1.1 Universitas Pertahanan RI

Universitas Pertahanan (UNHAN) merupakan lembaga pendidikan yang mengedepankan ilmu pertahanan dan bela negara. Universitas Pertahanan diresmikan pada tanggal 11 maret 2009 oleh presiden ke-6 Republik Indonesia, Susilo Bambang Yudhoyono melalui Surat Mendiknas Nomor 29/MPN/OT/2009 tanggal 6 Maret 2009. Kampus ini menyelenggarakan pendidikan pada ilmu pertahanan, mulai dari jenjang Sarjana, Magister, hingga Doktor kepada perwira TNI dan juga masyarakat umum.



**Gambar 4.1 Lokasi UNHAN**

Sumber: Google Maps, 2021

Universitas Pertahanan (UNHAN) adalah sebuah Perguruan Tinggi Negeri yang menyelenggarakan pendidikan pascasarjana dibidang pertahanan dan bela negara dengan tujuan untuk melaksanakan pembangunan dan pengembangan yang berorientasi pada Tri Dharma perguruan tinggi, untuk mencapai standar pendidikan nasional dan universitas berstandar kelas dunia (world class). Lokasi UNHAN berada di kawasan IPSC Sentul dengan jarak 15 kilometer dari kota Bogor dengan posisi geografis  $6.53^{\circ}\text{LS}$  dan  $106.88^{\circ}\text{BT}$ .

#### 4.1.2 Pembangunan Gedung S1 UNHAN

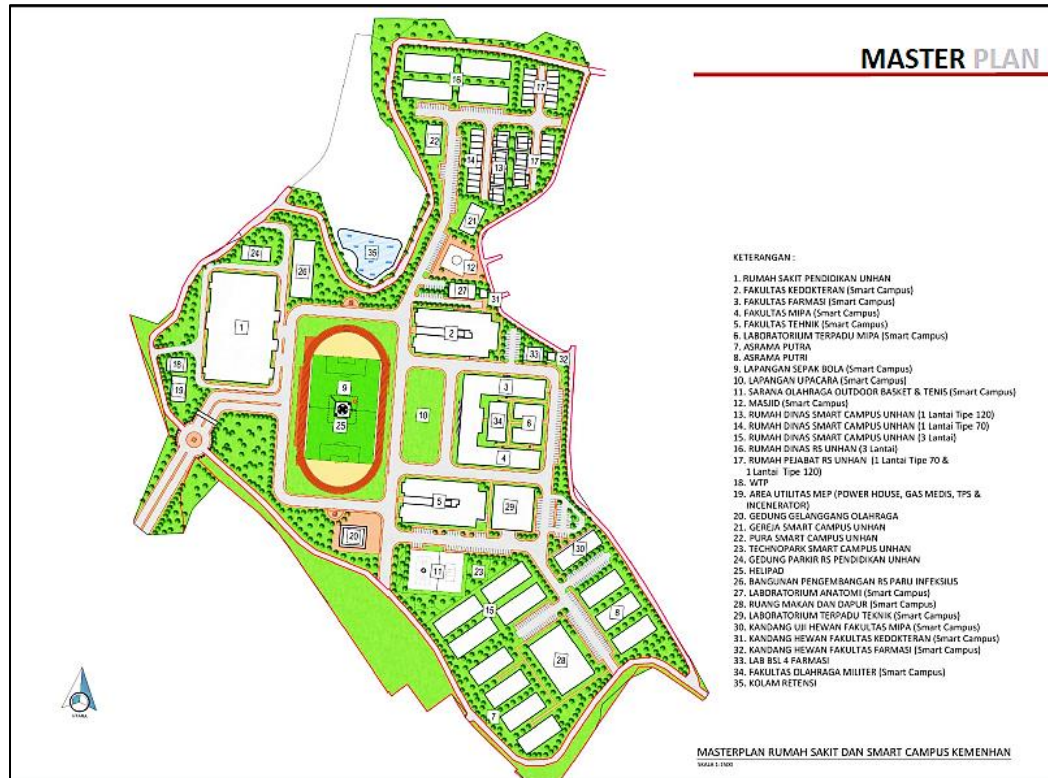
Universitas Pertahanan (UNHAN) pada tahun 2020 membuka program pendidikan jenjang Sarjana yang terdiri dari 4 Fakultas dan 11 Program Studi. Total mahasiswa yang diterima setiap tahunnya sebanyak 300 orang. Lokasi gedung S1 UNHAN berada di kawasan IPSC Sentul. Semakin banyak jumlah mahasiswa, maka semakin banyak juga jumlah energi listrik yang digunakan.



**Gambar 4.2 Lokasi Pembangunan Gedung S1 UNHAN Sentul**

Sumber: Google Maps

Perencanaan pembangunan gedung untuk mahasiswa baru S1 akan terlaksana. Terdapat 5 gedung yang akan direncanakan untuk menjadi *Smart Building*, yaitu Rumah Sakit Pendidikan, Fakultas Kedokteran, Fakultas Farmasi, Fakultas MIPA, dan Fakultas Teknik.



**Gambar 4.3 Master Plan Pembangunan Gedung S1 UNHAN Sentul**

Sumber: Data PT Adhi Karya yang diolah Kembali oleh Peneliti

Rencana pembangunan gedung S1 UNHAN akan membangun 36 prasarana. Diantaranya adalah Rumah Sakit Pendidikan UNHAN, Fakultas Kedokteran, Fakultas Farmasi, Fakultas MIPA, Fakultas Teknik, dan masih banyak lagi. Terdapat 5 bangunan yang ditarget untuk dijadikan *Smart Energy Building*.

