

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Prediksi Sisa Umur Transformator dengan Long Short Term Memory

Proses prediksi sisa umur transformator 2 dan transformator 5 Gardu Induk Cianjur menggunakan model *Long Short Term Memory* (LSTM) dilakukan dengan meng-*input* dataset *historis* beban, suhu harian dan sisa umur transformator. Pada penelitian ini model LSTM menggunakan dua lapisan utama. Lapisan pertama menggunakan 64 *neuron* dan lapisan kedua adalah lapisan *Dense* dengan 1 *neuron* yang digunakan untuk memprediksi sisa umur. Model LSTM ini menggunakan fungsi *loss* dengan *mean squared error*, optimasi Adam dengan *learning rate* 0.002, *batch size* sebesar 64 dan *Verbose* sebesar 2.

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa percobaan dengan menguji model saat melakukan *training* dan *testing* data. Percobaan ini melibatkan berbagai variasi rasio perbandingan data *training* dan *testing*, jumlah *timesteps*, serta jumlah *epoch*. Rasio perbandingan data *training* dan *testing* yang diuji adalah 70:30 dan 80:20. Jumlah *timesteps* yang diuji adalah 5, 10, dan 15, sedangkan jumlah *epoch* yang diuji adalah 25, 50 dan 75. Percobaan ini bertujuan untuk menemukan model yang paling tepat dengan nilai MSE terkecil untuk memprediksi sisa umur berdasarkan variasi data beban dan suhu minyak. MSE merupakan metrik yang mengukur rata-rata selisih kuadrat antara prediksi model dan nilai aktual. MSE memberikan indikasi mengenai seberapa besar rata-rata kesalahan prediksi model. Semakin kecil nilai MSE, semakin akurat model dalam memprediksi data.

Transformator 2

Hasil pengujian model dengan menggunakan data pada transformator 2 ditunjukkan pada Tabel 5.1.

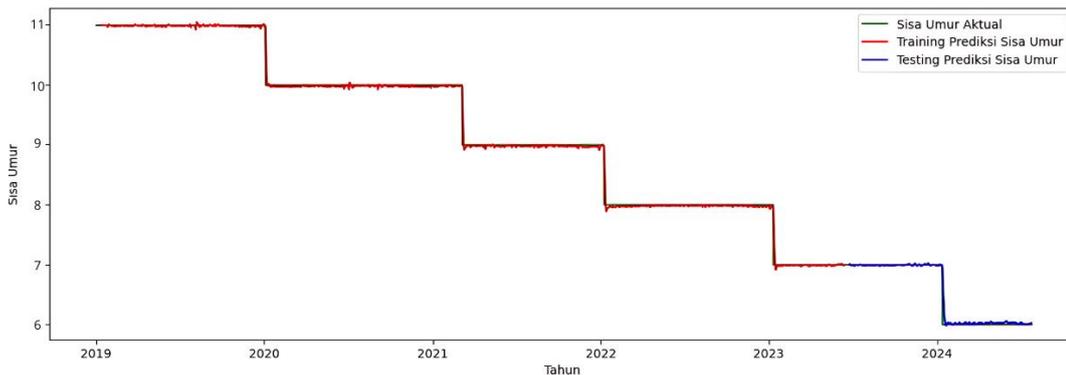
Tabel 5. 1 Hasil pengujian transformator 2.

Timesteps	Epoch	Rasio Training dan Testing	
		7:30	80:20
		MSE	MSE
5	25	0.1899	0.0286
	50	0.0516	0.0569
	75	0.0997	0.0212
10	25	0.0980	0.0546
	50	0.17	0.0064
	75	0.15	0.0049
15	25	0.1534	0.0316
	50	0.0662	0.0060
	75	0.0596	0.0602

