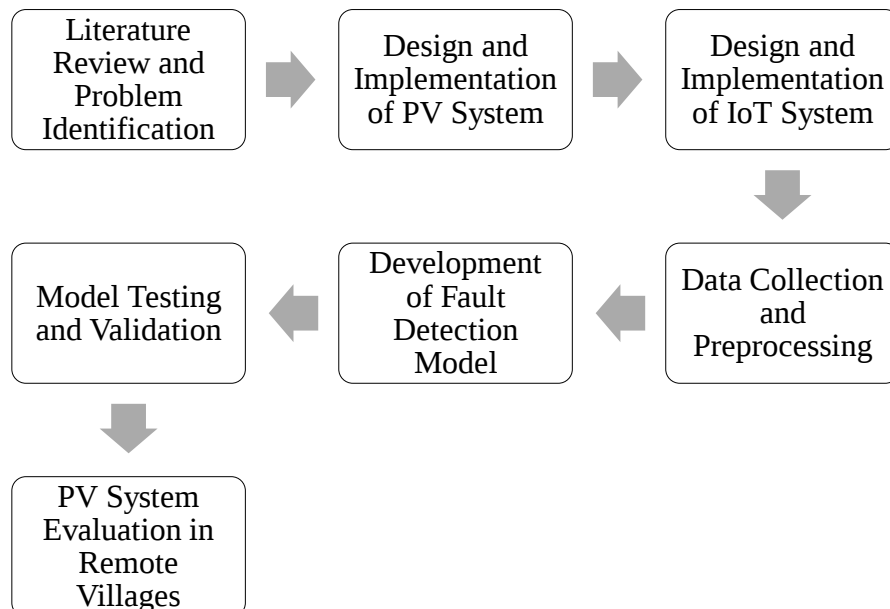


BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan untuk mencapai tujuan utama, yaitu pengembangan sistem deteksi kesalahan pada sistem photovoltaic (PV) berbasis Internet of Things (IoT) di wilayah terpencil. Tahap pertama adalah Tinjauan Pustaka dan Identifikasi Masalah, yang bertujuan untuk mengkaji penelitian terdahulu terkait teknologi PV dan deteksi kesalahan, serta mengidentifikasi permasalahan yang perlu diatasi. Pada tahap Perancangan dan Implementasi Sistem PV, dilakukan perancangan dan implementasi sistem PV dengan mempertimbangkan berbagai komponen dan konfigurasi yang sesuai dengan kebutuhan di wilayah terpencil. Tahap berikutnya adalah Pengumpulan Data dan Pralakuan Data, di mana data dari sensor-sensor yang terpasang pada sistem PV dikumpulkan dan diproses untuk memastikan kualitas data yang baik bagi analisis selanjutnya. Setelah data terkumpul, tahap Pengembangan Model Deteksi Kesalahan dilakukan untuk mengembangkan model deteksi kesalahan menggunakan pendekatan *Multiple Linear Regression* (MLR) dan *Fuzzy Logic* (FL) untuk memprediksi dan mengklasifikasikan kondisi sistem PV seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Pada tahap awal penelitian, dilakukan kajian literatur untuk memahami teknologi yang relevan dengan sistem PV dan fault detection. Kajian ini mencakup berbagai penelitian sebelumnya mengenai sistem PV, komponen-komponen yang digunakan (seperti panel surya, baterai, inverter, dan solar charge controller), serta metode deteksi kesalahan yang digunakan dalam sistem PV. Fokus utama kajian adalah untuk mengidentifikasi tantangan yang dihadapi oleh sistem PV, terutama dalam wilayah terpencil, seperti kesulitan dalam pemeliharaan, keterbatasan infrastruktur untuk pemantauan, dan deteksi kesalahan. Berdasarkan kajian literatur, peneliti merumuskan masalah yang perlu diselesaikan melalui pengembangan model fault detection yang berbasis IoT.