## 4.2 Hasil Pengumpulan Data

### 4.2.1 Penggunaan Listrik di UNHAN

Lokasi UNHAN berada di kawasan IPSC Sentul dengan jarak 15 Kilometer dari kota Bogor dengan posisi Geografis  $6.53^{\circ}\text{LS}$  dan  $106.88^{\circ}\text{BT}$ . Untuk memenuhi kebutuhan energi listriknya UNHAN menggunakan sumber listrik dari PLN dengan kapasitas daya sebesar 1,94 MW. Saat ini sumber energi listrik UNHAN sebagian masih berasal dari jaringan PLN sedangkan PLTS yang terpasang masih belum optimal. PLTS yang dimiliki UNHAN berupa PLTS *rooftop* dengan kapasitas terpasang 30 KW atau setara dengan 30 KVA. UNHAN juga memiliki 2 buah sumber energi cadangan berupa *Generator Set* dengan kapasitas 1 MVA digunakan sebagai sumber di wilayah UNHAN dan 100 KVA digunakan sebagai sumber di gedung Auditorium UNHAN. Adapun rincian biaya listrik yang dikeluarkan oleh UNHAN tertera pada tabel 4.1 (tahun 2017) dan tabel 4.2 (tahun 2021).

**Tabel 4.1 Biaya Tagihan Listrik PLN di UNHAN Tahun 2017**

Tagihan Listrik PLN di Universitas Pertahanan RI		
Bulan (2017)	Pemakaian kWh	Tagihan
Juni	181017	198.592.371
Juli	147012	162.026.436
Agustus	172526	189.607.186
September	189259	208.085.916
Oktober	183600	201.702.196
November	193826	212.259.659
Rata-rata	177873	195.378.961

Sumber: Data PLN UPJ Citereup yang diolah kembali oleh Peneliti

**Tabel 4.2 Biaya Tagihan Listrik PLN di UNHAN Tahun 2021**

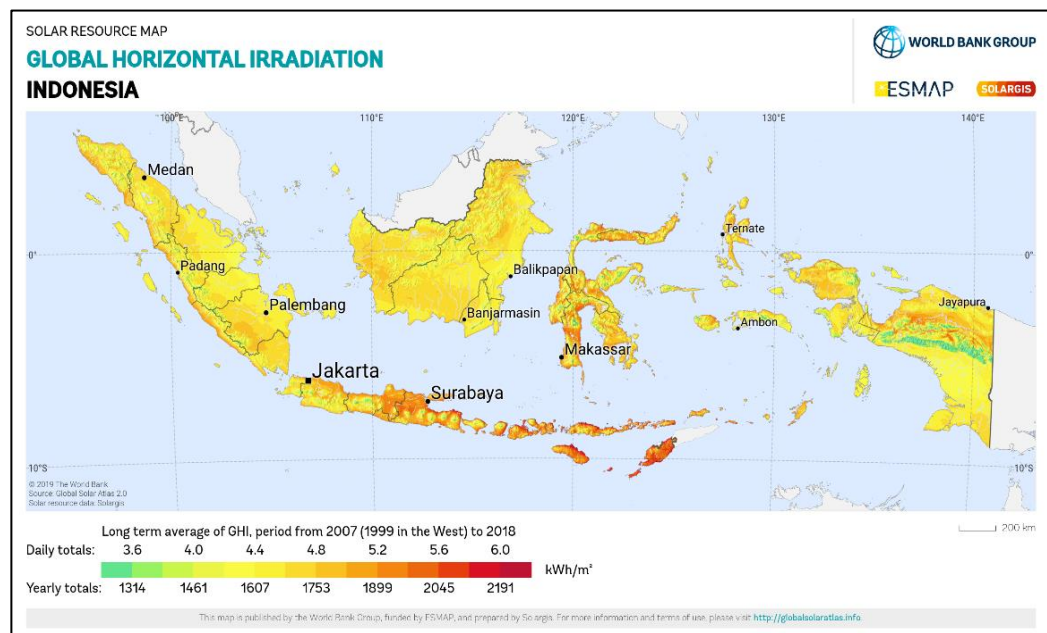
Tagihan Listrik PLN di Universitas Pertahanan RI			
Bulan (2021)	Tanggal Bayar	Pemakaian kWh	Tagihan
Juni	25/08/2021	188448	206.585.963
Juli	16/09/2021	208272	228.287.626
Agustus	01/11/2021	168648	185.605.203
September	06/12/2021	194712	214.058.438
Oktober	-	206832	226.139.776
November	-	193824	212.504.768
Desember	-	212904	233.125.076
Rata-rata		196234	215.186.693

Sumber: Data PLN UPJ Citereup yang diolah kembali oleh Peneliti

Berdasarkan tabel 4.1 rata-rata total daya yang digunakan oleh UNHAN setiap bulannya sebesar 177.873 KWh/bulan dengan mengeluarkan biaya rata – rata sebesar Rp. 195.378.961/bulan. Sedangkan berdasarkan tabel 4.2 rata – rata total daya yang digunakan oleh UNHAN setiap bulan nya sebesar 196.234 kWh/bulan dengan mengeluarkan biaya rata-rata sebesar Rp. 215.186.693/bulan. Hal ini menandakan bahwa setiap tahun UNHAN mengalami kenaikan biaya dan daya listrik. Hal ini dikarenakan adanya penambahan sumber daya manusia setiap tahunnya. Oleh karena itu UNHAN butuh sumber energi terbarukan agar biaya lisitrik yang dikeluarkan oleh UNHNAN bisa menurun dari tahun sebelumnya.