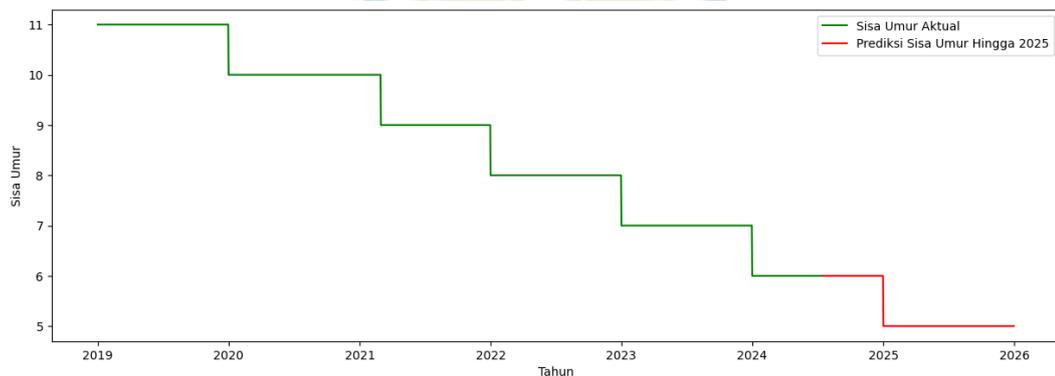
Berdasarkan Tabel 5.1, dapat diketahui berdasarkan hasil pengujian, kombinasi terbaik dengan nilai MSE paling rendah diperoleh pada rasio data 80:20, ukuran *timesteps* 10 dan epoch sebesar 75. Kombinasi ini menghasilkan nilai MSE untuk prediksi sisa umur sebesar 0.0049. Rasio data 80:20 menunjukkan bahwa 80% dari data digunakan untuk *training* model, sementara 20% sisanya digunakan untuk *testing*. Rasio ini penting karena data pelatihan yang lebih banyak memungkinkan model untuk lebih baik dalam mengenali pola dalam data. Namun, data pengujian yang memadai juga diperlukan untuk mengevaluasi kinerja model secara akurat. Rasio 80:20 juga merupakan kombinasi yang sering digunakan karena memberikan keseimbangan yang baik antara jumlah data *training* dan *testing*, sehingga model dapat belajar dengan cukup baik.

Jumlah epoch memiliki pengaruh signifikan terhadap kemampuan model dalam mempelajari data. Jumlah *epoch* yang terlalu sedikit dapat menyebabkan model kurang mengenali pola, sedangkan jumlah epoch yang terlalu banyak dapat menyebabkan *overfitting*. Ukuran *timesteps* 10 berarti model LSTM memproses data dalam jendela waktu yang terdiri dari 10 unit waktu. Ukuran *timesteps* ini mempengaruhi bagaimana model menangkap pola dalam data. Ukuran *timesteps*

yang terlalu kecil mungkin tidak cukup untuk menangkap pola jangka panjang, sementara ukuran *timesteps* yang terlalu besar dapat menyebabkan model menjadi terlalu kompleks dan sulit dilatih. Pada pengujian dengan menggunakan transformator 2 *timesteps* 10 menjadi pilihan dengan nilai MSE paling kecil. Visualisasi hasil prediksi dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.



Gambar 5. 1 Prediksi *training* dan *testing* data transformator 2.



Gambar 5. 2 Prediksi sisa umur transformator 2 hingga tahun 2025.

Berdasarkan Gambar 5.1 menunjukkan hasil prediksi sisa umur Transformator 2 berdasarkan data training dan testing. Dari grafik ini, dapat dilihat bahwa model mampu memprediksi sisa umur transformator dengan cukup baik selama periode *training* dan *testing*, mengikuti pola perubahan yang terlihat dalam data aktual. Hal ini menunjukkan bahwa model LSTM dapat menangkap pola dalam data beban dan suhu minyak yang mempengaruhi umur transformator, sehingga dapat memberikan prediksi yang akurat.

Berdasarkan Gambar 5.2 menunjukkan prediksi sisa umur Transformator 2 hingga tahun 2025. Grafik ini menggambarkan bagaimana model LSTM memproyeksikan sisa umur transformator pada tahun 2025 berdasarkan data beban dan suhu minyak. Dari grafik, dapat dilihat bahwa model memperkirakan adanya penurunan sisa umur menjadi 5 tahun, hal ini dikarenakan transformator mempunyai selalu mempunyai penurunan umur sebanyak satu unit setiap tahunnya. Prediksi ini penting untuk perencanaan pemeliharaan dan penggantian transformator guna memastikan keandalan dan efisiensi operasional di masa depan.

Transformator 5

Hasil pengujian model dengan menggunakan data pada transformator 5 ditunjukkan seperti pada Tabel 5.2.