Tahap perancangan dan implementasi sistem PV berkaitan dengan pengembangan komponen utama seperti panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, dan inverter. Panel surya dipilih berdasarkan kapasitas dan jenis yang sesuai untuk wilayah terpencil, dan sistem ini dipasang dengan konfigurasi parallel PV untuk memaksimalkan efisiensi. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan IoT untuk memantau berbagai parameter lingkungan seperti suhu panel, radiasi matahari, dan status hujan. Semua komponen ini dipasang di atas tangki penyimpanan air di atap, dengan sistem pengisian daya baterai yang diatur oleh SCC untuk mengoptimalkan pengisian.

Setelah sistem PV dipasang dan mulai beroperasi, data mulai dikumpulkan melalui sensor-sensor yang terhubung dengan IoT. Parameter yang dipantau mencakup suhu panel, suhu udara, radiasi matahari, kecepatan angin, dan status hujan. Data yang dikumpulkan juga meliputi output daya dari panel PV. Data yang diperoleh akan diproses terlebih dahulu untuk menghilangkan gangguan atau noise dan memastikan kualitas data yang baik untuk analisis lebih lanjut. Data yang sudah diproses ini kemudian digunakan sebagai input untuk model deteksi kesalahan yang dikembangkan pada tahap berikutnya.

Tahap selanjutnya adalah pengembangan model deteksi kesalahan menggunakan dua metode utama, yaitu Multiple Linear Regression (MLR) dan Fuzzy Logic (FL). MLR digunakan untuk memprediksi output daya panel PV (P_1 dan P_2) dengan mempertimbangkan berbagai variabel independen seperti suhu panel, radiasi matahari, dan kecepatan angin. Berdasarkan hasil prediksi ini, Fuzzy Logic diterapkan untuk mengklasifikasikan status sistem PV (seperti Low, Medium, atau High) dan mendeteksi kesalahan seperti Open Circuit (OC), Short Circuit (SC), Partial Shading (PSh), dan

degradation. Fuzzy Logic juga digunakan untuk menangani ketidakpastian dalam data lingkungan dan operasional yang mungkin mempengaruhi kinerja sistem PV.

Pada tahap evaluasi, model deteksi kesalahan diuji untuk memastikan akurasi dan efektivitasnya dalam mendeteksi kesalahan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Model diuji pada berbagai skenario operasional untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mendeteksi kesalahan yang terjadi pada panel PV, inverter, dan baterai. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan data aktual untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan dapat memprediksi kesalahan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Jika diperlukan, penyesuaian dilakukan pada model untuk meningkatkan kinerja deteksi.

Pada tahap akhir, dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem PV yang telah terpasang di wilayah terpencil. Evaluasi ini mencakup analisis seberapa efektif sistem dalam menyediakan energi terbarukan di daerah yang tidak memiliki akses ke jaringan listrik konvensional. Selain itu, tahap ini juga mengevaluasi apakah sistem dapat mendeteksi kesalahan dan bagaimana sistem dapat mengoptimalkan kinerja meskipun berada di daerah dengan keterbatasan infrastruktur dan sumber daya. Evaluasi ini akan memberikan informasi yang berguna untuk meningkatkan akses terhadap energi terbarukan dan memberikan wawasan mengenai bagaimana IoT dapat digunakan untuk memantau dan mengelola sistem energi di daerah terpencil.

3.2. Data Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan mengimplementasikan PLTS yang terintegrasi dengan sistem monitoring, diagnosis, prediksi dan DSS *fault detection*. Lokasi penelitian di desa Pandan Arang Kecamatan Kandis Kabupaten Ogan Ilir. Kecamatan Kandis memiliki 12 desa yaitu: 1. Lubuk Rukum, 2. Tanjung Alai, 3. Kandis I, 4. Kumbang Ulu, 5. Kumbang Ilir, 6. Miji, 7. Santapan Barat, 8. Pandan Arang, 9. Muara Kumbang, 10. Kandis II, 11. Santapan Timur, 12. Lubuk Segonang, dengan ibukota kecamatan Kandise II dengan total luas 50,25 km²/sq.km.