#### 4.2.2 Potensi Energi Surya di Universitas Pertahanan RI

Indonesia memiliki potensi besar di sektor pembangkit listrik tenaga surya. Dengan wilayah yang luas dan intensitas cahaya matahari yang tinggi, pasokan listrik dari tenaga surya bisa menjadi andalan. Kementerian ESDM juga mencatat potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Untuk meningkatkan percepatan pengembangan energi surya ini, maka pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 mencapai 0,87 GW atau sekitar 50 MWp per tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya pada masa datang.



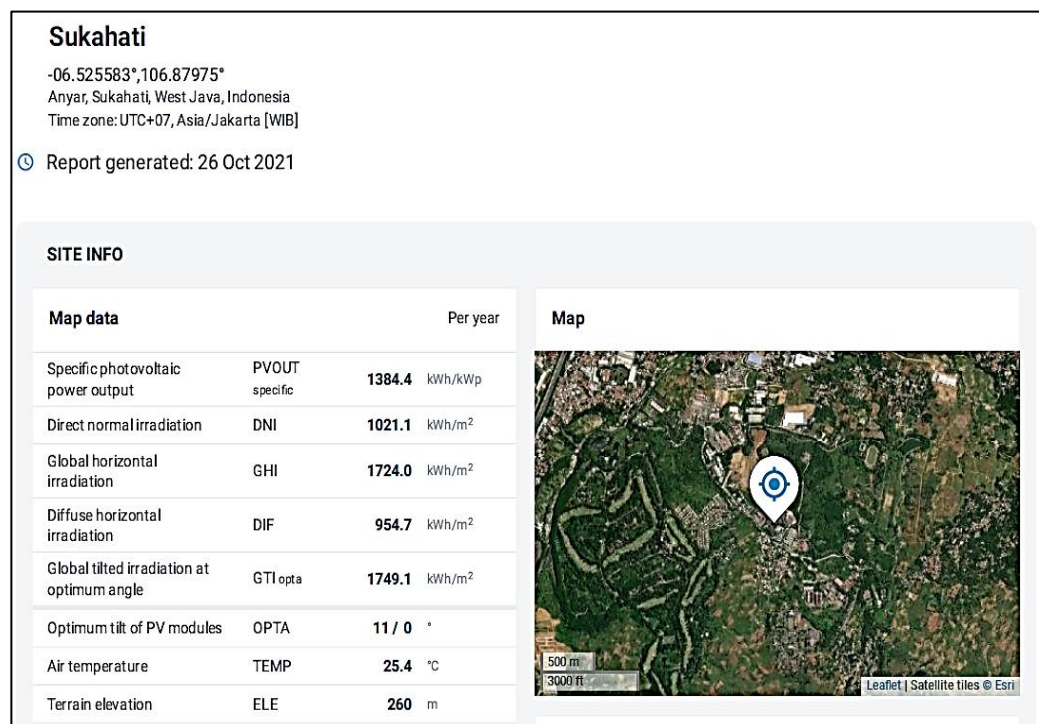
**Gambar 4.4 Potensi Tenaga Surya di Indonesia**

Sumber: *Global Solar Atlas*

Berdasarkan gambar di atas menunjukkan potensi tenaga surya di Indonesia. Potensi tenaga surya di Indonesia secara umum berada pada

tingkat yang cukup untuk dapat dijadikan sebagai salah satu patokan untuk menyusun perencanaan pembangunan sumber energi PLTS pada masa mendatang.

UNHAN juga memiliki potensi tenaga surya yang cukup baik. Berdasarkan data dari *Global Solar Atlas*, UNHAN memiliki *Global Horizontal Irradiation* sebesar 1724,1 kWh/m<sup>2</sup> per tahun.



**Gambar 4.5 Potensi Tenaga Surya di UNHAN**

Sumber: *Global Solar Atlas*

Berdasarkan gambar 4.5, UNHAN memiliki potensi energi surya yang cukup baik. Namun pemanfaatan energi surya di UNHAN saat ini masih dapat dikatakan kurang. UNHAN baru membangun PLTS *rooftop* di gedung Auditorium UNHAN dengan luas atap 1.750 m<sup>2</sup>. Menurut penelitian yang dilakukan Setiawan (2017), PLTS yang terpasang di UNHAN dengan

karakteristik panel surya 250 Wp/keping dengan jumlah panel surya yang terpasang sebanyak 120 keping mampu menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 30.000 W atau dengan kapasitas 30 kWp akan menghasilkan daya listrik setara dengan 120 - 150 kWh jika puncak radiasi matahari selama 4 - 5 jam. Jika diasumsikan kapasitas daya listrik yang dihasilkan 120 - 150 kWh per hari, maka daya listrik yang bisa dihasilkan dari PLTS dalam satu bulan sebesar 3.600 – 4.500 kWh. Jika UNHAN memanfaatkan seluruh luas atap gedungnya menggunakan PLTS rooftop, maka UNHAN dapat menghemat biaya listrik dan dapat menjadi kampus yang berbasis *Smart Energy Building*.

#### 4.2.3 Luas Bangunan dan Atap Gedung S1 UNHAN

Untuk mengetahui jumlah panel surya yang akan dipasang, maka perlu diketahui terlebih dahulu luas area yang akan digunakan serta mengetahui luas atap bangunan yang akan dipasang panel surya.

