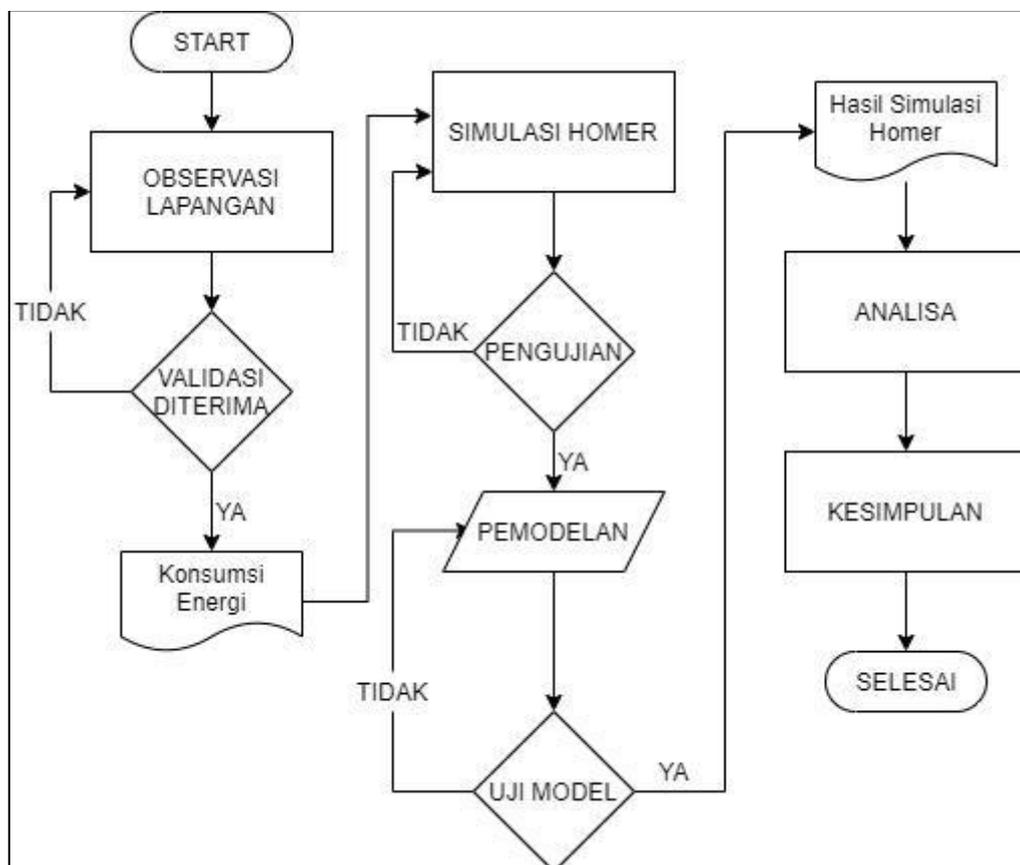


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Flowchart Penelitian

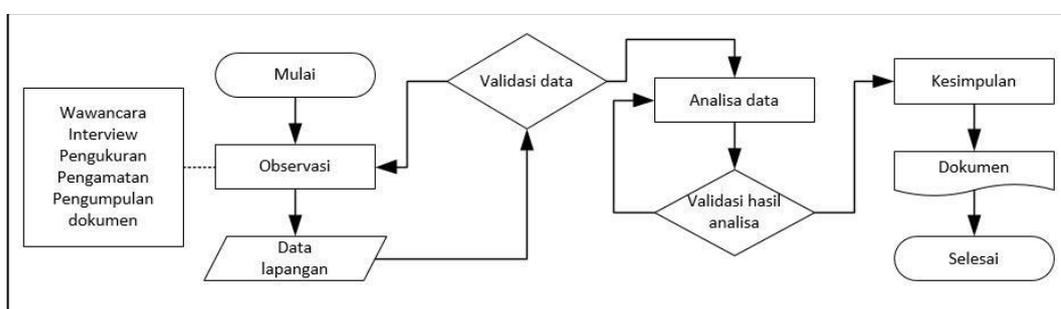
Pada penelitian ini, terdapat beberapa tahap yang digunakan peneliti dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

