

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah studi kasus dengan pendekatan kuantitatif deskriptif, karena penelitian difokuskan pada satu objek, yaitu Pemutus Tenaga (PMT) 70 kV T/L Bay Driyorejo di Gardu Induk Miwon. Data hasil pengujian yang bersifat kuantitatif dianalisis melalui perbandingan terhadap standar, analisis tren, serta peramalan usia PMT. Hasil analisis tersebut kemudian dideskripsikan untuk mengetahui kondisi aktual peralatan dan memberikan rekomendasi teknis yang mendukung keandalan sistem transmisi.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dan pengumpulan data penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 April - 25 Mei 2025 di Gardu Induk Driyorejo, Jalan Raya Semabung, Kecamatan Driyorejo, Kabupaten Gresik.

### **3.3 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan mencari teori – teori pendukung dalam landasan pemilihan tugas akhir ini baik melalui buku dan sumber – sumber di internet ataupun penelitian terdahulu atau jurnal.

### **3.4 Teknik Pengumpulan Data**

#### **3.4.1 Observasi Langsung**

Melalui teknik ini, data yang dibutuhkan terutama mengenai gambaran umum dari objek yang diamati, didokumentasikan, dan digunakan sebagai bahan untuk melakukan wawancara. Selain itu, pada tahap observasi juga dikumpulkan data sekunder berupa hasil pengujian PMT 70 kV T/L bay Driyorejo di Gardu Induk Miwon pada pemeliharaan rutin dua tahunan periode 2015-2025 (bukan simulasi). Data tersebut meliputi parameter tahanan kontak, tahanan isolasi, keserempakan kontak, serta kualitas gas SF<sub>6</sub>, yang digunakan untuk mengetahui kondisi dan performa pemutus tenaga (PMT) dari waktu ke waktu sebagai dasar analisis dalam penelitian ini.

#### **3.4.2 Wawancara**

Dalam teknik ini dilakukan tanya jawab secara langsung berdasarkan data hasil observasi lapangan, kepada petugas gardu induk Driyorejo yang kompeten di bidangnya, selain itu juga dilakukan tanya jawab dengan dosen

pembimbing tugas akhir baik di dalam wawancara terpisah maupun di dalam grup diskusi terarah.

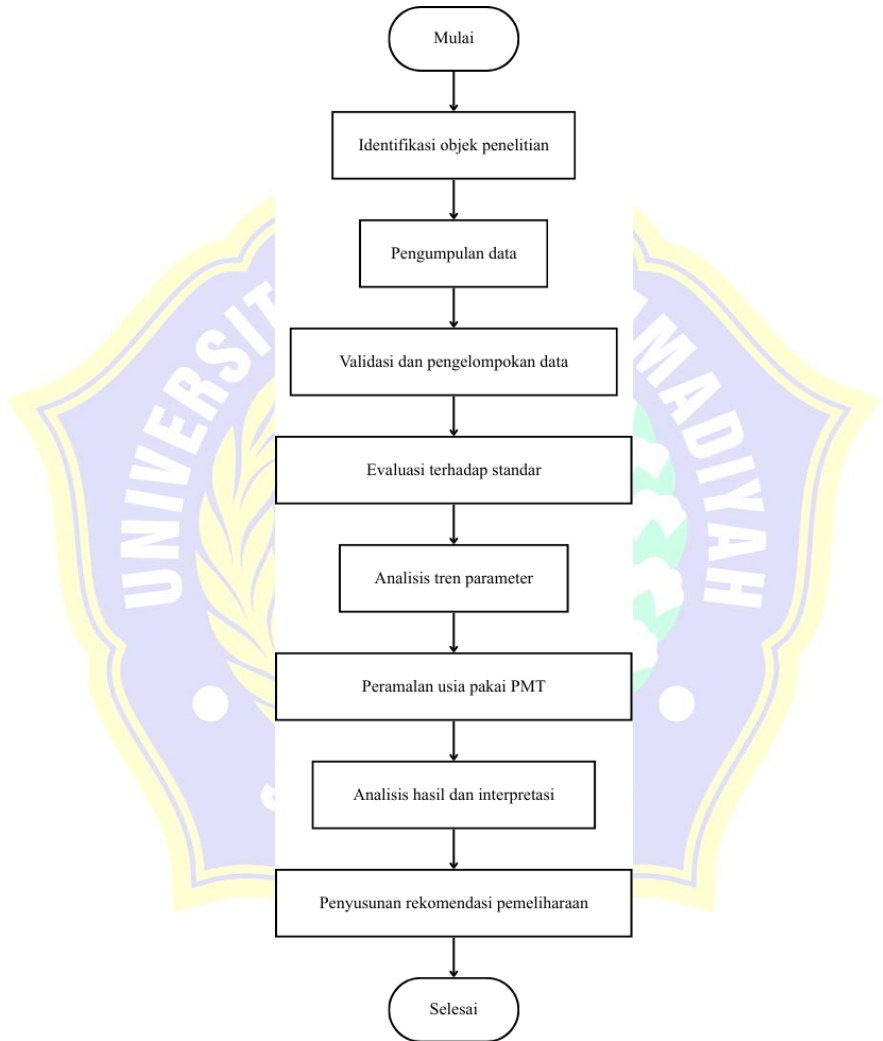
### **3.5 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas (x) dan variabel terikat (y). Variabel bebas yang digunakan adalah waktu pengujian PMT, sedangkan variabel terikat berupa parameter hasil pengujian, meliputi tahanan kontak, tahanan isolasi, keserempakan kontak, dan kualitas gas SF<sub>6</sub> PMT. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, serta kualitas gas SF<sub>6</sub> yang ditunjukkan oleh kandungan SO<sub>2</sub>. Pemilihan parameter tersebut didasarkan pada perannya sebagai indikator utama degradasi sistem isolasi, kondisi kontak, dan kinerja mekanik PMT, yang secara langsung berpengaruh terhadap keandalan operasi peralatan. Hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk mengetahui tren perubahan kondisi peralatan.