Data awal yang menjadi data awal mengenai suhu, kelembaban, dan kecepatan angin di lokasi penelitian menjadi acuan dalam penelitian ini. Data ini mencakup tiga parameter utama, yaitu suhu (dalam derajat Celcius), kelembaban relatif (dalam persentase), dan kecepatan angin (dalam satuan knots). Setiap parameter memiliki tiga

nilai yang tercatat, yaitu nilai minimum (Min), rata-rata (Rata-rata), dan nilai maksimum (Mak) yang menggambarkan fluktuasi kondisi cuaca sepanjang bulan seperti yang terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Suhu, Kelembaban, Kecepatan Angin [78]

Bulan	Suhu °C			Kelembaban/Humidity %			Kecepatan Angin (knots)		
	Min	Rata-rata	Mak	Min	Rata-rata	Mak	Min	Rata-rata	Mak
Januari	24.3	26.4	28.3	76	88	98	1	1-11	17.69
Februari	24.7	26.6	28.3	84	87	95	1	1-11	20.6
Maret	25.4	27.1	28.5	77	85	93	1	1-11	24.6
April	25.7	27.5	29.3	80	85	97	1	2.08	22.16
Mei	26.6	28.1	30	78	85	91	1	1.66	20.8
Juni	26.1	27.9	29.6	73	81	87	1	1.79	23.7
Juli/July	25	27.7	28.7	72	80	92	1	2.4	22.7
Agustus	24.9	27.1	29	73	83	94	1	2.42	22.8
September	25.2	28.1	32.6	71.5	83.2	98	1	4.97	21.58
Oktober	26.6	28.9	30.3	76	84	91	1	2.2	15
November	26.6	27.9	30.3	79	87	92	1	1.9	10.6
Desember	23.1	27.8	35.3	76	88	94	1	5	25.2

Suhu yang tercatat dalam tabel menunjukkan variasi suhu bulanan, dengan suhu rata-rata tertinggi tercatat pada bulan Desember (27,8°C) dan suhu rata-rata terendah tercatat pada bulan Januari (26,4°C). Kelembaban relatif juga menunjukkan fluktuasi sepanjang tahun, dengan kelembaban rata-rata tertinggi tercatat pada bulan Februari (87%) dan terendah pada bulan Juni (81%). Kecepatan angin bervariasi, dengan nilai rata-rata tertinggi tercatat pada bulan Desember (5 knots) dan terendah pada bulan Januari (1 knot). Data ini sangat penting untuk menganalisis pengaruh faktor lingkungan terhadap kinerja sistem fotovoltaik (PV), seperti suhu yang mempengaruhi efisiensi panel surya dan kelembaban serta kecepatan angin yang dapat mempengaruhi potensi gangguan pada sistem PV.

Data mengenai curah hujan dan penyinaran matahari selama 12 bulan di lokasi penelitian, yaitu Desa Pandan Arang, Kecamatan Kandis, Kabupaten Ogan Ilir, menjadi acuan penting dalam penelitian ini. Data curah hujan yang tercatat menunjukkan variasi yang cukup signifikan sepanjang tahun, dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Desember (378,44 mm) dan terendah pada bulan Juli (72,31 mm). Hal ini mencerminkan

pola curah hujan yang bervariasi, yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional sistem fotovoltaik (PV) karena hujan dapat mengurangi intensitas radiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Data penyinaran matahari maksimum menunjukkan berapa jam maksimal sinar matahari yang diterima selama setiap bulan. Bulan Maret tercatat sebagai bulan dengan penyinaran matahari maksimum tertinggi (9,2 jam), sementara bulan November memiliki penyinaran matahari terendah (7,2 jam). Informasi mengenai penyinaran matahari sangat krusial dalam penelitian ini karena radiasi matahari adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi produksi energi dari panel surya seperti yang terlihat pada Tabel 3.2.

