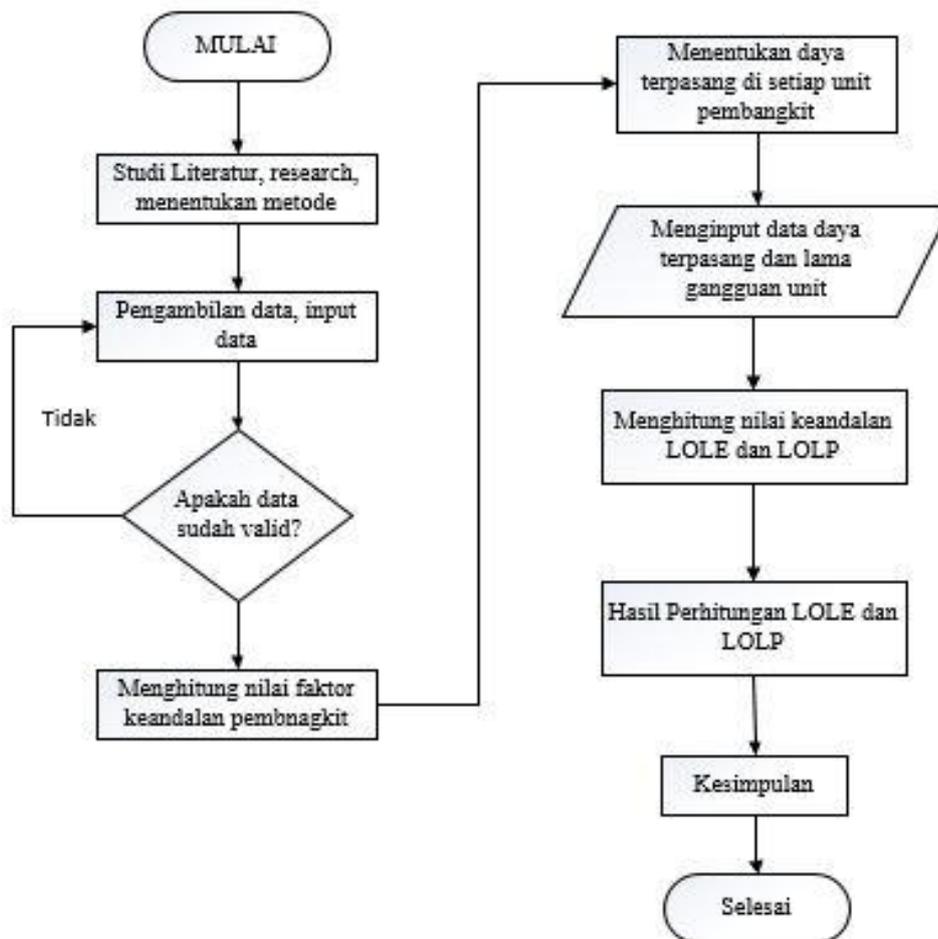


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada penelitian yang akan dilakukan yaitu Studi Analisis Sistem Keandalan Pembangkit pada PLTD Sei Raya Menggunakan Sistem Perhitungan *Loss of Load Expectation* (LOLE) dan *Loss of Load Probability* (LOLP) terdapat diagram alir, dimana diagram alir adalah alur dari semua proses yang akan dilakukan oleh peneliti untuk memberi alur atau proses apa saja yang akan dilakukan. Berikut ini adalah diagram alir yang berbentuk flowchart untuk penelitian keandalan sistem tenaga untuk perhitungan *Loss of Expectation* (LOLE) dan *Loss of Probability* (LOLP).



Gambar 3.1 Flowchart Perhitungan LOLE dan LOLP

Terdapat beberapa penjelasan alur flowchart yang tertera diatas, berikut ini beberapa penjelasan flowchart diatas :