### 3.6 Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.1.



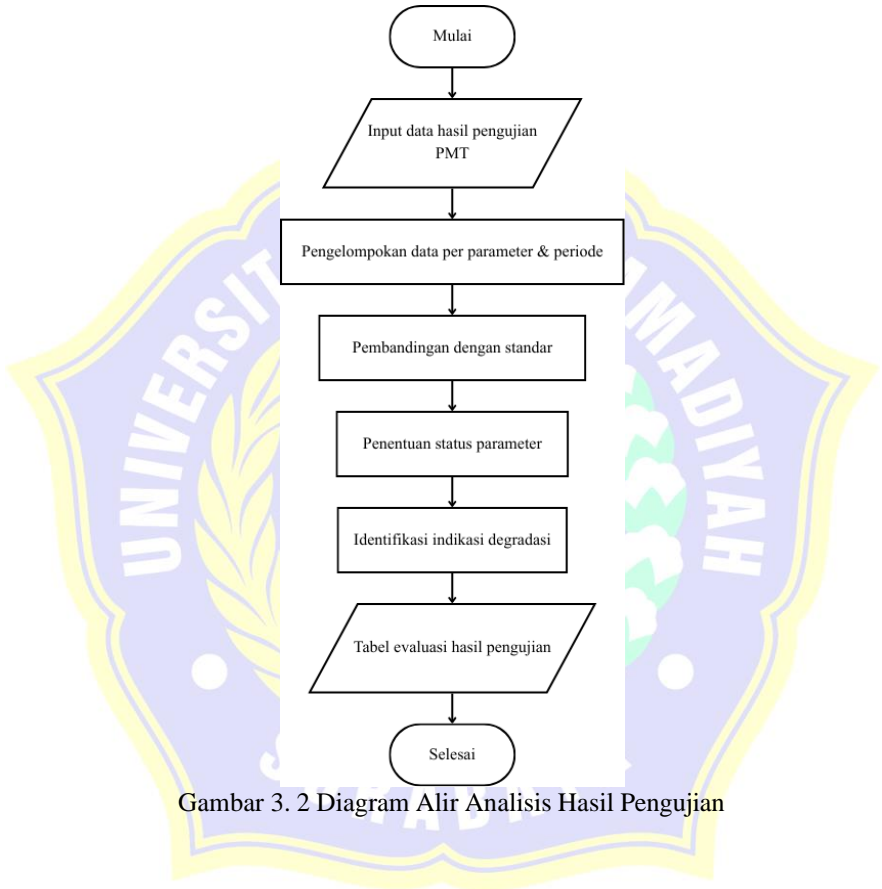
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Keterangan :