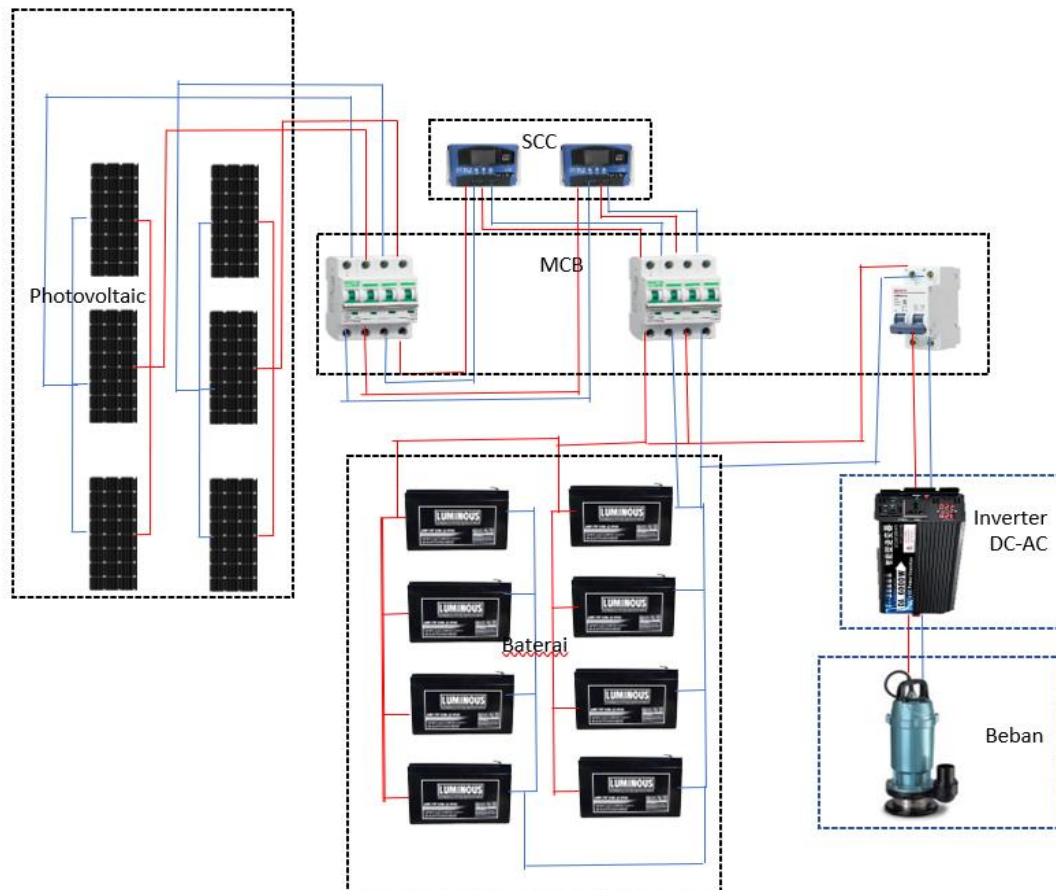
Tabel 3.2 Curah hujan dan penyinaran matahari

Bulan	Jumlah Curah Hujan (mm)	Penyinaran Matahari Maksimum (jam)
Januari	259.94	6.8
Februari	212.75	8.6
Maret	301.19	9.2
April	191.25	9.2
Mei	160.5	9.4
Juni	118.94	8.1
Juli/July	72.31	9.5
Agustus	160.25	8.6
September	160.25	9.4
Oktober	57.75	8.8
November	324.25	7.2
Desember	378.44	8.3

3.3. Rancangan Sistem PV

Komponen panel photovoltaic pada sistem PV pada penelitian ini terdiri dari beberapa modul surya dipasang untuk menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi listrik DC (arus searah). Energi yang dihasilkan oleh panel surya ini kemudian disalurkan melalui sistem pengaman, yaitu Miniature Circuit Breaker (MCB), untuk melindungi sistem dari arus lebih. Selanjutnya, arus DC ini masuk ke Solar Charge Controller (SCC) yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik agar baterai dapat diisi dengan aman dan mencegah overcharging atau kerusakan. Energi yang disimpan dalam

baterai digunakan untuk mensuplai daya pada inverter, yang kemudian mengubah energi DC menjadi energi AC (arus bolak-balik) untuk digunakan oleh beban, seperti pompa air yang ada pada sistem ini. Komponen yang digunakan pada sistem PV terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rancangan Komponen Sistem PV