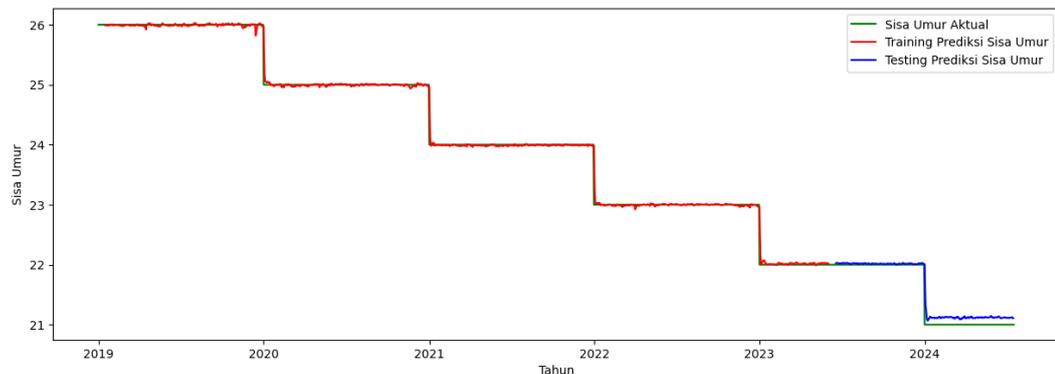
Tabel 5. 2 Hasil pengujian pada transformator 5

<i>Timesteps</i>	<i>Epoch</i>	Rasio Training dan Testing	
		7:30	80:20
		MSE	MSE
5	25	0.2920	0.1322
	50	0.1511	0.0232
	75	0.4698	0.0949
10	25	0.5106	0.1423
	50	0.3808	0.0214
	75	0.3732	0.0756
15	25	0.6249	0.1449
	50	0.4695	0.1911
	75	0.1210	0.0108

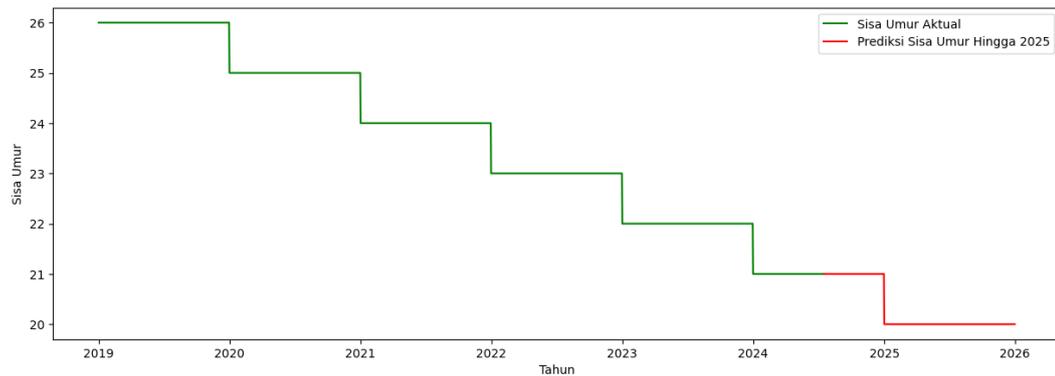
Berdasarkan Tabel 5.2, dapat diketahui berdasarkan hasil pengujian pada transformator 5, kombinasi terbaik dengan nilai MSE paling rendah diperoleh pada rasio data 80:20, ukuran *timesteps* 15, dan *epoch* sebesar 75. Kombinasi ini menghasilkan nilai MSE untuk prediksi sisa umur sebesar 0.0108. Rasio data 80:20 menunjukkan bahwa 80% dari data digunakan untuk *training* model, sementara

20% sisanya digunakan untuk *testing*. Rasio ini penting karena data *training* yang lebih banyak memungkinkan model untuk lebih baik dalam mengenali pola dalam data. Namun, data *testing* yang memadai juga diperlukan untuk mengevaluasi kinerja model secara akurat. Rasio 80:20 juga merupakan kombinasi yang sering digunakan karena memberikan keseimbangan yang baik antara jumlah data pelatihan dan pengujian, sehingga model dapat belajar dengan cukup baik.