1. Mulai  
Menandai awal pelaksanaan rangkaian proses penelitian.
2. Identifikasi Objek Penelitian  
Menentukan objek penelitian secara jelas, yaitu PMT 70 kV T/L Bay Driyorejo di Gardu Induk Miwon, sebagai dasar seluruh proses analisis.
3. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data sekunder hasil pengujian pemeliharaan rutin periode 2015–2025 tanpa simulasi maupun asumsi tambahan.
4. Validasi dan Pengelompokan Data  
Melakukan pemeriksaan kelengkapan data serta pengelompokan berdasarkan parameter dan periode waktu sebelum dianalisis.
5. Evaluasi terhadap Standar  
Membandingkan nilai hasil pengujian dengan standar yang berlaku untuk mengetahui status kondisi masing-masing parameter.
6. Analisis Tren Parameter  
Menganalisis kecenderungan perubahan nilai parameter terhadap waktu menggunakan metode regresi linear.
7. Peramalan Usia Pakai PMT  
Melakukan peramalan kecenderungan usia pakai PMT berdasarkan hasil regresi linear, dengan regresi polinomial orde 3 sebagai pembanding.
8. Analisis Hasil dan Interpretasi  
Menafsirkan hasil evaluasi standar, analisis tren, dan peramalan untuk mengidentifikasi parameter yang berpotensi kritis.
9. Penyusunan Rekomendasi Pemeliharaan  
Menyusun rekomendasi pemeliharaan berdasarkan hasil analisis dan peramalan yang telah dilakukan.
10. Selesai  
Menandai akhir dari keseluruhan proses penelitian.

### 3.7 Tahapan Analisis Hasil Pengujian

Untuk memperjelas metode analisis hasil pengujian, digunakan Diagram Alir Tahapan Analisis Hasil Pengujian PMT sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2.



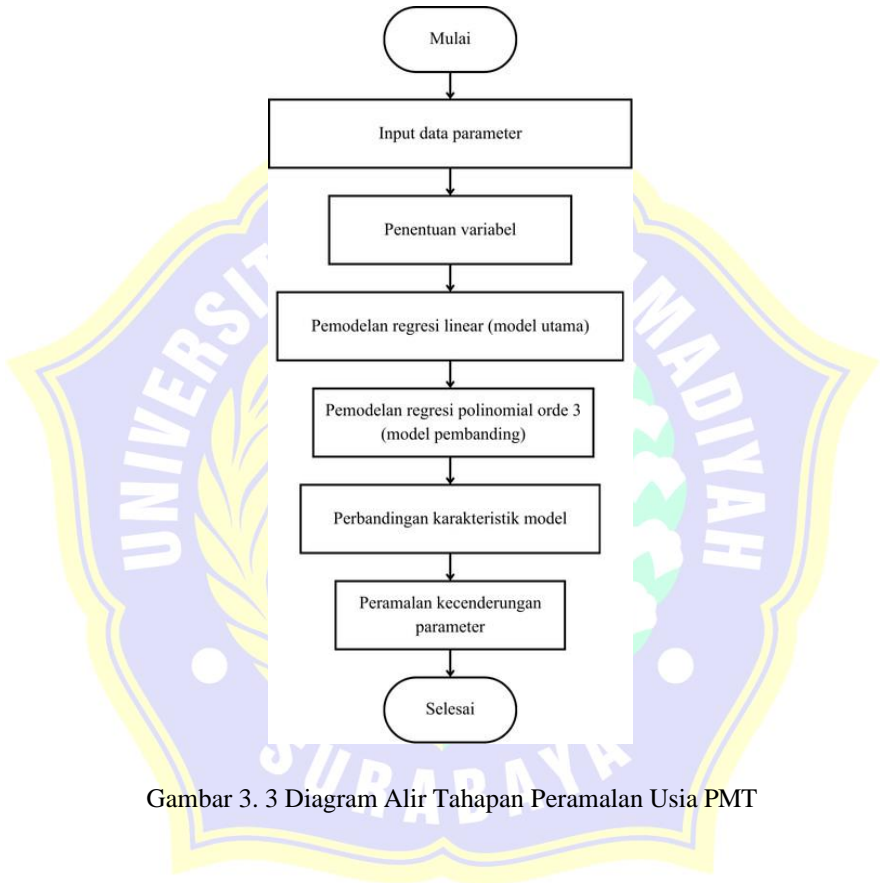
Gambar 3. 2 Diagram Alir Analisis Hasil Pengujian