### 3.1.1. Observasi lapangan

Pada tahapan ini, metode observasi dilakukan secara langsung dengan cara mengumpulkan data lapangan yang bersumber dari PT. PLN (Persero) Area Majalengka untuk data total pelanggan dan total daya terpasang di Desa Salagedang. Adapun untuk flowchart observasi dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Flowchart observasi

### 3.1.2. Validasi data

Pada tahap ini dilakukan validasi beban energi yang dikeluarkan gardu induk Kadipaten untuk konsumsi energi selama satu hari dan didapat data beban puncaknya. Data beban energi yang didapat kemudian akan diolah menjadi data beban perjam selama satu hari. Selain itu, validasi juga dilakukan dalam data potensi energi yang terdapat di Desa Salagedang seperti data potensi radiasi matahari, dan data kecepatan angin.

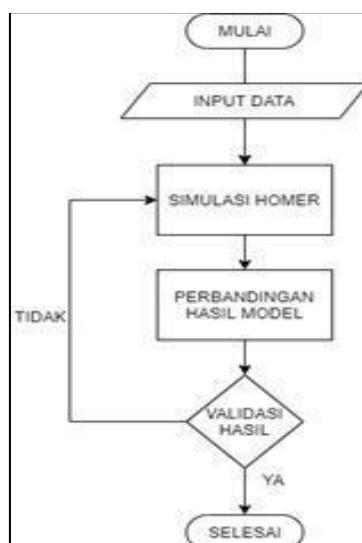
### 3.1.3. Konsumsi Energi

Tahapan ini adalah untuk mengetahui karakter penggunaan konsumsi energi listrik yang di Desa Salagedang. Hasil dari pengolahan data observasi yang telah divalidasi berupa data jumlah total konsumsi energi di Desa Salagedang yang sesuai

dengan ketentuan untuk menjalankan aplikasi HOMER energi yaitu konsumsi energi dalam 1x24 jam.

### 3.1.4. Simulasi HOMER

Tahapan selanjutnya yaitu simulasi HOMER dijelaskan pada Gambar 3.3. HOMER bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimasi, dan analisa sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara beruntun dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga didapat hasil yang optimal. HOMER dapat mensimulasikan konfigurasi perencanaan pembangkit listrik dengan beberapa kombinasi baik on grid maupun of grid dengan komponen antara lain *photovoltaic*, *wind turbine* dan *converter*. Digunakan untuk melayani beban AC maupun DC dan beban termal.



Gambar 3.3 Flowchart simulasi

- a. Input data. Data yang di input pada simulasi HOMER yaitu berupa data konsumsi energi di Desa Salagedang, potensi alam yang tersedia di Desa Salagedang seperti data kecepatan angin, dan data radiasi matahari yang

telah tersedia di Aplikasi HOMER energi dengan data yang bersumber dari NASA.

- b. Simulasi HOMER, dengan melakukan simulasi topologi sistem integrasi pembangkit listrik *hybrid* seperti pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin dengan komponen pendukung seperti *hybrid* inverter sistem.
- c. Perbandingan Hasil Model, melakukan perbandingan antara beberapa model sistem pembangkit listrik sistem on grid yang terhubung langsung dengan PLN dan sistem off grid untuk melihat mana yang paling efisien untuk digunakan dikawasan tersebut.
- d. Validasi Hasil, konfigurasi sistem yang dipilih adalah konfigurasi topologi sistem yang sesuai dengan harapan penelitian ini yaitu dalam hal pemenuhan pasokan listrik di Desa Salagedang, sistem pembangkit yang direncanakan mampu memenuhi kebutuhan listrik di Desa Salagedang untuk sekarang dan 25 tahun ke depan sesuai dengan umur komponen yang digunakan. Selain itu, dalam hal investasi guna untuk meningkatkan perekonomian Desa salagedang. Jika dalam perencanaan ini nilainya positif, maka itu merupakan investasi yang baik.