Jumlah *epoch* memiliki pengaruh signifikan terhadap kemampuan model dalam mempelajari data. Jumlah *epoch* yang terlalu sedikit dapat menyebabkan model kurang mengenali pola, sedangkan jumlah *epoch* yang terlalu banyak dapat menyebabkan *overfitting*. Ukuran *timesteps* 15 berarti model LSTM memproses data dalam jendela waktu yang terdiri dari 15 unit waktu. Ukuran *timesteps* ini mempengaruhi bagaimana model menangkap pola dalam data. Ukuran *timesteps* yang terlalu kecil mungkin tidak cukup untuk menangkap pola jangka panjang, sementara ukuran *timesteps* yang terlalu besar dapat menyebabkan model menjadi terlalu kompleks dan sulit dilatih. Pada pengujian dengan menggunakan transformator 5, *timesteps* 15 menjadi pilihan dengan nilai MSE paling kecil. Visualisasi hasil prediksi dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



Gambar 5. 3 Prediksi *training* dan *testing* data transformator 5



Gambar 5. 4 Prediksi sisa umur transformator 5 hingga tahun 2025.

Bedasarkan Gambar 5.3, dapat diketahui bahwa model LSTM mampu mengikuti pola perubahan sisa umur transformator dengan cukup baik untuk data training dan testing. Dari grafik 5.4, dapat dilihat bahwa model memperkirakan pada tahun 2025 akan mengalami penurunan sisa umur menjadi 20 tahun, hal ini dikarenakan transformator mempunyai penurunan umur sebanyak satu unit setiap tahunnya. Prediksi ini penting untuk perencanaan pemeliharaan dan penggantian transformator guna memastikan keandalan dan efisiensi operasional.

Prediksi sisa umur ini didasarkan pada variasi data beban dan suhu minyak yang terdapat dalam dataset. Beban dan suhu minyak merupakan faktor-faktor penting yang mempengaruhi kinerja dan umur transformator. Dengan mempertimbangkan variasi data ini, model dapat memberikan prediksi yang lebih akurat mengenai sisa umur transformator. Hal ini menunjukkan bahwa model LSTM mampu menangkap hubungan kompleks antara beban, suhu minyak, dan sisa umur transformator, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih informatif dan berguna.

5.2 Pengaruh Pembebanan Dan Suhu Minyak Terhadap Sisa Umur Transformator

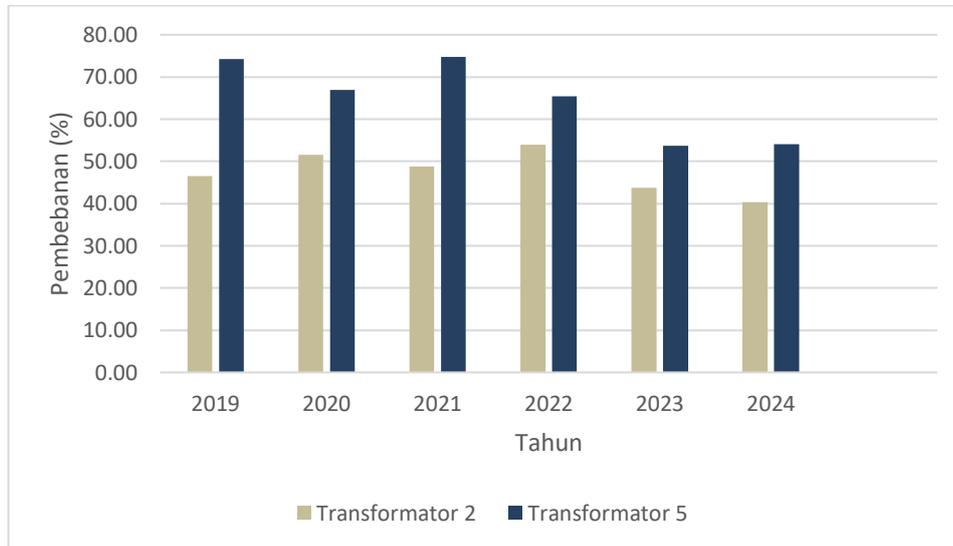
Permasalahan umum yang terjadi pada transformator adalah terjadinya susut umur transformator yang menyebabkan umur operasional transformator sulit di perkirakan yang umumnya terjadi karena pengaruh nilai pembebanan. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh pembebanan dan suhu minyak terhadap umur transformator dengan menggunakan data historis tahun 2019 - 2024

pada dua unit transformator Gardu Induk Cianjur yaitu transformator 2 dan transformator 5. Hasil rekapitulasi data dan perhitungan estimasi umur kedua transformator tertera pada Tabel 5.5.