1. Studi literatur Penelitian diawali dengan melakukan pengumpulan bahan literatur dan informasi yang berkaitan dengan keandalan pembangkit tenaga listrik, serta melakukan penentuan masalah serta metode yang akan digunakan.
2. Pengambilan data Untuk melakukan analisis dibutuhkan data yang bersumber dari pembangkit, data yang dibutuhkan berupa: kapasitas unit pembangkit; data jam gangguan; data beban selama setahun.
3. Menentukan nilai faktor keandalan pembangkit Apabila data yang diperlukan telah lengkap dan dapat dikatakan valid maka dapat dilakukan perhitungan faktor keandalan pembangkit berupa faktor beban, faktor penggunaan, dan faktor gangguan keluar paksa berupa nilai FOR dengan persamaan kemudian melakukan analisis data berdasarkan faktor keandalan tersebut.
4. Menentukan kapasitas terpasang dimana disini terdapat nilai daya terpasang disetiap unit pembangkit.
5. Memasukkan data daya terpasang setiap unit dengan nilai gangguan pertahun yang dialami setiap unit pembangkit setiap bulan dalam satu tahun.
6. Menghitung nilai keandalan Untuk mendapatkan nilai keandalan LOLE dan LOLP dapat yang dinyatakan dalam hari per tahun.
7. Menemukan hasil dari perhitungan LOLE dan LOLP menggunakan Matlab 2019b dengan andal atau tidak nya hasil dari pembangkit listrik tersebut.
8. Kesimpulan Setelah melakukan analisis hasil terhadap nilai keandalan maka selanjutnya dapat ditentukan kesimpulan berdasarkan hasil yang telah dianalisis sebelumnya, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.2 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, perhitungan dilakukan berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari PLTD Sei raya. Data yang didapat merupakan data langsung dari Sistem Pembangkit Energi Diesel PLTD Sei Raya pada tahun 2023. Data tersebut kemudian di proses menggunakan metode perhitungan LOLE dan LOLP untuk mengetahui keandalan pembangkit tersebut, kemudian data dijalankan melalui perangkat lunak MATLAB2019b.

3.3 Sistem Pembangkit Listrik Diesel Sei Raya

Sistem Pembangkit Energi Listrik Diesel Sei Raya adalah PLTD terbesar ketiga yang di bangun oleh PT PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat setelah PLTD Cemara (sudah tidak beroperasi) dan PLTD Siantan. Untuk saat ini PLTD Sei Raya merupakan salah satu unit pembangkit dibawah PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Kapuas. Unit pembangkit lain nya adalah (PLTD) Siantan, Pusat Listrik (PLTG) Siantan dan Pusat Listrik (PLTD) Singkawang.

PLTD Sei Raya di bangun pada tahun 1987 dengan jumlah mesin sebanyak 4 unit dengan merk SWD 16 TM 410 dengan kapasitas masing-masing mesin sebesar 8.800 kW sehingga total daya terpasang sebesar 35.200 Kw.

Seiring perkembangannya waktu, daya yang dibutuhkan pada system kelistrikan khatulistiwa sangat bertambah, maka pada tahun 1993 PLTD Sei Raya mendapat tambahan mesin sebanyak 2 unit yaitu mesin dengan Merk Sulzer 12 ZAV 40 S dengan kapasitas masing-masing 7.600 kW sehingga total daya terpasang bertambah jadi 50.400 kW.

Seiring berjalannya waktu beberapa mesin pembangkit mengalami kerusakan dan dinyatakan mesin pembangkit tidak dapat beroperasi lagi atau mati secara permanent. Saat ini PLTD Sei Raya hanya menggunakan 4 mesin Pembangkit yaitu 2 mesin pembangkit dengan merk SWD dan 2 mesin pembangkit merk Sulzer.

Sekarang PLTD Sei Raya hanya menghasilkan listrik sebesar 32.800 kW. Pada penelitian kali ini memfokuskan pada system kerja pembangkit dengan data yang tertera pada table – table yang berisi data yang telah di dapatkan.

3.4 Kapasitas Mesin Pembangkit 2023

Di PLTD Sei Raya terdapat 6 unit mesin pembangkit listrik tenaga diesel. Penelitian ini memfokuskan untuk sistem keandalan pembangkit yang dioperasikan oleh PT PLN Khatulistiwa, khususnya pada wilayah sungai raya dan sekitarnya. Pada PLTD Sei raya ini untuk saat ini terdapat 4 unit mesin yang masih beroperasi hingga saat ini. Untuk ke 4 unit mesin tersebut memiliki spesifikasi masing-masing seperti tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kapasitas Mesin Pembangkit PLTD Sei Raya Tahun 2023

MESIN	TAHUN	TYPE	No Seri	Daya Mesin	Daya Mampu	Status
SWD	1986	16TM410	3664	8.800	6.300	OPERASI
SWD	1986	16TM410	3674	8.800	6.300	OPERASI
SULZER	1993	12ZAV40S	740169	7.600	6.000	OPERASI
SULZER	1993	12ZAV40S	740170	7.600	6.000	OPERASI