**Tabel 4.3 Luas Bangunan *Smart Campus* UNHAN**

Luas Bangunan <i>Smart Campus</i> UNHAN		
No	Bangunan	Luasan (m <sup>2</sup> )
1	Rumah Sakit Pendidikan	26.814,01
2	Fakultas Kedokteran	9.694,91
3	Fakultas Farmasi	5.994,42
4	Fakultas MIPA	6.757,50
5	Fakultas Teknik	15.373,37
Total		64.634,21

Sumber: Data PT Adhi Karya yang diolah Kembali oleh Peneliti

Berdasarkan tabel diatas total dari 5 bangunan *Smart Campus* UNHAN sekitar 64.634,21 m<sup>2</sup>. Luas bangunan tersebut akan dijadikan *Smart Campus* dengan bangunan yang lebih ramah lingkungan serta penghematan energi dapat lebih optimal dengan menggunakan komponen (sensor) yang di-instal, selain dapat diatur secara otomatis juga dapat terjalin komunikasi antar komponen. Untuk mendukung *Smart Campus* menjadi *Smart Energy Building* diperlukan energi listrik yang memanfaatkan keadaan alam sekitar, misalnya Angin, Matahari (Surya), Air, dan lain – lain.

UNHAN memiliki penyinaran matahari yang baik, berdasarkan data dari Global Solar Atlas wilayah UNHAN memiliki rata – rata nilai intensitas radiasi matahari sebesar 1031,4 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Hal ini mengartikan bahwa UNHAN bisa membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atap gedung yang sedang dibangun. Untuk itu diperlukan data berupa luas atap gedung S1 UNHAN yang diperlihatkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.4 Luas Atap *Smart Campus* UNHAN**

Luas Atap <i>Smart Campus</i> UNHAN		
No	Gedung	Luasan (m <sup>2</sup> )
1	Rumah Sakit Pendidikan	4.509
2	Fakultas Kedokteran	3.328
3	Fakultas Farmasi	1.796
4	Fakultas MIPA	2.754
5	Fakultas Teknik	3.328
Total		15.714

Sumber: Data PT Adhi Karya yang diolah Kembali oleh Peneliti

Berdasarkan tabel 4.4 terlihat bahwa total luas atap dari 5 bangunan *Smart Campus* UNHAN sebesar 15.714 m<sup>2</sup>. Luas atap dari kelima gedung tersebut bisa dimanfaatkan untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga

Surya atap (PLTS *rooftop*). Nantinya pada setiap atap dari bangunan tersebut dapat diletakan beberapa solar panel yang bisa menghasilkan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai aktifitas kegiatan kampus. Pemanfaatan energi surya ini bisa menjadikan UNHAN menjadi kampus yang *Smart Energy* dan bisa melengkapi konsep dari *Smart Campus* yang nantinya akan menjadi *Smart Energy Building*.

### 4.3 Hasil Pengolahan Data

#### 4.3.1 Perencanaan Pemasangan PLTS di Gedung S1 UNHAN

UNHAN sudah menerapkan pemanfaatan Energi Surya di gedung Auditorium dengan menggunakan PLTS *rooftop*. PLTS tersebut menghasilkan tegangan sebesar 250 Wp per keping, sehingga mampu menghasilkan daya maksimal 250 W tiap keping. Adapun spesifikasi panel surya yang digunakan oleh UNHAN tertera pada tabel berikut:

**Tabel 4.5 Spesifikasi Panel Surya**

Deskripsi	Spesifikasi	
250 W Polycrystalline	<i>Size of module</i>	1640 x 992 x 35 mm
	<i>Weight per piece</i>	19 kg
	<i>Maximum Power (Pm)</i>	250 W
	<i>Maximum Power Voltage (Vm)</i>	30.6 V
	<i>Maximum Power Current (Im)</i>	8.17 A
	<i>Maximum system voltage</i>	1000 V DC
	<i>Power Tolerance</i>	3 - 5%
Baterai	Gel maintains-free battery 12V/250AH	
Inverter	On-Off Grid Smart Inverter 30KW	

Sumber: (Setiawan, 2017)

Jika luas permukaan panel surya pada tabel di atas sebesar 1.626.880 mm<sup>2</sup> atau 1,62688 m<sup>2</sup>. Maka dapat dihitung jumlah panel surya dan daya listrik yang dihasilkan dari setiap gedung S1 UNHAN adalah sebagai berikut:

a. Rumah Sakit Pendidikan

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Luas Atap Gedung}}{\text{Luas Permukaan Panel Surya}} \\ &= \frac{4.509}{1,62688} \\ &\approx 2.771 \text{ keping} \end{aligned}$$

Jika penyinaran matahari dalam kondisi maksimum, maka dapat dihitung daya maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Maksimum} &= V_m \times I_m \times \text{Banyaknya Panel Surya} \\ &= 30,6 \text{ V} \times 8,17 \text{ A} \times 2.771 \\ &= 692.755 \text{ Wp} \\ &\approx 692 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut masih dalam kondisi keadaan ideal 100%, namun dalam implementasinya PLTS dapat menyerap sekitar 70-80%. Maka dapat dihitung nilai kWh dengan meng-asumsikan nilai ideal PLTS sebesar 80% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan kWh} &= \text{Jml kWp} \times \text{Nilai Ideal PLTS} \times 8 \text{ jam} \\ &= 692 \text{ kWp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\ &= 692.000 \text{ Wp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\ &= 553.600 \text{ Wh} \times 8 \text{ jam} \\ &= 4.428,8 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan, maka digunakan baterai dengan spesifikasi baterai 12V / 250AH dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baterai} &= \frac{\text{Daya Listrik (Wh)}}{12\text{V} \times 250\text{AH}} \\
 &= \frac{553600}{3000} \\
 &\approx 185 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan, maka digunakan inverter dengan spesifikasi 30 kW dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Inverter} &= \frac{\text{Daya Maksimum (kWp)}}{\text{Daya Maksimum Inverter (kW)}} \\
 &= \frac{692}{30} \\
 &\approx 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