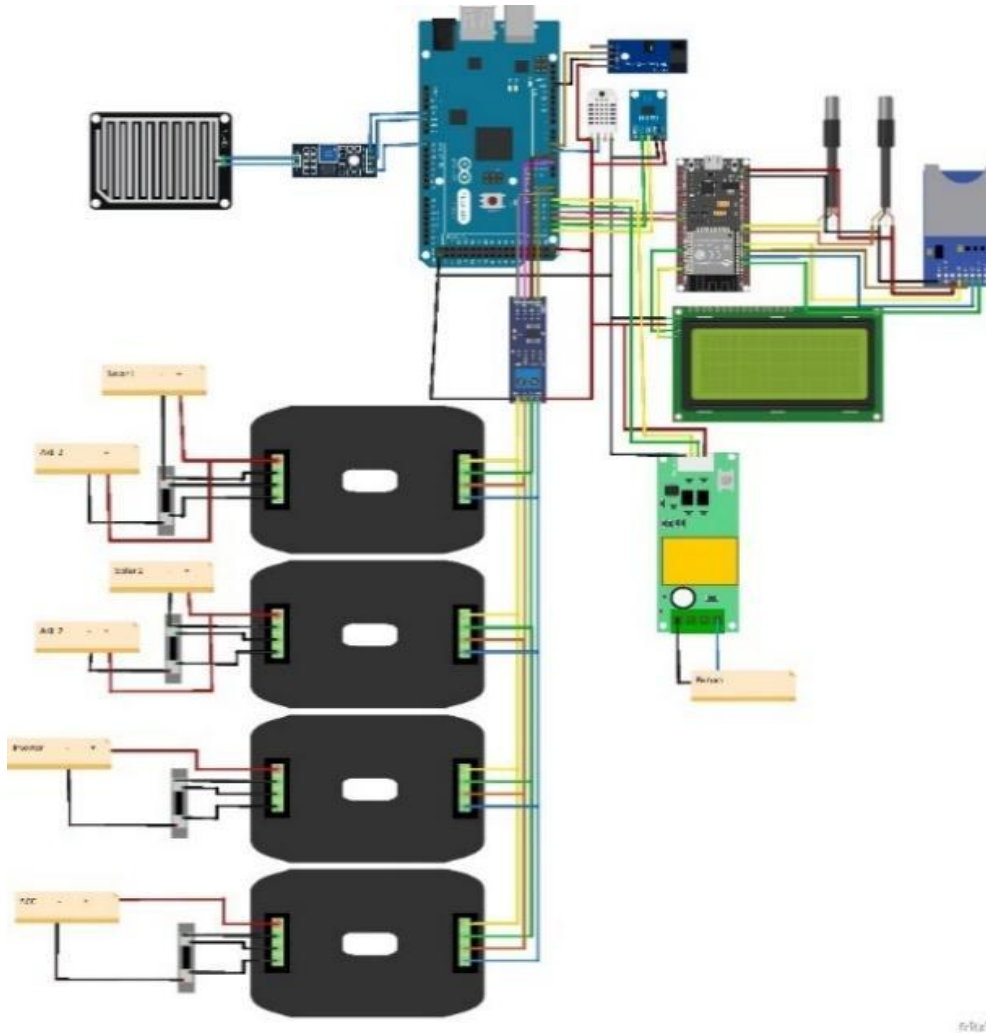
Sistem ini terdiri dari 6-unit panel fotovoltaik (PV) dengan kapasitas masing-masing 200 WP, yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Untuk mengatur aliran listrik yang dihasilkan, digunakan 2-unit solar charge controller (SCC) dengan kapasitas 12 V 100A. Energi yang dihasilkan disimpan dalam 8 unit baterai dengan kapasitas 12 V 100Ah. Sistem ini juga dilengkapi dengan 1 unit inverter 12 V 6000 watt yang berfungsi untuk mengubah energi listrik DC menjadi AC untuk digunakan oleh beban. Komponen lain yang penting adalah 5 unit Miniature Circuit Breaker (MCB) 2P DC dengan kapasitas 50A 500V untuk melindungi sistem, serta kabel-kabel dengan berbagai ukuran untuk menghubungkan komponen-komponen tersebut, yaitu kabel PV