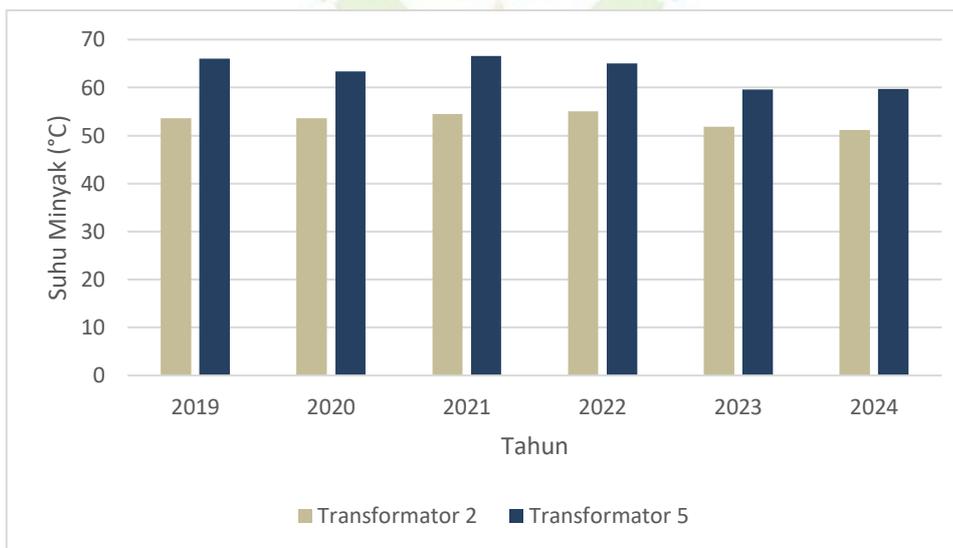
Tabel 5. 3 Rekapitulasi estimasi umur transformator

Tahun	Tranformator 2				Transformator 5			
	Pembebanan (%)	Suhu Minyak (°C)	Susut Umur (p.u)	Sisa Umur (Tahun)	Pembebanan (%)	Suhu Minyak (°C)	Susut Umur (p.u)	Sisa Umur (Tahun)
2019	46.57	53.61	0.0101	11	74.2	66.04	0.0908	26
2020	51.59	53.62	0.0144	10	66.9	63.37	0.0433	25
2021	48.84	54.54	0.0118	9	74.73	66.57	0.0961	24
2022	53.92	55.05	0.0171	8	65.37	65.05	0.0375	23
2023	43.78	51.89	0.0084	7	53.73	59.59	0.0141	22
2024	40.33	51.18	0.0069	6	54.12	59.68	0.0145	21

Berdasarkan tabel 5.5 transformator 2 mempunyai nilai pembebanan dan suhu minyak yang lebih kecil dibandingkan dengan transformator 5. Nilai susut umur pada transformator 2 juga cenderung lebih kecil daripada transformator 5. Transformator 2 mempunyai nilai sisa umur yang lebih kecil dibandingkan transformator 5 karena transformator 2 sudah beroperasi dari 2001, sedangkan transformator 5 sudah beroperasi dari 2016. Hasil visualisasi tabel 5.5 dari kedua transformator dan pengaruh setiap variabel tertera pada Gambar 5.5 hingga Gambar 5.10.



Gambar 5. 5 Grafik perbandingan pembebanan transformator



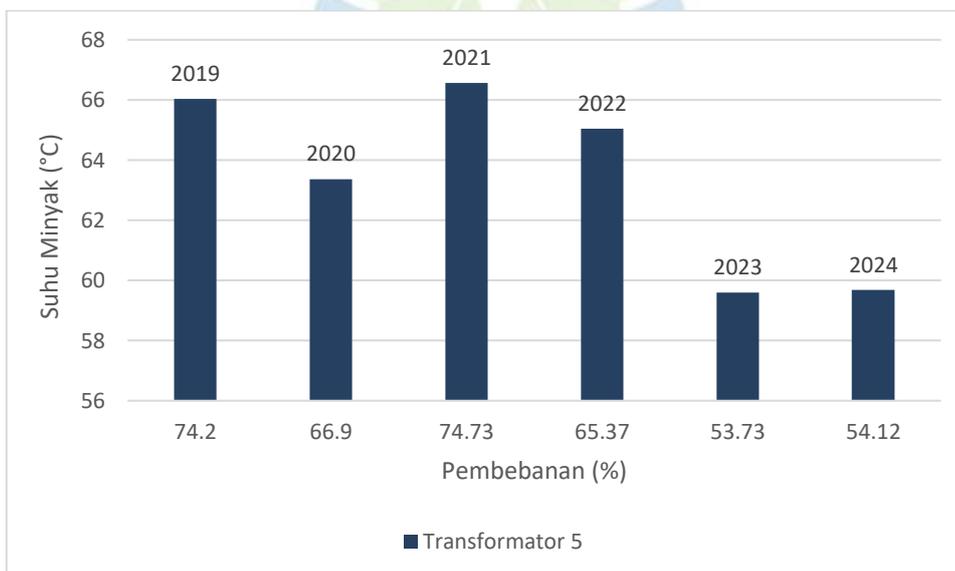
Gambar 5. 6 Grafik perbandingan suhu minyak transformator

Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 menunjukkan perbandingan pembebanan dan suhu minyak pada Transformator 2 dan Transformator 5 di Gardu Induk Cianjur. Besar pembebanan dan suhu minyak pada Transformator 2 lebih kecil dibandingkan dengan Transformator 5. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk permintaan beban listrik di wilayah yang dilayani oleh Transformator 2 yang lebih rendah daripada Transformator 5. Selain itu, Transformator 2 memiliki umur pemakaian yang jauh lebih lama dibandingkan dengan Transformator 5.

Mengoperasikan transformator pada pembebanan yang rendah dapat mengurangi risiko kerusakan, serta memastikan operasi yang lebih aman dan efisien dalam jangka panjang [23].



Gambar 5. 7 Grafik pengaruh pembebanan terhadap suhu minyak tranformator 2



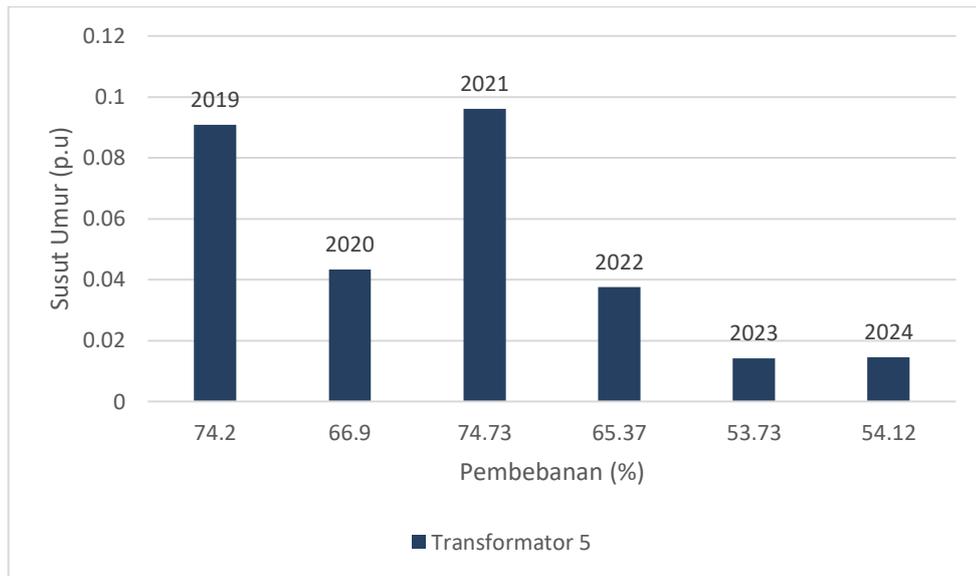
Gambar 5. 8 Grafik pengaruh pembebanan terhadap suhu minyak transformator 5

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8, secara umum, pembebanan pada transformator cenderung menyebabkan peningkatan suhu minyak. Namun, data menunjukkan bahwa suhu minyak tidak selalu meningkat seiring dengan pembebanan yang lebih tinggi. Misalnya, pada Transformator 2, suhu minyak pada tahun 2019 didapat sebesar 53.61°C dengan pembebanan 46.57%. Pada tahun 2020,

suhu minyak sedikit berubah menjadi 53.62°C meskipun pembebanan meningkat menjadi 51.59%. Pada tahun 2021, meskipun pembebanan turun menjadi 48.84%, suhu minyak justru naik menjadi 54.54°C. Hal serupa terjadi pada Transformator 5, di mana suhu minyak pada tahun 2019 sebesar 66.04°C dengan pembebanan 74.2%, tetapi turun menjadi 63.37°C pada tahun 2020 meskipun pembebanan hanya sedikit berkurang menjadi 66.9%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu efisiensi sistem pendinginan dan kualitas minyak yang digunakan. Perawatan rutin yang dilakukan pada transformator, seperti pembersihan dan pengecekan sistem pendinginan, juga dapat mempengaruhi suhu minyak sehingga transformator cenderung memiliki sistem pendinginan yang lebih efektif, yang dapat membantu menjaga suhu minyak tetap stabil meskipun ada perubahan beban [24].