#### b. Fakultas Kedokteran

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Luas Atap Gedung}}{\text{Luas Permukaan Panel Surya}} \\
 &= \frac{3.328}{1,62688} \\
 &\approx 2.045 \text{ keping}
 \end{aligned}$$

Jika penyinaran matahari dalam kondisi maksimum, maka dapat dihitung daya maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Maksimum} &= V_m \times I_m \times \text{Banyaknya Panel Surya} \\
 &= 30,6 \text{ V} \times 8,17 \text{ A} \times 2.045 \\
 &= 511.254 \text{ Wp} \\
 &\approx 511 \text{ kWp}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut masih dalam kondisi keadaan ideal 100%, namun dalam implementasinya PLTS dapat menyerap sekitar 70-80%. Maka dapat dihitung nilai kWh dengan meng-asumsikan nilai ideal PLTS sebesar 80% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan kWh} &= \text{Jml kWp} \times \text{Nilai Ideal PLTS} \times 8 \text{ jam} \\
 &= 511 \text{ kWp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\
 &= 511.000 \text{ Wp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\
 &= 408.800 \text{ Wh} \times 8 \text{ jam} \\
 &= 3.270,4 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan, maka digunakan baterai dengan spesifikasi baterai 12V / 250AH dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baterai} &= \frac{\text{Daya Listrik (Wh)}}{12\text{V} \times 250\text{AH}} \\
 &= \frac{408800}{3000} \\
 &\approx 137 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan, maka digunakan inverter dengan spesifikasi 30 kW dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Inverter} &= \frac{\text{Daya Maksimum (kWp)}}{\text{Daya Maksimum Inverter (kW)}} \\
 &= \frac{511}{30} \\
 &\approx 17 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

### c. Fakultas Farmasi

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Luas Atap Gedung}}{\text{Luas Permukaan Panel Surya}} \\
 &= \frac{1.796}{1,62688} \\
 &\approx 1.103 \text{ keping}
 \end{aligned}$$

Jika penyinaran matahari dalam kondisi maksimum, maka dapat dihitung daya maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Maksimum} &= V_m \times I_m \times \text{Banyaknya Panel Surya} \\
 &= 30,6 \text{ V} \times 8,17 \text{ A} \times 1.103 \\
 &= 275.752 \text{ Wp} \\
 &\approx 275 \text{ kWp}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut masih dalam kondisi keadaan ideal 100%, namun dalam implementasinya PLTS dapat menyerap sekitar 70-80%. Maka dapat dihitung nilai kWh dengan meng-asumsikan nilai ideal PLTS sebesar 80% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan kWh} &= \text{Jml kWp} \times \text{Nilai Ideal PLTS} \times 8 \text{ jam} \\
 &= 275 \text{ kWp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\
 &= 275.000 \text{ Wp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\
 &= 220.000 \text{ Wh} \times 8 \text{ jam} \\
 &= 1.760 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan, maka digunakan baterai dengan spesifikasi baterai 12V / 250AH dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Baterai} &= \frac{\text{Daya Listrik (Wh)}}{12\text{V} \times 250\text{AH}} \\
 &= \frac{220000}{3000} \\
 &\approx 74 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan, maka digunakan inverter dengan spesifikasi 30 kW dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Inverter} &= \frac{\text{Daya Maksimum (kWp)}}{\text{Daya Maksimum Inverter (kW)}} \\
 &= \frac{275}{30} \\
 &\approx 9 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

d. Fakultas MIPA,

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Luas Atap Gedung}}{\text{Luas Permukaan Panel Surya}} \\ &= \frac{2.754}{1,62688} \\ &\approx 1.692 \text{ keping} \end{aligned}$$

Jika penyinaran matahari dalam kondisi maksimum, maka dapat dihitung daya maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Maksimum} &= V_m \times I_m \times \text{Banyaknya Panel Surya} \\ &= 30,6 \text{ V} \times 8,17 \text{ A} \times 1.692 \\ &= 421.450 \text{ Wp} \\ &\approx 421 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut masih dalam kondisi keadaan ideal 100%, namun dalam implementasinya PLTS dapat menyerap sekitar 70-80%. Maka dapat dihitung nilai kWh dengan meng-asumsikan nilai ideal PLTS sebesar 80% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan kWh} &= \text{Jml kWp} \times \text{Nilai Ideal PLTS} \times 8 \text{ jam} \\ &= 421 \text{ kWp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\ &= 421.000 \text{ Wp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\ &= 336.800 \text{ Wh} \times 8 \text{ jam} \\ &= 2.694,4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan, maka digunakan baterai dengan spesifikasi baterai 12V / 250AH dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baterai} &= \frac{\text{Daya Listrik (Wh)}}{12\text{V} \times 250\text{AH}} \\ &= \frac{336800}{3000} \\ &\approx 113 \text{ buah} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan, maka digunakan inverter dengan spesifikasi 30 kW dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Inverter} &= \frac{\text{Daya Maksimum (kWp)}}{\text{Daya Maksimum Inverter (kW)}} \\ &= \frac{421}{30} \\ &\approx 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

e. Fakultas Teknik

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Panel Surya} &= \frac{\text{Luas Atap Gedung}}{\text{Luas Permukaan Panel Surya}} \\ &= \frac{3.328}{1,62688} \\ &\approx 2.034 \text{ keping} \end{aligned}$$