### **3.1.5. Pengujian Data Simulasi**

Selanjutnya tahapan pengujian data. Pengujian yang dimaksud yaitu validasi data yang akan digunakan penelitian dengan memasukan data penelitian ke aplikasi HOMER energi. Data yang dimasukan seperti data kecepatan angin, data radiasi

matahari dan data komponen pendukung lainnya. Selanjutnya dilihat kembali apakah data tersebut sudah benar atau ada kesalahan.

### **3.1.6. Pemodelan**

Pada tahap ini, dilakukan setelah data yang diperlukan dalam penelitian telah benar dan lengkap semua seperti potensi energi di Desa Salagedang, lokasi pemodelan, kondisi suhu dan konsumsi energi di Desa Salagedang dalam satu hari. Dalam membuat pemodelan ini diperlukan beberapa komponen dengan merk dan spesifikasi yang disediakan oleh aplikasi HOMER energi seperti panel surya, turbin angin, jenis converter dan beragam instrument lainnya sehingga dapat langsung dipilih sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Operasional menentukan tipe dan merk dari instrumen pembangkit seperti menentukan tipe panel surya dan untuk PLTB menentukan tinggi posisi turbin angin dan jenis turbin yang akan digunakan pada perencanaan sistem pembangkit listrik *hybrid*.

### **3.1.7. Uji Simulasi Model**

Tahapan uji yaitu sebagai berikut:

1. Menguji topologi dari tiap model. Pengujian ini dengan melakukan perubahan susunan dan penempatan keluaran listrik DC dan AC.
2. Menguji dengan metode superposisi. Pengujian ini dilakukan dengan menguji dari tiap pembangkit seperti penggunaan listrik dari PLN saja, PLN yang tersambung dengan PLTS dan PLTB dengan beban satu hari penuh dan beban yang terjadi pada siang hari.

3. Pengujian nilai investasi yaitu pengujian berdasarkan dengan kebutuhan finansial, dalam metode ini adalah mencari sistem yang paling efisien dari segi ekonomi maupun energi.

### 3.1.8. Hasil Simulasi HOMER

Hasil dari simulasi HOMER ini merupakan keluaran dari hasil perencanaan pada pemodelan yang telah dilakukan. Adapun hasil dari simulasi ini yaitu

- a. Potensi energi baru terbarukan yang tersedia di Desa Salagedang dan berapa energi listrik yang dapat dikonversi.
- b. Implementasi aplikasi HOMER energi dalam perencanaan pembangkit listrik sistem *hybrid* sebagai penyedia energi alternatif.
- c. Topologi integrasi yang digunakan dari sistem pembangkit listrik *hybrid* yang sesuai dengan beban dan kesediaan energi terbarukan di Desa Salagedang.
- d. Kapasitas energi listrik dari model sistem pembangkit *hybrid* dalam menyediakan energi di Desa Salagedang dan berapa densitas energi listrik yang dihasilkan sistem.

Hasil simulasi ini juga berupa biaya keseluruhan perencanaan, biaya awal untuk perencanaan pembangkitan energi, laju pengembalian investasi, perbandingan kapasitas energi listrik antara penggunaan sistem pembangkit *hybrid* sistem on grid dengan jaringan PLN saja dalam 25 tahun ke depan, biaya energi listrik per kWh, dan juga biaya pemeliharaan ataupun penggantian komponen. Hasil simulasi ini menjadi bahan untuk menganalisa sistem integrasi pembangkit listrik *hybrid*.

### 3.1.9. Analisa

Pada tahap Analisa, parameter yang akan analisa yaitu berupa:

- a. Bagaimana potensi energi baru terbarukan yang tersedia di Desa Salagedang dan berapa energi listrik yang dapat dikonversi.
- b. Bagaimana implementasi aplikasi HOMER energi dalam perencanaan pembangkit listrik sistem *hybrid* sebagai penyedia energi alternatif.
- c. Bagaimana topologi integrasi yang digunakan dari sistem pembangkit listrik *hybrid* yang sesuai dengan beban dan kesediaan energi di Desa Salagedang.
- d. Berapa kapasitas energi listrik dari model sistem pembangkit *hybrid* dalam menyediakan energi di Desa Salagedang dan berapa densitas energi listrik yang dihasilkan sistem.