#### Keterangan

1. Mulai  
Tahap awal proses analisis.
2. Input Data Hasil Pengujian PMT  
Memasukkan data hasil pengujian parameter PMT yang meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan kandungan SO<sub>2</sub> gas SF<sub>6</sub>.
3. Pengelompokan Data per Parameter dan Periode  
Mengelompokkan data berdasarkan jenis parameter dan periode waktu pengujian untuk memudahkan proses analisis selanjutnya.
4. Perbandingan dengan Standar  
Membandingkan nilai hasil pengujian dengan standar yang berlaku, yaitu SKDIR dan standar IEC terkait.
5. Penentuan Status Parameter  
Menentukan status kondisi masing-masing parameter berdasarkan hasil perbandingan terhadap standar, yaitu memenuhi standar atau mendekati batas standar.
6. Identifikasi Indikasi Degradasi  
Mengidentifikasi adanya indikasi degradasi berdasarkan status parameter dan kecenderungan nilai hasil pengujian.
7. Output : Tabel Evaluasi Hasil Pengujian  
Menyajikan hasil analisis dalam bentuk tabel evaluasi kondisi parameter PMT.
8. Selesai  
Proses analisis berakhir.

### 3.8 Tahapan Analisis Peramalan Usia PMT

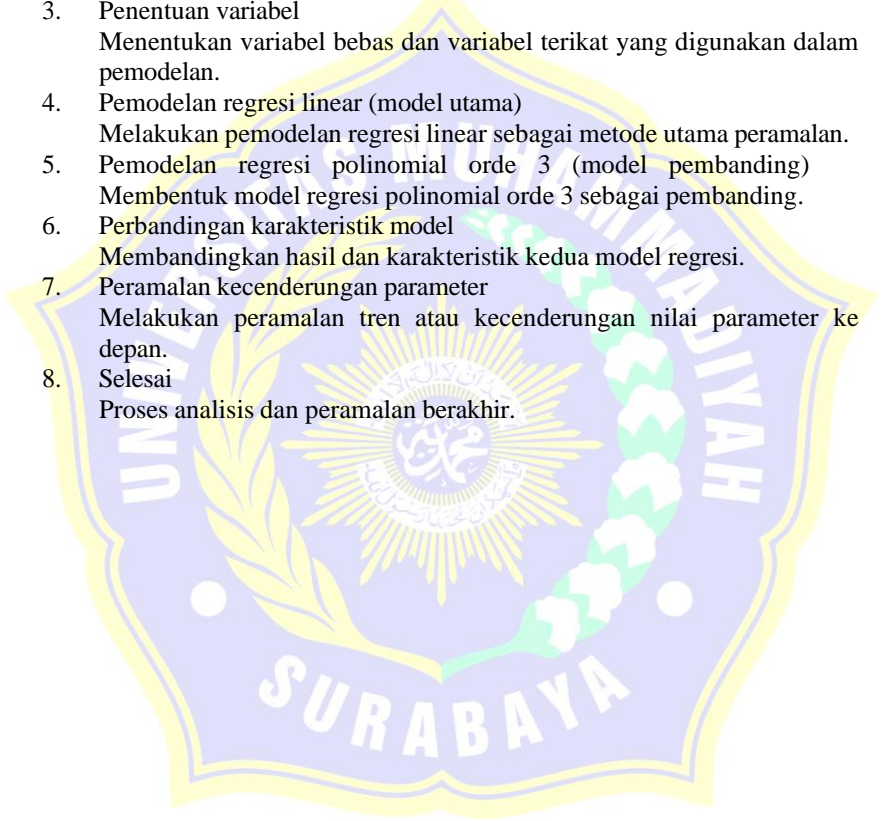
Tahapan analisis peramalan usia PMT dijelaskan secara lebih rinci melalui diagram alir tahapan peramalan usia PMT pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Peramalan Usia PMT

Keterangan:

1. Mulai  
Tahap awal proses analisis.
2. Input data parameter  
Memasukkan data hasil pengujian PMT berdasarkan parameter yang dianalisis, yaitu tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan kualitas gas SF<sub>6</sub> (kandungan SO<sub>2</sub>).
3. Penentuan variabel  
Menentukan variabel bebas dan variabel terikat yang digunakan dalam pemodelan.
4. Pemodelan regresi linear (model utama)  
Melakukan pemodelan regresi linear sebagai metode utama peramalan.
5. Pemodelan regresi polinomial orde 3 (model pembanding)  
Membentuk model regresi polinomial orde 3 sebagai pembanding.
6. Perbandingan karakteristik model  
Membandingkan hasil dan karakteristik kedua model regresi.
7. Peramalan kecenderungan parameter  
Melakukan peramalan tren atau kecenderungan nilai parameter ke depan.
8. Selesai  
Proses analisis dan peramalan berakhir.