100 meter dengan ukuran 4 mm, kabel dari SCC ke baterai sepanjang 10 meter dengan ukuran 6 mm, kabel dari baterai ke inverter sepanjang 2 meter dengan ukuran 8 mm, dan kabel dari inverter ke beban sepanjang 50 meter dengan ukuran 2,5 mm. Adapun ringkasan spesifikasi komponen pada sistem PV dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.3 Spesifikasi Komponen Sistem PV

Komponen	Jumlah	Kapasitas
Photovoltaik	6 Unit	200 WP
Solar charge controller (SCC)	2 Unit	12 V 100A
Baterai	8 Unit	12 V 100Ah
Inverter	1 Unit	12 V 6000 Watt
MCB 2P DC	5 Unit	50 A 500V
Kabel PV	100 m	4 mm
Kabel SCC ke baterai	10 m	6 mm
Kabel baterai ke Inverter	2 m	8 mm
Inverter ke beban	50 m	2,5 mm

Desain IoT untuk sistem photovoltaic (PV) ini mengintegrasikan beberapa komponen input, proses, dan output untuk memonitor dan mengendalikan sistem secara real-time. Pada bagian input, sensor-sensor seperti sensor arus, tegangan, dan suhu digunakan untuk mengukur parameter baik dari lingkungan (radiasi matahari, suhu, kecepatan angin) maupun sistem PV itu sendiri (kinerja panel photovoltaic, baterai, dan inverter). Data dari sensor-sensor ini kemudian diproses menggunakan Arduino Mega, yang terhubung dengan berbagai pin untuk menerima input dari sensor. Output dari sistem ini mencakup dua hal utama: pertama, tampilan hasil pengukuran melalui LCD untuk memberikan visualisasi langsung kepada pengguna mengenai kondisi sistem, dan kedua, penyimpanan data menggunakan Data Logger yang memungkinkan data disimpan secara kontinu serta dikirimkan ke platform IoT untuk pemantauan jarak jauh. Arsitektur IoT sistem PV dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain IoT pada Sistem PV

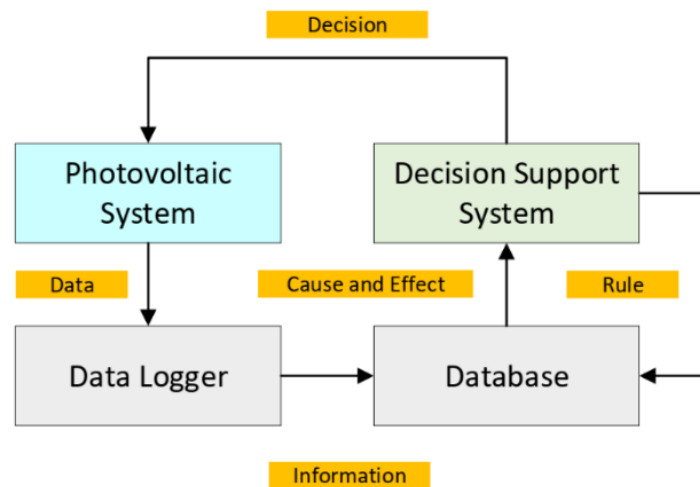
Parameter input IoT pada sistem photovoltaic (PV) mencakup berbagai variabel yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem. Parameter lingkungan yang diukur meliputi radiasi matahari (W/m^2), suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), kecepatan angin (km/jam), dan curah hujan (ya/tidak), yang semuanya memengaruhi seberapa efektif sistem PV dalam menghasilkan energi. Di sisi lain, parameter sistem PV mencakup pengukuran pada komponen-komponen utama seperti panel photovoltaic, baterai, dan inverter. Pada panel PV, parameter yang diukur meliputi arus (I) dalam amper DC, tegangan (V) dalam volt DC, daya (P) dalam watt DC, serta suhu panel ($^{\circ}\text{C}$). Untuk baterai, parameter yang diperhatikan termasuk tegangan operasi (V_s), arus masuk (I_{in}), arus keluar (I_{out}), serta daya yang masuk dan keluar (P_{in} dan P_{out}) dalam watt DC. Pada inverter, parameter yang diukur meliputi arus (I_{inv}), tegangan (V_{inv}), daya yang dihasilkan (P_{inv}), serta daya

yang masuk (P_{in}) dalam watt DC. Semua parameter ini dikumpulkan secara real-time melalui sensor-sensor yang terhubung ke sistem, dan data ini digunakan untuk memonitor, menganalisis, dan mengoptimalkan kinerja sistem PV dengan kriteria atribut seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.4.