Sehingga dapat diketahui juga kapasitas energi listrik dari model sistem pembangkit *hybrid* dalam menyediakan energi listrik di Desa Salagedang, biaya pembangunan perencanaan pembangkit listrik, biaya pembangkitan energi, laju pengembalian investasi, dan optimasi potensi energi yang ada pada sistem pembangkit serta perbandingan penggunaan pembangkit *hybrid* sistem *on grid* dengan jaringan PLN.

### 3.1.10. Kesimpulan

Selanjutnya yaitu kesimpulan. kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

- a. Dapat mengidentifikasi potensi energi baru terbarukan di Desa Salagedang dan mengestimasi berapa energi listrik yang dapat dikonversi.
- b. Dapat mengimplementasi aplikasi HOMER energi sebagai perangkat lunak untuk analisis sistem integrasi pembangkit listrik EBT.

- c. Mensimulasi topologi integrasi yang digunakan dari sistem pembangkit listrik *hybrid* yang sesuai dengan beban dan kesediaan energi di Desa Salagedang.
- d. Mengestimasi kapasitas energi listrik dari model sistem pembangkit *hybrid* menggunakan aplikasi HOMER di Desa Salagedang dan mengestimasi densitas energi yang dihasilkan sistem.

### **3.2. Metode Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan observasi melalui kunjungan lapangan ke PT. PLN (Persero) Area Majalengka. Data yang diambil berupa data jumlah pelanggan dan konsumsi energi di Desa Salagedang.

Membaca literatur pada jurnal untuk mendapatkan apa yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini juga merupakan bagian dari metode pengumpulan data. Selain itu, metode pengumpulan data potensi energi di Desa Salagedang didapatkan berdasarkan dari titik koordinat yang dimasukkan pada aplikasi HOMER energi, didapat radiasi matahari rata-rata mencapai  $5.08 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  per tahunnya dan energi kecepatan angin sekitar  $3.72 \text{ m/s}$ .

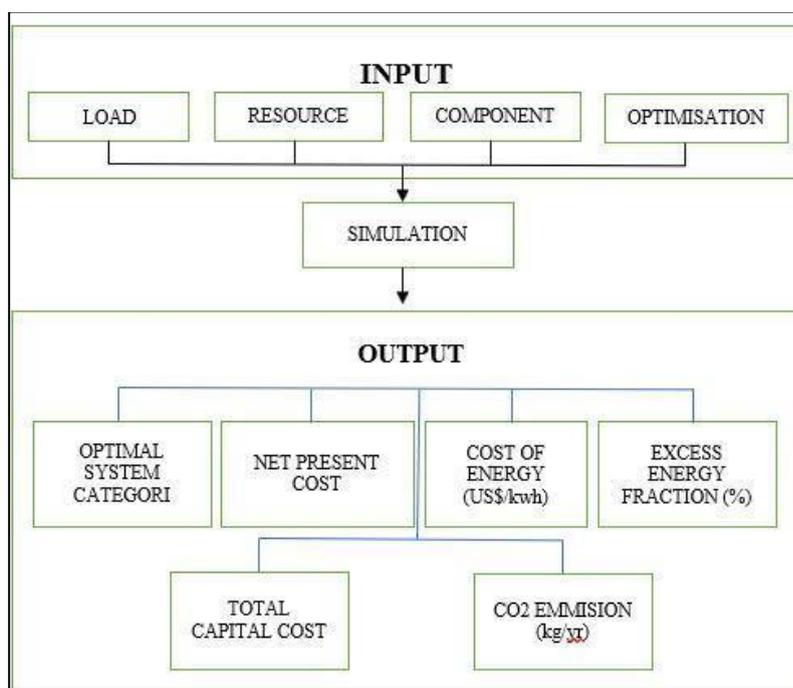
### **3.3. Perencanaan Sistem Energi Listrik Desa Salagedang**

Secara garis besar arsitektur HOMER ditunjukkan pada Gambar 3.3 ada tiga bagian utama HOMER yaitu input, simulasi dan output.