Pada tabel tersebut dijelaskan bahwa terdapat 4 unit mesin dengan 2 merek yang berbeda. Untuk mesin unit satu dan dua terdapat jenis mesin SWD dengan type 16TM410 seri 3664 dan 3674 dengan kapasitas daya mesin 8.800 kW dengan daya mampu yang dihasilkan sebesar 6.300 kW. Kemudian untuk mesin unit lima dan enam terdapat mesin dari Jerman yaitu Sulzer dengan type 12ZAV40S dengan seri 7410169 dengan kapasitas daya mesin sebesar 7.600 kW dengan daya mampu yang dihasilkan sebesar 6.000 kW. Keempat mesin tersebut berstatus operasi atau aktif.

3.5 Data Jam Kerja Unit PLTD Sei Raya Tahun 2023

Pada penelitian ini, terdapat data jam kerja pemnagkit setiap unit yang beroperasi selama satu tahun. Data pada tabel 3.2 merupakan data jam kerja pembangkit pada tahun 2023.

Tabel 3.2 Data Jam Kerja Unit Bulan Januari – Juni Tahun 2023

MESIN	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MEI	JUN.
SWD 2	7,68	12	4,38	4	12,85	8
SWD 4	8,32	36	11,27	0	4,17	3
SULZER 1	6,08	37	7,28	14	34,08	7
SULZER 2	5,55	39	22,48	23	30,13	0

Tabel 3.3 Data Jam Kerja Unit bulan Juli – Desember Tahun 2023

JUL.	AGUST.	SEPT.	OKT.	NOV.	DES.	TOTAL
37	89,27	148,87	71	52,25	98	545
34	66,55	89,32	87	86,20	107	533
43	104,65	158,60	71	90,05	156	729
21	104,85	174,55	92	94,57	152	759

Pada tabel diatas untuk mesin SWD 2 beroperasi selama 545 jam pertahunnya. Untuk mesin SWD 4 beroperasi selama 533 jam pertahunnya. Pada mesin unit Sulzer beroperasi selama 729 jam pertahunnya. Sedangkan untuk mesin Sulzer 2 beroperasi 759 jam pertahunnya. Pada keempat unit pembangkit yang beroperasi di PLTD Sei Raya tidak sepenuhnya beroperasi selama 24 jam, hal ini dikarenakan umur mesin yang sudah menua dan terjadinya maintenance pada setiap unit dikarenakan adanya gangguan pada unit tersebut.

3.6 Data Unit Gangguan 2023

Setiap mesin pembangkit mempunyai nilai gangguan, dengan adanya gangguan tersebut di setiap unit maka mesin pembangkit melakukan maintenance terhadap gangguan yang terjadi di setiap mesin pembangkit. Maintenance mesin yang dilakukan tidaklah sebentar dan memakan waktu yang lama, maka berikut ini adalah jumlah jam yang dilakukan untuk maintenance pada setiap unit mesin dalam satuan jam selama satu tahun, yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.4 Data Unit Gangguan Bulan Januari – Juni Tahun 2023

MESIN	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MEI	JUN.
SWD 2	0.417	19,62	3,00	1	2,83	0
SWD 4	0	0,00	4,17	0	11,97	0
SULZER 1	0	0,87	4,63	1	0,0	0
SULZER 2	0	0,00	0,00	0	0,0	4

Tabel 3.5 Data Unit Gangguan Bulan Juli – Desember Tahun 2023

JUL.	AGUST.	SEPT.	OKT.	NOV.	DES.	TOTAL
2	10,82	9,28	44	63,07	41	197
3	7,30	145,33	0	3,17	28	203
0	6,58	3,48	195	0,00	1	212
38	0,45	0,00	1	0,00	1	45

Pada tabel data gangguan unit pada tahun 2023 diatas selama satu tahun, dapat dilihat pada mesin SWD 2 memiliki nilai gangguan selama 197 jam/tahun. Pada mesin SWD 4 memiliki nilai gangguan selama 203 jam/tahun. Pada mesin SULZER 1 memiliki nilai gangguan selama 212 jam/tahun. Sedangkan pada mesin SULZER 2 memiliki nilai gangguan selama 45 jam/ tahun. Disini dapat dilihat pada mesin SULZER 1 memiliki nilai gangguan yang tinggi yaitu senilai 212 jam/ tahun, sedangkan pada mesin SULZER 2 memiliki nilai gangguan yang paling rendah yaitu 45 jam/tahun. Data ini di buat untuk tahun 2023.