Jika penyinaran matahari dalam kondisi maksimum, maka dapat dihitung daya maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Daya Maksimum} &= V_m \times I_m \times \text{Banyaknya Panel Surya} \\ &= 30,6 \text{ V} \times 8,17 \text{ A} \times 2.034 \\ &= 508.504 \text{ Wp} \\ &\approx 508 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut masih dalam kondisi keadaan ideal 100%, namun dalam implementasinya PLTS dapat menyerap sekitar 70-80%. Maka dapat dihitung nilai kWh dengan meng-asumsikan nilai ideal PLTS sebesar 80% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan kWh} &= \text{Jml kWp} \times \text{nilai ideal PLTS} \times 8 \text{ jam} \\ &= 508 \text{ kWp} \times 80\% \times 8 \text{ jam} \\ &= 406.400 \text{ Wh} \times 8 \text{ jam} \\ &= 3.251,2 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan, maka digunakan baterai dengan spesifikasi baterai 12V / 250AH dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Baterai} &= \frac{\text{Daya Listrik (Wh)}}{12\text{V} \times 250\text{AH}} \\ &= \frac{406400}{3000} \\ &\approx 136 \text{ buah} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah inverter yang dibutuhkan, maka digunakan inverter dengan spesifikasi 30 kW dan digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Inverter} &= \frac{\text{Daya Maksimum (kWp)}}{\text{Daya Maksimum Inverter (kW)}} \\ &= \frac{508}{30} \\ &\approx 17 \text{ buah} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dapat dinyatakan bahwa luas atap gedung S1 UNHAN dapat dibangun solar panel untuk dijadikan pembangkit listrik tenaga surya. Namun pembangunan pembangkit ini tidak hanya dari surya saja, tetapi bisa dari biomassa, hidro, dan lain – lain. Namun penelitian ini hanya berfokus pada energi surya saja.

Berdasarkan jumlah panel surya dan daya yang diperoleh dari perhitungan kelima gedung tersebut dapat dinyatakan pada tabel 4.6 dan jumlah baterai serta jumlah inverter yang dibutuhkan dapat dinyatakan pada tabel 4.7 sebagai berikut:

**Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Perencanaan Jumlah Panel dan Daya Listrik di Gedung S1 UNHAN**

Gedung	Jumlah Panel Surya	Daya Maksimum (kWp)	Daya Listrik (kWh)
Rumah Sakit Pendidikan	2.771	692	4.428,8
Fakultas Kedokteran	2.045	511	3.270,4
Fakultas Farmasi	1.103	275	1.760
Fakultas MIPA	1.692	421	2.694,4
Fakultas Teknik	2.034	508	3.251,2
<b>Total</b>	<b>9.645</b>	<b>2407</b>	<b>15.404,8</b>

Sumber: diolah Peneliti

**Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Perencanaan Jumlah Baterai dan Inverter di Gedung S1 UNHAN**

Gedung	Jumlah Baterai	Jumlah Inverter
Rumah Sakit Pendidikan	185	23
Fakultas Kedokteran	137	17
Fakultas Farmasi	74	9
Fakultas MIPA	113	14
Fakultas Teknik	136	17
<b>Total</b>	<b>645</b>	<b>80</b>

Sumber: diolah Peneliti

#### 4.4 Hasil Pengujian Hipotesis

Setelah didapat dari total semua jumlah komponen PLTS yang terdiri dari panel surya, baterai dan inverter, maka dapat dihitung total biaya pengeluaran untuk membangun PLTS. Penelitian ini menggunakan asumsi harga panel surya, baterai dan inverter pada pengadaan energi terbarukan dengan solar sel di UNHAN tahun 2015, dengan harga sebagai berikut:

- a. Solar modul 250Wp/keeping = Rp. 3.949.091  
 b. Baterai 12V / 250AH = Rp. 6.141.818  
 c. Inverter 30KW On-Off Grid = Rp. 465.027.273

**Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Biaya Perencanaan PLTS di Gedung  
S1 UNHAN**

	<b>Komponen</b>	<b>Qty</b>	<b>Harga (pcs)</b>	<b>Jumlah</b>
Rumah Sakit Pendidikan	Panel Surya	2.771	3.949.091	10.942.931.161
	Baterai	185	6.141.818	1.136.236.330
	Inverter	23	465.027.273	10.695.627.279
	Total			22.774.794.770
Fakultas Kedokteran	<b>Komponen</b>	<b>Qty</b>	<b>Harga (pcs)</b>	<b>Jumlah</b>
	Panel Surya	2.045	3.949.091	8.075.891.095
	Baterai	137	6.141.818	841.429.066
	Inverter	17	465.027.273	7.905.463.641
Total			16.822.783.802	
Fakultas Farmasi	<b>Komponen</b>	<b>Qty</b>	<b>Harga (pcs)</b>	<b>Jumlah</b>
	Panel Surya	1.103	3.949.091	4.355.847.373
	Baterai	74	6.141.818	454.494.532
	Inverter	9	465.027.273	4.185.245.457
Total			8.995.587.362	
Fakultas MIPA	<b>Komponen</b>	<b>Qty</b>	<b>Harga (pcs)</b>	<b>Jumlah</b>
	Panel Surya	1.692	3.949.091	6.681.861.972
	Baterai	113	6.141.818	694.025.434
	Inverter	14	465.027.273	6.510.381.822
Total			13.886.269.228	
Fakultas Teknik	<b>Komponen</b>	<b>Qty</b>	<b>Harga (pcs)</b>	<b>Jumlah</b>
	Panel Surya	2.034	3.949.091	8.032.451.094
	Baterai	136	6.141.818	835.287.248
	Inverter	17	465.027.273	7.905.463.641
Total			16.773.201.983	
Total Keseluruhan			79.252.637.145	