Input. Pada tahapan input terdiri dari beban per hari yang dikonsumsi di Desa Salagedang, potensi alam yang tersedia seperti kecepatan angin dan radiasi matahari, komponen yang digunakan seperti *photovoltaic*, *wind turbin*, *converter* serta optimasi aplikasi yang digunakan.

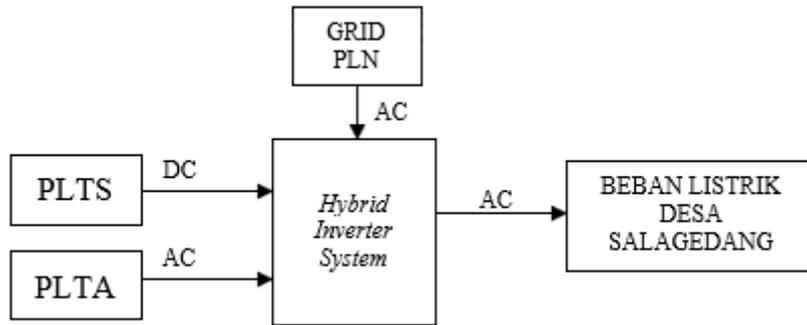
Simulasi. Pada tahapan ini peneliti menggunakan aplikasi HOMER Energy.

Output. Output yang dikeluarkan pada tahapan ini yaitu kategori sistem optimal dengan sumber energi dari kecepatan angin dan radiasi matahari bisa memenuhi kebutuhan listrik di Desa Salagedang, biaya bersih sistem pembangkit listrik, biaya energi per kWh, energi berlebih, total biaya modal dan emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan pembangkit.



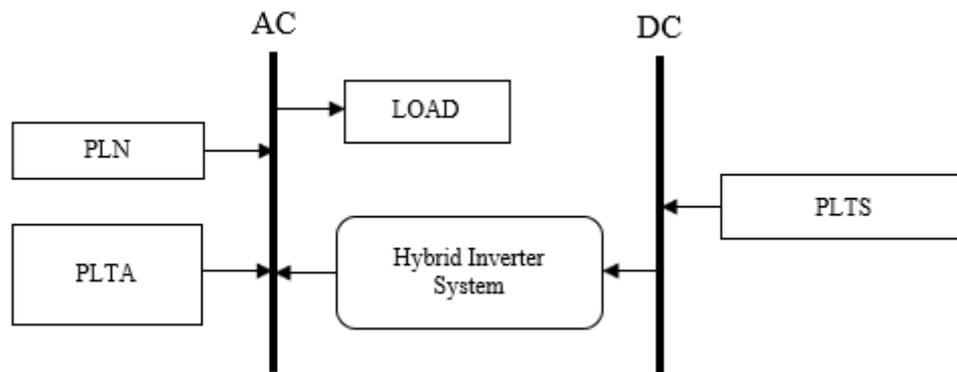
Gambar 3.4 Alur simulasi dan optimasi HOMER

Sistem tenaga *hybrid* terdiri dari sumber energi utama yang bekerja secara paralel dengan unit energi tambahan lainnya. Perangkat lunak HOMER dipakai untuk mengetahui hasil konfigurasi sistem yang paling optimal di Desa Salagedang. Konfigurasi sistem tersebut mempertimbangkan beban listrik dan kombinasi antara pembangkit tenaga angin dan pembangkit tenaga matahari yang dihasilkan.



Gambar 3.5 Block sistem tenaga *hybrid* on grid

#### 3.4. Skema Sistem Pembangkit Tenaga *Hybrid On Grid*



Gambar 3.6 Skema sistem pembangkit listrik *hybrid* on grid

Skema pada rancangan perencanaan PLTH diatas tersusun dari komponen-komponen utama sistem perencanaan untuk pembangkit listrik di Desa Salagedang. Komponen yang digunakan adalah *Wind Turbine*, dan *Photovoltaic*, sedangkan komponen pendukungnya yaitu konverter dan AC DC Bus.