### **3.9 Metode Analisis Data**

Metode analisis data dalam penelitian ini disusun secara bertahap untuk memastikan bahwa evaluasi kondisi, analisis tren, dan peramalan usia pakai PMT dilakukan secara sistematis dan berbasis data hasil pengujian pemeliharaan. Tahapan analisis data yang digunakan terdiri dari evaluasi terhadap standar, analisis tren parameter, dan peramalan usia pakai PMT.

#### **3.9.1 Penentuan Standar Pengujian**

Standar yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada standar internasional serta standar internal yang berlaku di PLN. Acuan standar tahanan isolasi menggunakan VDE Catalogue 228/4, sedangkan standar tahanan kontak mengacu pada SKDIR 0520 PLN. Standar keserempakan kontak mengacu pada ketentuan teknis dari produsen serta praktik pemeliharaan yang diterapkan di PLN. Sementara itu, standar kualitas gas SF<sub>6</sub>, khususnya kandungan SO<sub>2</sub>, mengacu pada IEC 60480. Penggunaan standar-standar tersebut bertujuan agar proses pengujian dan evaluasi kondisi PMT dapat dilakukan secara objektif serta sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku.

#### **3.9.2 Evaluasi terhadap Standar**

Tahap evaluasi terhadap standar bertujuan untuk menilai kondisi operasional PMT berdasarkan hasil pengujian pemeliharaan rutin. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai hasil pengujian setiap parameter terhadap batas toleransi yang ditetapkan dalam SKDIR-0520/2014 serta standar teknis terkait lainnya yang relevan. Parameter yang dievaluasi meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan kandungan SO<sub>2</sub> pada gas SF<sub>6</sub>. Hasil perbandingan ini digunakan untuk menentukan status masing-masing parameter apakah masih memenuhi standar, mendekati batas toleransi, atau menunjukkan indikasi penurunan kinerja. Tahap ini menghasilkan tabel evaluasi hasil pengujian yang menjadi dasar analisis pada tahap selanjutnya.

#### **3.9.3 Analisis Tren Parameter**

Analisis tren parameter dilakukan untuk mengetahui kecenderungan perubahan nilai parameter pengujian PMT terhadap waktu atau periode pemeliharaan. Pada tahap ini, waktu atau periode pemeliharaan digunakan sebagai variabel bebas (x), sedangkan nilai parameter pengujian digunakan sebagai variabel terikat (y). Metode analisis tren yang digunakan adalah regresi linear, karena mampu merepresentasikan kecenderungan perubahan parameter secara sederhana dan stabil dalam rentang waktu pengamatan yang

panjang. Persamaan regresi linear digunakan untuk menggambarkan arah dan laju perubahan parameter, dimana tanda dan besar kemiringan (slope) garis regresi menunjukkan kecenderungan degradasi atau kestabilan kondisi PMT. Hasil analisis tren disajikan dalam bentuk grafik dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan peramalan usia pakai PMT.

### **3.9.4 Penentuan Model Regresi**

#### **1. Uji Kecukupan Data**

Uji kecukupan data dilakukan untuk memastikan bahwa jumlah dan rentang data historis hasil pengujian PMT telah memenuhi syarat untuk dilakukan analisis tren dan peramalan. Dalam penelitian ini digunakan data hasil pemeliharaan rutin PMT dengan interval dua tahunan pada periode 2015–2025, sehingga diperoleh sebanyak 6 titik data pengujian untuk setiap parameter. Selain itu, rentang waktu pengamatan selama 10 tahun dinilai cukup untuk merepresentasikan kecenderungan perubahan kondisi PMT terhadap usia operasionalnya. Dengan demikian, data yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan cukup untuk dilakukan analisis tren dan peramalan usia pakai PMT.

#### **2. Uji Korelasi**

Uji korelasi Pearson digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara usia Pemutus Tenaga (PMT) sebagai variabel bebas dengan parameter kondisi PMT sebagai variabel terikat. Uji ini bertujuan untuk mengetahui arah dan tingkat keeratan hubungan linier antar variabel sebagai dasar pemilihan metode analisis lanjutan.