Sumber: diolah Peneliti

Berdasarkan tabel 4.8 didapat total biaya pembangunan PLTS untuk Rumah Sakit Pendidikan sebesar Rp. 22.774.794.770, Fakultas Kedokteran sebesar Rp. 16.822.783.802, Fakultas Farmasi sebesar Rp. 8.995.587.362, Fakultas MIPA sebesar Rp. 13.886.269.228, dan untuk Fakultas Teknik

sebesar Rp. 16.773.201.983. Untuk total investasi awal pada pembangunan PLTS di Gedung S1 UNHAN sebesar Rp. 79.252.637.145,-.

Pada pembangunan PLTS tentunya perlu diperhatikan biaya pemeliharaan dan operasional per tahun. Pada umumnya biaya tersebut diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal (Jais, 2012). Penelitian ini mengasumsikan biaya yang ditetapkan sebesar 1%, karena negara Indonesia mengalami musim penghujan dan musim kemarau sehingga untuk biaya pemeliharaan dan operasional tidak terlalu besar. Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun dihitung sebagai berikut:

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi Awal}$$

$$M = 1\% \times \text{Rp. } 79.252.637.145$$

$$M = \text{Rp. } 792.526.371 \text{ per tahun}$$

Jika diasumsikan usia dari panel surya dapat mencapai 25 tahun, maka total biaya pemeliharaan dan operasional sebesar Rp. 19.813.159.275. Dari hasil biaya pemeliharaan dan operasional, maka dapat dihitung total biaya investasi keseluruhannya sebesar:

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp. } 79.252.637.145 + \text{Rp. } 19.813.159.275$$

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp. } 99.065.796.420$$

Jika harga listrik dari PLTS dijual ke PLN sebesar 65% dari harga listrik tahun 2021 sebesar Rp. 1440 per kWh. Maka dapat dihitung pendapatan yang dihasilkan pertahun dari PLTS (aliran kas bersih) sebagai berikut:

$$65\% \times \text{Rp. } \frac{1.440}{\text{kWh}} \times 15.404,8 \text{ kWh} \times 365 = \text{Rp. } 5.262.895.872 / \text{tahun}$$

Untuk menentukan pengembalian investasi (*Pay Back Period*), maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Pay Back Period} &= \text{Jumlah Investasi} / \text{Aliran Kas Bersih} \\
 &= \text{Rp. } 99.065.796.420 / \text{Rp. } 5.262.895.872 \\
 &= 18,82 \text{ Tahun} \\
 &\approx 18 \text{ Tahun } 9 \text{ Bulan}
 \end{aligned}$$

Dari hasil *pay back period* didapat nilai 18 tahun 9 bulan, hal ini menandakan bahwa investasi PLTS pada gedung S1 UNHAN bisa dikatakan layak, karena PLTS tersebut dapat diperkirakan sampai 25 tahun.

Untuk lebih mendukung menilai kelayakan pada investasi PLTS gedung S1 UNHAN, dilakukan perhitungan *Net Present Value* (NPV) dengan tingkat suku buka ( $i$ ) = 0%, karena investasi dilakukan tanpa melakukan pinjaman dari bank, sehingga tidak ada kenaikan bunga hutang. Maka dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.9 Nilai NPV dari Rancangan PLTS**

Tahun	Arus Kas Bersih (Rp)	FD	PVNCF (Rp)	Kumulatif PVNCF (Rp)
0	5.262.895.872	1	5.262.895.872	5.262.895.872
1	5.262.895.873	1	5.262.895.873	10.525.791.744
2	5.262.895.874	1	5.262.895.874	15.788.687.616
3	5.262.895.875	1	5.262.895.875	21.051.583.488
4	5.262.895.876	1	5.262.895.876	26.314.479.360
5	5.262.895.877	1	5.262.895.877	31.577.375.232
6	5.262.895.878	1	5.262.895.878	36.840.271.104
7	5.262.895.879	1	5.262.895.879	42.103.166.976
8	5.262.895.880	1	5.262.895.880	47.366.062.848
9	5.262.895.881	1	5.262.895.881	52.628.958.720
10	5.262.895.882	1	5.262.895.882	57.891.854.592
11	5.262.895.883	1	5.262.895.883	63.154.750.464
12	5.262.895.884	1	5.262.895.884	68.417.646.336
13	5.262.895.885	1	5.262.895.885	73.680.542.208
14	5.262.895.886	1	5.262.895.886	78.943.438.080