*Photovoltaic*/panel surya dan turbin angin pada skema sistem pembangkit listrik di Desa Salagedang bekerja pada siang hari yaitu dari mulai jam 7.00 WIB s.d 17.00 WIB selanjutnya pada jam 18.00 WIB s.d 6.00 WIB dikarenakan sinar matahari dan energi angin sudah tidak tersedia maka sitem dengan menggunakan panel *switch export/import* untuk dapat membeli energi listrik dari jaringan PLN

untuk mengganti pembangkit *hybrid* menyalurkan pasokan energi listrik di Desa Salagedang.

Berdasarkan data yang didapat dari situs resmi Badan Antariksa Amerika Serikat (*NASA Surface Meteorologi*) yang terdapat pada aplikasi HOMER bahwa rata - rata radiasi matahari yang dihasilkan di Desa Salagedang yaitu sebesar 5.08 (kWh/m<sup>2</sup>/d). Panel surya dipasang dengan sistem DC karena panel surya terbuat dari bahan semikonduktor yang mengandung lapisan bermuatan positif (layer-P) dan negatif (layer-N) dan diantara keduanya ada lapisan jembatan medan listrik P-N junction, medan inilah yang menjadi pendorong aliran antara layer-N dengan layer-P sehingga menghasilkan DC. Pada perancangan pembangkit di Desa Salagedang ini, tegangan keluaran pada PLTS yaitu tegangan satu *phase* dikarenakan di Desa Salagedang.

Selanjutnya, agar tegangan dari PLTS dapat didistribusikan ke pelanggan maka tegangan DC dari PLTS akan diubah menjadi tegangan AC menggunakan *hybrid inverter system* yang dipasang parallel. Untuk menyalurkan daya keluaran inverter yang bersumber dari PLTS dengan jaringan listrik dibutuhkan proses sinkronisasi dengan cara mengontrol kerja inverter sedemikian rupa sehingga diperoleh tegangan, amplitudo sesaat, sudut fase dan frekuensi yang sesuai dengan jaringan listrik. Bila tegangan jaringan turun, maka tegangan inverter juga harus mengikuti, begitu sebaliknya. Demikian pula bila frekuensi jaringan listrik naik atau turun, maka frekuensi keluaran inverter juga harus dapat mengikutinya. Selanjutnya masuk ke saluran transmisi untuk dilanjutkan ke saluran distribusi kemudian ke beban satu *phase*.

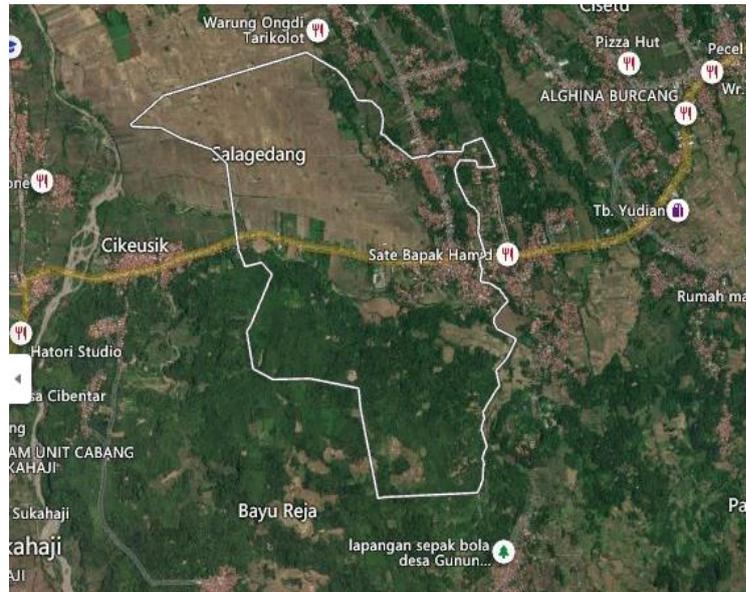
Cara kerja dari PLTB yaitu merupakan proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik dengan dipengaruhi oleh kecepatan angin yang mengenai dan memutar turbin angin. Kemudian turbin angin akan memutar sudut turbin lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator. Generator akan mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Dengan teori elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan ferromagnetic permanen. Setelah itu, disekeliling adalah kumparan – kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator berputar akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya akan dihasilkan tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus yang dihasilkan yaitu berupa AC satu *phase*. Selanjutnya masuk ke saluran transmisi untuk dilanjutkan ke saluran distribusi kemudian ke beban satu *phase*.