Parameter Lingkungan	Radiasi Matahari W/m ²	Suhu °C	Kecepatan Angin Km/Jam	Hujan Tidak/Ya	
Parameter sistem PV					
Photovoltaik	Arus I (Amper _{dc})	Tegangan V (Volt _{dc})	Daya P (Watt _{dc})	Suhu °C	
Baterai	Tegangan operasi V _s (Volt _{dc})	Arus Masuk I _{in} (Amper _{dc})	Arus Keluar I _{out} (Amper _{dc})	Daya Masuk P _{in} (Watt _{dc})	Daya Keluar P _{out} (Watt _{dc})
Inverter	Arus I _{inv} (Amper _{ac})	Tegangan V _{inv} (Volt _{ac})	Daya P _{inv} (Watt _{ac})	Daya masuk P _{in} (Watt _{dc})	

Gambar 3.4 Parameter Input IoT pada Sistem PV

Arsitektur *Decision Support System* (DSS) untuk sistem *photovoltaic* (PV) yang diusulkan dalam penelitian ini terdiri dari empat sub-sistem utama yang terintegrasi untuk mendukung pengambilan keputusan dalam mengelola kinerja dan efisiensi sistem PV di kawasan desa terpencil di Sumatera Selatan, Indonesia. Sub-sistem pertama adalah Sistem Fotovoltaik (PV), yang bertanggung jawab atas pengoperasian panel surya dan pengukuran berbagai parameter seperti arus, tegangan, suhu panel, serta data terkait dengan inverter dan baterai. Data yang diperoleh dari sensor-sensor pada sistem PV ini kemudian disalurkan ke Data Logger, yang menyimpan dan memantau data secara kontinu untuk analisis lebih lanjut. Manajemen Database adalah sub-sistem ketiga, yang mengatur penyimpanan dan pengorganisasian data yang dikumpulkan, memungkinkan akses yang cepat dan efisien untuk pengolahan data. Terakhir, Sistem Pendukung Keputusan (DSS) memanfaatkan data yang telah diproses untuk memberikan rekomendasi berbasis analisis, menggunakan model seperti multiple linear regression (MLR) dan fuzzy logic (FL) untuk mendeteksi masalah dan memprediksi kinerja sistem seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.