Gambar 5. 9 Grafik pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator 2

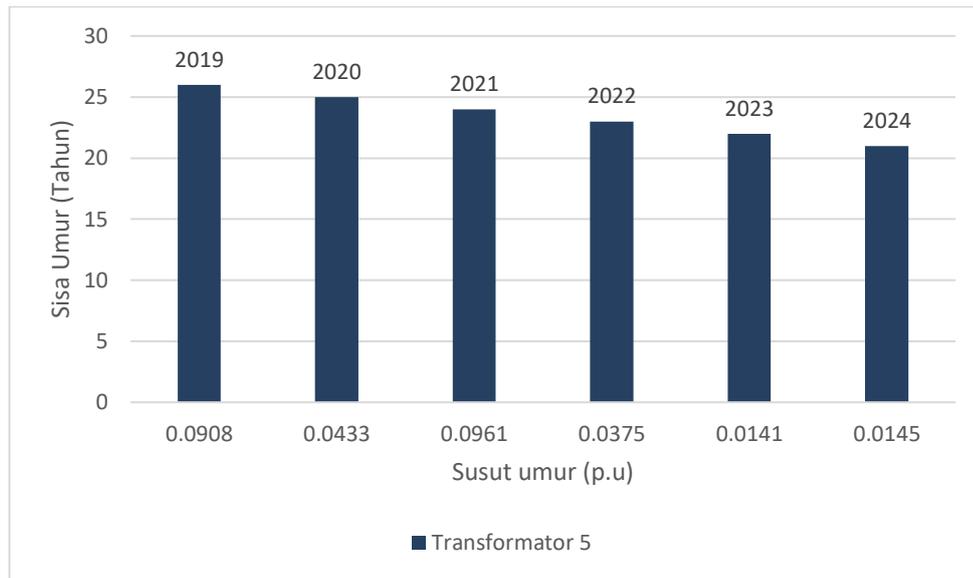


Gambar 5. 10 Grafik pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator 5.

Berdasarkan Gambar 5.9 dan 5.10, terlihat pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator. Pada Gambar 5.9, yang menunjukkan pembebanan pada transformator 2, nilai susut umur tertinggi terjadi pada tahun 2022 sebesar 0.016 p.u dengan nilai pembebanan sebesar 53.92 pada tahun tersebut. Sedangkan pada Gambar 5.10, yang menunjukkan pembebanan pada transformator 5, nilai susut umur tertinggi terjadi pada tahun 2021 sebesar 0.08 p.u. Berdasarkan hal tersebut, besarnya pembebanan pada transformator berbanding lurus dengan besarnya nilai susut umur [25].



Gambar 5. 11 Grafik pengaruh susut umur terhadap sisa umur transformator 2



Gambar 5. 12 Grafik pengaruh susut umur terhadap sisa umur transformator 5

Pembebanan pada transformator berpengaruh pada peningkatan suhu minyak dalam transformator, yang menyebabkan penurunan kualitas material isolasi transformator sehingga menyebabkan susut umur transformator akan bertambah [25]. Semakin besar susut umur yang terjadi maka semakin berkurang sisa umur transformator seperti yang tertera pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, transformator 2 dan transformator 5 Gardu Induk Cianjur mempunyai pembebanan yang relatif rendah sehingga, skema pembebanan yang telah dilakukan masih dapat diterapkan dan disesuaikan dengan kebutuhan sewaktu-waktu. Namun, sangat penting untuk melakukan pemantauan rutin terhadap pembebanan dan suhu minyak serta melakukan pemeliharaan berkala untuk menjaga agar transformator tetap beroperasi secara optimal. Melalui penerapan metode LSTM untuk mempelajari pola data historis, memungkinkan untuk melakukan prediksi data beban dan suhu pada transformator.