Kemudian keluaran tegangan satu *phase* dari PLTB dan PLTS selanjutnya disalurkan ke beban listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Salagedang. Perencanaan ini dibuat dengan sistem *on grid* yang artinya pembangkit listrik *hybrid* yang bersumber dari energi angin dan matahari terhubung langsung dengan PLN. Hal ini dibuat apabila terjadi pemadaman/kekurangan tegangan pada PLTH maka sumber energi listrik dapat melakukan *import* energi listrik dari PLN.

### **3.5. Data Profil Desa**

#### **3.5.1. Peta Lokasi Desa Salagedang**

Desa Salagedang berada di Kecamatan Sukahaji Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat Indonesia. Desa Salagedang berada di titik koordinat yaitu 6°48'1"S (Lintang Selatan) 108°18'7"E (Bujur Timur).



Gambar 3.7 Gambar Peta Desa Salagedang

### 3.5.2. Konsumsi Energi listrik Desa Salagedang

Pada perencanaan ini jumlah pelanggan berdasarkan data dari PT. PLN (PESEO) Kab. Majalengka sekitar 750 pelanggan seperti yang dijelaskan pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Daya Terpasang (PT. PLN Area Majalengka)

No	No Tiang	Nama	Jumlah Pelanggan	Total Daya (kVA)	Jumlah Trafo	Daya Rata - rata (kW)	Daya maksimum (kW)
1	CIPI-SLGA	SLGA	405	100	1	58,32	61,26
2	CIPI-SLGB	SLGB	345	100	1	50,07	55,369
`JUMLAH			750	200	2	108	116,629

Berdasarkan dari tabel 3.1 berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) Kab. Majalengka bahwa jumlah pelanggan energi listrik di Desa Salagedang sekitar 750 pelanggan dengan total daya yang 200 kVA atau sekitar 170 kW terpasang 2

trafo masing trafo menyuplai daya sekitar 100 kVA atau sekitar 85 kW daya nyata dengan rata – rata daya pada gardu SLGA sekitar 58,32 kW dan daya maksimum 61,26 kW sedangkan pada rata – rata daya pada gardu SLGB sekitar 50,079 kW dengan daya maksimum sekitar 55,369 kW pada jam 19.00 WIB. Maka pada penelitian ini dibutuhkan perencanaan dengan *output* daya harus bisa memenuhi kebutuhan beban di Desa Salagedang.

### 3.5.3. Panel Surya (*Photovoltaic*)

Komponen pertama pada perencanaan pembangkit listrik *hybrid* ini yaitu panel surya (*photovoltaic*). Panel surya yang digunakan yaitu *CanadianSolar MaxPower CS6U-340M* dengan daya nominal untuk satu panel sebesar 340 Wp seperti yang dijelaskan pada tabel 3.2.