3.7 Program Perhitungan LOLE dan LOLP Menggunakan MATLAB 2019b

Dalam metode yang dilakukan pada penelitian sistem keandalan ini, disini menggunakan aplikasi MATLAB 2019b dimana pada penelitian ini terdapat sebuah program untuk perhitungan *Loss of Load Expectation* (LOLE) dan *Loss of Load Probability* (LOLP) yang dimana program ini akan menghasilkan sebuah nilai indeks keandalan sistem pembangkit pada PLTD Sei Raya.

Berikut ini beberapa penjelasan program yang ada didalam perhitungan *Loss of Load Expectation (LOLE)* dan *Loss of Load Probability (LOLP)*.

```
% Inisialisasi variabel
num_units = 4;
U = zeros(num_units, 4); % Matriks untuk menyimpan data unit
Capout = zeros(1, num_units); % Matriks untuk menyimpan kapasitas padam
```

Gambar 3.2 *Script* Inisialisai Variable

Pada Program Matlab diatas merupakan inisialisasi variabel untuk memulai simulasi perhitungan yang melibatkan beberapa jumlah unit mesin pembangkit. Untuk ‘ % Inisialisasi variabel’ tidak berpengaruh pada program yang akan dijalankan. Untuk matrix ‘num_units’ adalah variabel yang digunakan untuk menentukan jumlah unit yang akan digunakan. Jumlah unit yang akan digunakan sebanyak 4 unit mesin, maka pada program di input angkat 4.

Pada matriks “U = zeros (num_units, 4)” untuk matix “U” dengan menggunakan fungsi zeros untuk membuat matriks berukuran 4X4, dikarenakan “num_units” baris dan 4 kolom. Matriks ini digunakan untuk menyimpan data yang terkait dari unit-unit tersebut.

Pada matriks “Capout” dengan menggunakan fungsi “zeros” untuk membuat matriks berukuran 1X4 dikarenakan “1Xnum_units” yang dimana matriks berukuran 1X4. Matriks ini digunakan untuk menyimpan kapasitas padam dari masing-masing unit.

Dalam program ini melakukan inisialisasi beberapa variabel yang digunakan pada perhitungan yang melibatkan 4 unit mesin. Dimana “U” matriks yang menyimpan data setiap unit, sedangkan capout merupakan matiks yang menyimpan informasi kapasitas padam pada setiap unit pembangkit.

Program Matlab berikut ini berfungsi untuk mengumpulkan data dari pengguna untuk beberapa unit mesin pembangkit dan kemudian menghitung parameter penting yaitu Forced Outage Rate (FOR) untuk setiap unit.

```

% Input data untuk setiap unit
for i = 1:num_units
    fprintf('Unit %d\n', i);
    U(i, 1) = input('Kapasitas Unit (MW): ');
    U(i, 2) = input('Lama Gangguan (menit): ');

    % Menghitung FOR dan PI
    U(i, 3) = (U(i, 2) / 60) / (24 + U(i, 2) / 60);
    U(i, 4) = 1 - U(i, 3);
end

```

Gambar 3.3 *Script* Program Input Data Unit

Pada program Matlab diatas loop ‘for’ akan berjalan dari ‘i=1’ hingga ‘i=num_units’, ‘num_units’ merupakan jumlah unit yang sudah di inialisasi pada program sebelumnya. Loop ini memastikan apakah operasi dilakukan disetiap unit.

Matriks ‘f print’ memiliki fungsi untuk mencetak ke konsol nomor unit saat ini. Matriks ini juga membantu pengguna untuk mengetahui unit mana yang sedang diinput datanya. Untuk fungsi matriks ‘Input’ digunakan untuk meminta pengguna memasukkan nilai kapasitas setiap unit dalam satuan megawatt (MW). Kemudian nilai disimpan di kolom pertama (kolom indeks 1) dari baris ke-i matriks ‘U’.