Perhitungan koefisien korelasi Pearson dilakukan secara otomatis menggunakan Microsoft Excel dengan fungsi =CORREL, dimana setiap parameter kondisi PMT diuji secara individual terhadap usia PMT. Parameter yang memiliki nilai koefisien korelasi yang menunjukkan hubungan linier digunakan sebagai variabel dalam pemodelan regresi linear.

Berdasarkan hasil uji korelasi tersebut, metode regresi linear dipilih untuk memodelkan hubungan antara usia PMT dan parameter kondisi yang memiliki korelasi linier, sehingga model regresi yang diperoleh dapat digunakan untuk melakukan peramalan kecenderungan kondisi PMT dan estimasi usia pakai pada periode operasi berikutnya.

Model regresi linear dipilih sebagai metode utama dalam meramalkan usia PMT karena penurunan kualitas peralatan listrik umumnya berlangsung secara bertahap dan menunjukkan pola perubahan yang relatif lurus terhadap waktu. Regresi polinomial orde 3 digunakan sebagai metode pengecekan untuk menguji sejauh mana model sensitif terhadap perubahan data, tetapi tidak dijadikan metode utama karena berisiko memberikan prediksi yang tidak konsisten dalam jangka waktu yang lebih panjang.

### **3.9.5 Peramalan Usia Pakai PMT**

Peramalan usia pakai PMT dilakukan untuk memperkirakan kecenderungan kondisi PMT pada periode operasi berikutnya berdasarkan hasil analisis tren parameter pengujian. Regresi linear digunakan sebagai model utama peramalan, karena memberikan kecenderungan perubahan parameter yang lebih stabil dan representatif untuk peramalan jangka panjang. Sebagai pembandingan, digunakan regresi polinomial orde tiga untuk mengevaluasi pengaruh perubahan nonlinier pada data historis. Meskipun regresi polinomial mampu mengikuti fluktuasi data dengan lebih sensitif, model ini memiliki keterbatasan dalam peramalan jangka panjang sehingga tidak digunakan sebagai model utama. Hasil peramalan digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan parameter pengujian mendekati batas toleransi standar dan sebagai dasar penyusunan rekomendasi teknis pemeliharaan PMT.

Peramalan usia pakai PMT dilakukan dengan memanfaatkan model regresi yang diperoleh pada tahap analisis tren. Regresi linear digunakan sebagai model utama peramalan yang dinyatakan dengan Persamaan 2.1. Sebagai pembandingan, digunakan regresi polinomial orde tiga yang dinyatakan dengan Persamaan 2.4.

Model regresi yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan parameter pengujian dan memberikan estimasi peramalan usia pakai PMT, bukan untuk menentukan umur kegagalan secara pasti.

Sebagai ilustrasi penerapan metode regresi linear, digunakan contoh data hasil pengujian tahanan isolasi terminal atas-bawah fasa R disajikan dalam tabel sebagai dasar pembentukan model regresi linear seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perhitungan Parameter Regresi Linear Tahanan Isolasi (MΩ)

Atas-Bawah				
No.	Tahun (X)	R (Y)	X <sup>2</sup>	XY
1	2015	84000	4060225	1.69E+08
2	2017	1017000	4068289	2.05E+09
3	2019	286000	4076361	5.77E+08
4	2021	304000	4084441	6.14E+08
5	2023	201000	4092529	4.07E+08
6	2025	1000000	4100625	2.03E+09
<b>Σ</b>	<b>12120</b>	<b>2892000</b>	<b>24482470</b>	<b>5.84E+09</b>

Perhitungan nilai koefisien b :

$$b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{6(5843990000) - (12120)(2892000)}{6(12120^2) - (24482470^2)}$$

$$b = 30714,286$$

Perhitungan nilai koefisien a :

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

$$a = \frac{2892000 - (6)(12120)}{6}$$

$$a = -61560857$$

Sehingga persamaan regresi linear untuk tahanan isolasi pada terminal atas-bawah fasa R adalah sebagai berikut.

$$y = a + bx$$

$$y = -61560857 + 30714,286x$$

Untuk tahun 2026 :

$$y = -61560857 + 30714,286(2026)$$

$$y = 666285,71$$

Metode perhitungan yang sama selanjutnya diterapkan pada fasa lainnya dengan menggunakan data historis masing-masing fasa untuk memperoleh hasil peramalan nilai tahanan isolasi.