Tabel 3.1 Data spesifikasi Panel Surya

No	<i>Electric Data</i>		<i>Mechanical Data</i>	
1	<i>Type</i>	CanadianSolar MaxPower CS6U-340M	<i>Cell Type</i>	<i>Mono-Cristalline, 6 inch</i>
2	<i>Max Power</i>	340	<i>Cell Arrangement</i>	72 (6x12)
3	<i>Op. Voltage</i>	37,9 V	<i>Dimension</i>	196 x 992 x 40 mm
4	<i>Op. Current</i>	8,97 A	<i>Weight</i>	22,4 kg
5	<i>Open Circuit Voltage</i>	46,2 V	<i>Front Cover</i>	3.2 mm <i>Tempered Glass</i>
6	<i>Short Circuit Current</i>	9,48 A	<i>Frame Material</i>	<i>Anodized aluminium alloy</i>
7	<i>Module Efficiency</i>	17,49 %	<i>J-Box</i>	IP67, 3 diodes
8	<i>Op. Temperature</i>	-40°C ~ + 85°C	<i>Cable</i>	PV1500DC-F1 4 mm <sup>2</sup> (IEC) & 12 AWG 2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in)
9	<i>Max. system Voltage</i>	1000 V	<i>Connector</i>	T4 series or PV2 series
10	<i>Max. Fuse rating</i>	15 A	<i>Per Pallet</i>	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)

11	<i>Power Tolerance</i>	0 ~ +5 W	Per container (40' HQ)	624 pieces
12	<i>Max. System Voltage</i>	1500 V (IEC) or 1500 V (UL)		
13	<i>Power Density at STC</i>	175,258 W/m <sup>2</sup>		
14	<i>Power Density at PTC</i>	160,722 W/m <sup>2</sup>		

#### 3.5.4. Turbin Angin

Komponen selanjutnya yaitu dalam sistem pembangkit listrik adalah turbin angin. Pada perencanaan ini tipe turbin angin yang digunakan yaitu tipe turbin angin dengan sumbu vertical dikarenakan perencanaan ini berada di pedesaan dengan kondisi arah angin tidak beraturan. Tipe turbin angin yang dipakai yaitu Aeolos-V 1kW kapasitas 1 kW. Seperti yang dijelaskan pada tabel 3.3.

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Turbin Angin

No	Data Spesifikasi Turbin Angin Aeolus	
1	<i>Rated Power</i>	1 kW
2	<i>Max. Output Power</i>	1500 W
3	<i>Off grid</i>	48 V
3	<i>Grid tie</i>	220 V
4	<i>Rotor Height</i>	2,8 m (9,2 ft)
5	<i>Rotor Diameter</i>	2,0 m (6,6 ft)
6	<i>Start-Up Wind Turbine</i>	1.5 m/s (3,4 mph)
7	<i>Rated Wind Turbine</i>	10 m/s (22,3 mph)
8	<i>Survival Wind Speed</i>	50 m/s (111,5 mph)
9	<i>Generator</i>	<i>Permanent Magnetic Generator</i>
10	<i>Generator Efficiency</i>	> 0.96

11	<i>Turbine Weight</i>	28 kg (61,6 lbs)
12	<i>Noise</i>	<45dB(A)
13	<i>Temperature Range</i>	-20°C to +50°C
14	<i>Design Lifetime</i>	20 Years
15	<i>Warranty</i>	Standard 5 years
16	<i>Density</i>	312.5 W/m <sup>2</sup>
17	<i>Efficiency</i>	96%

### 3.5.5. Konverter

Komponen yang terakhir yaitu *converter* berfungsi untuk merubah output tegangan DC dari panel surya menjadi tegangan AC untuk bisa didistribusikan ke pelanggan. Konverter yang digunakan yaitu *MS-PAE SERIES* (MS4448PAE) dengan kapasitas 4,4 kW. Komponen pendukung *converter* ini terdiri dari inverter dan *rectifier*. Masing masing memiliki efisiensi sebesar 94 %. Seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Inverter

No	Data Spesifikasi Konverter	
1	<i>Continous Power</i>	4,4 kW
2	<i>Nominal AC Output Voltage</i>	120/240 VAC
3	<i>Input Voltage DC</i>	36 – 64 VDC
4	<i>Output Frequency and Accuracy</i>	60 Hz ± 0,1 Hz
5	<i>Output Current</i>	36,7 A
6	<i>Input Current</i>	15 A
7	<i>Efficiency</i>	85 % (charge mode) 94 % (invert mode) 50 m/s (111,5 mph)
8	<i>Cos Phi</i>	>0,95
9	<i>Operating Temp</i>	-20° C to +60° C (-4° F to 140° F)
10	<i>Phase</i>	Single phase