Program ini digunakan untuk mengumpulkan data dari pengguna untuk setiap unit terkait kapasitas dan lama gangguan, kemudian menghitung dua parameter kinerja penting pada setiap unit FOR dan PI. Data tersebut disimpan dalam matriks ‘U’ dengan setiap baris mewakili unit yang berbeda dan kolom mewakili data yang berbeda.

```

% Menghitung kapasitas padam untuk setiap unit
for K = 1:num_units
    Capout(K) = sum(U(1:K, 1));
end

```

Gambar 3.4 *Script* Menghitung Kapasitas Padam

Dalam program diatas merupakan sebuah program perhitungan kapasitas padam kumulatif pada setiap unit. 'Capout (k)' pada program merupakan jumlah kapasitas dari unit 1 sampai keunit yang telah ditentukan. Kemudian hasil akan disimpan kedalam vektor 'Capout' yang memiliki ukuran yang sama dengan jumlah unit dimana dituliskan dalam program sebagai 'num_units'.

```

% Menghitung probabilitas untuk setiap skenario
Prob = zeros(1, 2^num_units);
for K = 1:2^num_units
    binary_str = dec2bin(K-1, num_units);
    binary_vec = str2num(binary_str(:));

    % Menghitung probabilitas untuk skenario tertentu
    Prob(K) = prod(U(binary_vec == 1, 4)) * prod(U(binary_vec == 0, 3));
end

```

Gambar 3.5 Script Program Probabilitas

Program matlab diatas adalah program perhitungan probabilitas untuk setiap kerusakan unit dengan menggunakan kombinasi pada setiap unit. Setiap skenario dinyatakan dalam bentuk bilangan biner yang menunjukkan apakah unit sedang berfungsi atau padam.

Probabilitas ini dihitung berdasarkan Performance Indeks (PI) untuk unit yang berfungsi dan Forced Outage Rate (FOR) untuk unit yang padam, kemudian setelah dilakukan perhitungan dan mendapatkan hasil, kemudian hasil perhitungan tersebut akan disimpan kedalam vektor 'Prob'.

```

% Menghitung probabilitas kumulatif
KP = cumsum(Prob);

% Menghitung LOLE dengan memperbaiki kesalahan dimensi
LOLE = sum((1:num_units) .* Capout(1:num_units) .* Prob(1:num_units));

% Menampilkan hasil
fprintf('\nHasil Perhitungan:\n');
fprintf('LOLP: %.6f hari/tahun\n', KP(end));
fprintf('LOLE: %.6f hari/tahun\n', LOLE);

```

Gambar 3.6 Script Perhitungan LOLE dan LOLP

Program ini digunakan untuk menghitung probabilitas kumulatif dari berbagai skenario kerusakan unit dan menghitung Loss of Load Expectation (LOLE). Pada program tersebut fungsi 'cumsum' adalah untuk menghitung jumlah kumulatif dari elemen – elemen dalam vektor 'Prob' yang dimana hasil dari perhitungan tersebut adalah vektor 'KP' yang menyimpan probabilitas kumulatif untuk setiap skenario.

Dalam program diatas terdapat perhitungan LOLE dimana LOLE merupakan matriks penting dalam analisis keandalan sistem tenaga listrik. Perhitungan Lole memberikan estimasi dari jumlah hari dalam setahun dimana beban yang diminta tidak dapat dipenuhi oleh kapasitas pembangkit yang tersedia. Nilai akhir yang dihasilkan dari LOLE adalah estimasi jumlah hari dalam setahun dimana beban yang diminta tidak terpenuhi.

```
% Plot kapasitas padam terhadap jumlah unit
subplot(2, 1, 1);
plot(1:num_units, Capout, 'o-', 'LineWidth', 2);
title('Kapasitas Padam terhadap Jumlah Unit');
ylabel('Kapasitas Padam (MW)');
grid on;

% Plot probabilitas kumulatif
subplot(2, 1, 2);
stairs(1:2^num_units, [KP], 'LineWidth', 2);
title('Probabilitas Kumulatif (KP)');
xlabel('Skenario');
ylabel('KP');
grid on;
```

Gambar 3.7 Script Grafik Hasil Kapasitas Padam dan KP

```

% Plot LOLE
subplot(4, 1, 3);
bar(1, LOLE);
title('Loss of Load Expectation (LOLE)');
ylabel('LOLE (hari/tahun)');
xticks(1);
xticklabels({'LOLE'});
grid on;

% Plot LOLP
subplot(4, 1, 4);
bar(1, LOLP);
title('Loss of Load Probability (LOLP)');
ylabel('LOLP (hari/tahun)');
xticks(1);
xticklabels({'LOLP'});
grid on;

```

Gambar 3.8 *Script* Grafik Hasil LOLE dan LOLP

Program diatas merupakan sebuah program untuk menampilkan hasil grafik dan hasil akhir perhitungan Loss of Load Expectation dan Loss of Load Probability dari program yang telah dirunning.