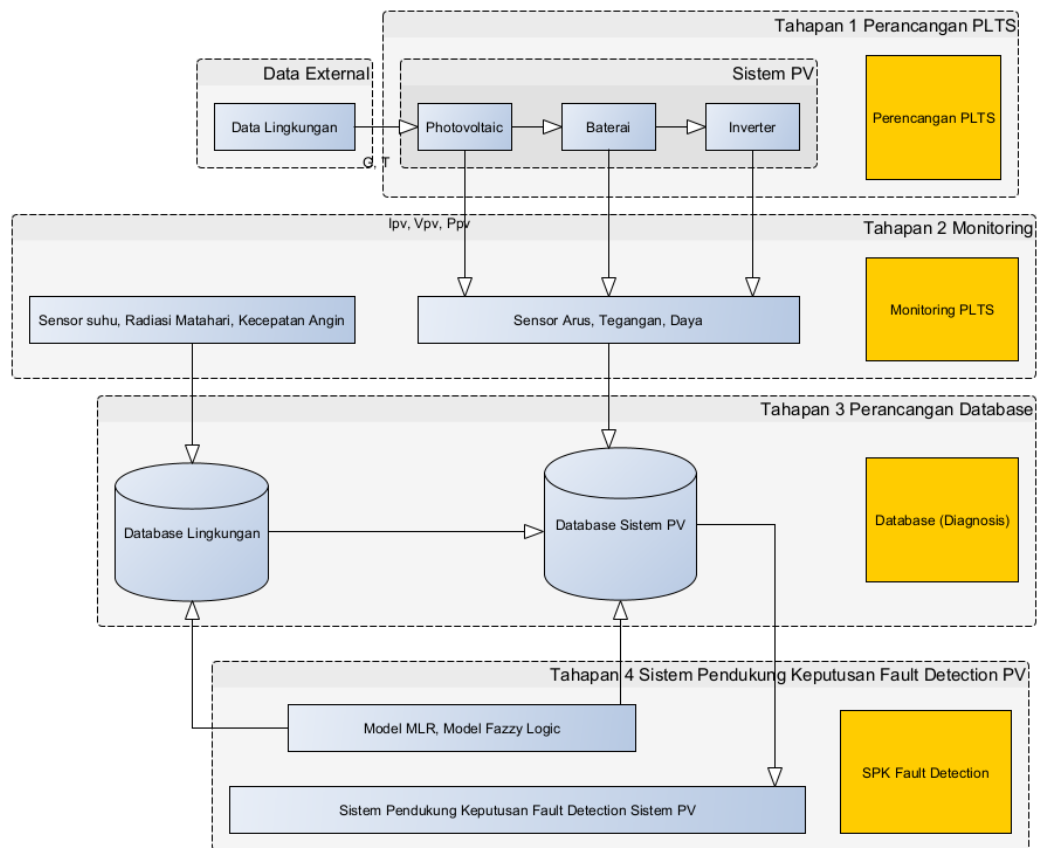


Gambar 3.5 Blok Diagram DSS Untuk Sistem PV

Rancangan tampilan atau user interface (UI) pada Decision Support System (DSS) untuk deteksi kesalahan sistem photovoltaic (PV) dirancang untuk memfasilitasi interaksi antara pengguna dan sistem dengan cara yang mudah dan intuitif. Dalam UI ini, terdapat menu utama yang berisi beberapa sub-menu seperti menu diagnosis, prediksi, dan decision support system untuk fault detection pada sistem PV. Sistem ini memiliki dua jenis hak akses pengguna yang berbeda, yang memungkinkan pengaturan hak akses untuk mengelola berbagai fitur dan fungsi yang tersedia dalam sistem. Pengguna dengan hak akses tertentu dapat mengakses menu yang sesuai, sementara menu yang lainnya akan terkunci sesuai dengan hak yang diberikan. Tahapan pengujian dilakukan secara komprehensif, mulai dari peralatan PV, sensor, Arduino, hingga menu-menu seperti diagnosis dan prediksi, serta sistem pendukung keputusan untuk *fault detection*.

Tahapan pertama adalah desain dan instalasi sistem PV, termasuk komponen-komponen utama seperti panel fotovoltaik, baterai, inverter, dan peralatan pendukung lainnya, dengan data lingkungan seperti suhu, radiasi matahari, dan kecepatan angin sebagai faktor yang memengaruhi kinerja sistem. Data yang diperoleh dari tahapan pertama digunakan untuk monitoring PV. Pada tahapan kedua, dilakukan perancangan sistem monitoring menggunakan sensor untuk mengumpulkan data eksternal dan data sistem PV, yang kemudian dimasukkan ke dalam database. Tahapan ketiga adalah

pembuatan database yang terdiri dari dua tabel, yaitu database lingkungan dan database sistem PV, yang digunakan untuk melakukan diagnosis pada sistem yang berjalan. Tahapan keempat melibatkan sistem pengambilan keputusan *fault detection* dengan menggunakan model *Multiple Linear Regression* (MLR) untuk memprediksi kinerja sistem PV dan menentukan kriteria dalam pengambilan keputusan. Hasil dari tahapan ini menghasilkan alternatif *fault detection* untuk sistem PV, dengan kategori seperti kondisi normal, bayang, atau beban lebih, yang divisualisasikan dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Integrasi DSS dan Sistem PV untuk *Fault Detection*