15	5.262.895.887	1	5.262.895.887	84.206.333.952
16	5.262.895.888	1	5.262.895.888	89.469.229.824
17	5.262.895.889	1	5.262.895.889	94.732.125.696
18	5.262.895.890	1	5.262.895.890	99.995.021.568
19	5.262.895.891	1	5.262.895.891	105.257.917.440
20	5.262.895.892	1	5.262.895.892	110.520.813.312
21	5.262.895.893	1	5.262.895.893	115.783.709.184
22	5.262.895.894	1	5.262.895.894	121.046.605.056
23	5.262.895.895	1	5.262.895.895	126.309.500.928
24	5.262.895.896	1	5.262.895.896	131.572.396.800
25	5.262.895.897	1	5.262.895.897	136.835.292.672

Sumber: diolah Peneliti

Dengan menggunakan persamaan NPV di bawah ini, maka didapat:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF}{(1+i)^t} - IA$$

$$NPV = \text{Rp. } 136.835.292.672 - \text{Rp. } 99.065.796.420$$

$$NPV = \text{Rp. } 37.769.496.252$$

Apabila nilai NPV bernilai positif ( $NPV > 0$ ), maka PLTS sudah layak untuk diterapkan.

#### 4.5 Pembahasan

UNHAN menggunakan sumber listrik dari PLN dengan kapasitas daya sebesar 1,94 MW. Saat ini sumber energi listrik UNHAN sebagian masih berasal dari jaringan PLN sedangkan PLTS yang terpasang masih belum optimal. PLTS yang dimiliki UNHAN berupa PLTS *rooftop* dengan kapasitas terpasang 30 KW atau setara dengan 30 KVA. UNHAN juga memiliki 2 buah sumber energi cadangan berupa Generator Set dengan kapasitas 1 MVA digunakan sebagai sumber di wilayah UNHAN dan 100 KVA digunakan sebagai sumber di gedung Auditorium UNHAN. Setiap bulan nya UNHAN

menggunakan daya listrik sebesar 196.234 kWh/bulan dengan mengeluarkan biaya rata-rata sebesar Rp. 215.186.693/bulan. Hal ini menandakan bahwa setiap tahun UNHAN mengalami kenaikan biaya dan daya listrik. UNHAN juga memiliki potensi tenaga surya yang cukup baik. Berdasarkan data dari Global Solar Atlas, UNHAN memiliki *Global Horizontal Irradiation* sebesar 1724,1 kWh/m<sup>2</sup> per tahun. Namun pemanfaatan energi surya di UNHAN saat ini masih dapat dikatakan kurang. UNHAN saat ini hanya membangun PLTS *rooftop* di gedung Auditorium UNHAN dengan luas atap 1.750 m<sup>2</sup>. PLTS yang terpasang di UNHAN dengan karakteristik panel surya 250 Wp/keping dengan jumlah panel surya yang terpasang sebanyak 120 keping mampu menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 30.000 W atau dengan kapasitas 30 kWp akan menghasilkan daya listrik setara dengan 120 - 150 kWh.

Pembangunan gedung S1 UNHAN pada 5 gedung yaitu: Rumah Sakit Pendidikan, Fakultas Kedokteran, Fakultas Farmasi, Fakultas MIPA dan Fakultas Teknik memiliki total luas bangunan sebesar 64.634,21 m<sup>2</sup> serta total luas atap sebesar 15.714 m<sup>2</sup>. Jika pada luas atap tersebut dapat dibangun PLTS, maka dapat dihasilkan panel surya sebanyak 9,645 panel dengan total daya listrik maksimum sebesar 15.408 kWh. Untuk membangun PLTS tersebut dibutuhkan biaya investasi sebesar Rp. 99.065.796.420 dengan *pay back period* selama 18 tahun 9 bulan dan didukung dengan nilai NPV sebesar Rp. 37.769.496.252 (NPV > 0), maka PLTS layak untuk diterapkan.

Dengan pemasangan PLTS sebesar 15.404,8 kWh akan memiliki beberapa kelebihan yaitu diantaranya dapat mengurangi emisi karbon sebesar 82.005 tCO<sub>2</sub> berdasarkan hasil perhitungan dari *software RETScreen Expert*. Hal ini dapat mendukung kesepakatan perjanjian *Paris Agreement* yang sepakat menurunkan emisi karbonnya dalam rangka mencegah perubahan

iklim. Pemasangan PLTS ini juga dapat mendukung pembangunan *Smart Energy Building* pada UNHAN agar terciptanya energi bersih dan *smart*.

Pada gedung S1 UNHAN diharapkan dapat berfokus pada gedung yang *critical energy*, yang artinya tidak boleh ada listrik yang padam selama 24 jam gedung tersebut adalah rumah sakit pendidikan, laboratorium, dan ruangan yang terdapat alat elektronik 24 jam *stand by on*. Pada nantinya bangunan *Smart Energy Building* ini dapat diharapkan bisa mengontrol ruangan mana saja yang membutuh energi listrik yang paling banyak dan sedikit. Artinya perlu ada sistem pengatur berupa *smart building* berbasis sensor atau teknologi pemrograman.

Oleh karena itu perlu adanya sumber energi listrik dari lingkungan sekitar seperti surya, angin, dan lain – lain agar dapat memenuhi kebutuhan energi pada bangunan tersebut dan juga pada bangunan tersebut harus sudah dilengkapi komponen-komponen elektronika yang menunjang terkait *smart building* dan diharapkan dapat terciptanya *Smart Energy Building* pada kampus Universitas Pertahanan RI Sentul dan meningkatkan ketahanan energi 4A+1S, yaitu *Available, Accesibility, Affordability, Acceptability, Dan Sustainability*.