BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Data Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan terdapat data pada tabel B.1 untuk unit 1 dan tabel B.2 untuk unit 2 1 januari sampai 22 juni 2024 digunakan untuk melakukan pelatihan pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan pelatihan Levenberg-Marquardt (trainlm). Pada proses pelatihan dilakukan untuk mencari jaringan syaraf tiruan yang baik untuk digunakan prediksi umur transformator pada 23 juni sampai 31 agustus 2024 terdapat pada tabel B.1 untuk unit 1 dan tabel B.2 untuk unit 2. Pada proses pelatihan dapat menghasilkan akurasi yang baik dengan menggunakan beberapa parameter yang digunakan pada Levenberg-Marquardt (trainlm) dan neuron yang memiliki tingkat akurasi yang baik. Pada penelitian mencari logaritma pelatihan untuk mencari konvergensi yang terbaik. Serta menentukan lapisan layer tersembunyi dengan menentukan neuron yang terbaik ketika dilakukan pelatihan serta pada pengujian dengan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* yang sudah dilakukan pelatihan jaringannya.

4.2 Hasil Pelatihan Prediksi Umur Transformator Levenberg-Marquardt

Pada proses pelatihan data yang digunakan data 1 januari sampai 22 juni 2024 di transformator unit 1 dan unit 2 melalui tabel B.1 dan tabel B.2. Pada proses pelatihan *input* yang digunakan yaitu daya aktif, daya reaktif, suhu kumparan, suhu minyak atas, suhu lingkungan dan rasio pembebanan transformator di unit 1 dan unit 2. Sedangkan untuk target yang digunakan hasil dari perhitungan yaitu dua buah target pada saat sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/ *Oil Natural Air Forced* (ONAF) dan sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF). Terdapat data yang digunakan untuk proses pelatihan pada data 1 januari sampai 22 juni 2024. Pada proses pelatihan yang dilakukan dengan menentukan arsitektur jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Arsitektur jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan 6 *input*, 2 *hidden layer* dan 2 keluaran pada jaringan. Pada pelatihan dengan menggunakan Lavenberg-Marquardt dengan *hidden layer* pertama digunakan 30 neuron dan *hidden layer* dan *hidden layer* kedua sebanyak

10 neuron. Pada saat proses pelatihan logaritma yang digunakan pada lapisan tersembunyi pertama dengan menggunakan logsig. Sedangkan pada bagian lapisan kedua pada lapisan tersembunyi digunakan logaritma tansig dan pada lapisan keluaran pada jaringan syaraf tiruan digunakan logaritma pulerin. Pada proses pelatihan dengan menentukan nilai parameter yang digunakan pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Pada pelatihan menentukan nilai jumlah maksimal iterasi yang digunakan pada proses pelatihan sebesar 5000 iterasi ketika mencapai nilai iterasi maksimal akan terhenti. Pada pelatihan selain menentukan jumlah iterasi dengan menentukan nilai *Mean Squared Error* (MSE) untuk mencapai nilai *error* yang diinginkan sehingga proses pelatihan akan berhenti ketika nilai dari MSE sudah tercapai lebih kecil. Pada jaringan syaraf tiruan menentukan nilai momentum pada saat proses pelatihan berguna untuk pembaruan bobot agar jaringan dapat berjalan dengan optimal dan cepat. Penggunaan logaritma Levenberg-Marquardt (*trainlm*) pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* merupakan yang paling optimal pada saat dilakukan pelatihan yang memiliki hasil yang baik.

Pada proses pelatihan yang dilakukan untuk mencari jaringan yang memiliki akurasi yang baik dan optimal didapatkan gambar D.1 merupakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* yang digunakan untuk melakukan prediksi. Pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan digunakannya 6 inputan serta 2 lapisan tersembunyi pada lapisan pertama jumlah neuron sebanyak 30 sedangkan pada lapisan sembunyi 2 digunakan 10 neuron dan lapisan keluaran 2 karena model jaringan dirancang dengan dua keluaran. Pada proses pelatihan logaritma yang digunakan Levenberg-Marquardt (*trainlm*). Pada Gambar D.1 menunjukkan ketika proses pelatihan dengan mengatur jumlah iterasi sebanyak 5000, tetapi saat proses pelatihan berhenti pada iterasi 42 karena tidak adanya peningkatan selama 10 kali berturut-turut proses pelatihan berhenti untuk menghindari terjadinya *overfitting*. Pada proses pelatihan berlangsung cepat dengan waktunya selama 1 detik. Pada proses pelatihan nilai dari *performance* mencapai nilai $5,30 \times 10^{-12}$ dimana menunjukkan tingkat galat yang kecil serta menandakan model pada jaringan dapat mempelajari data dengan baik yang nilai awalnya $3,43 \times 10^{-7}$. Pada pelatihan nilai dari gradient sebesar $7,45 \times 10^{-11}$ menunjukkan perubahan bobot pada jaringan dari iterasi - keiterasi nilainya kecil. Sehingga menandakan model telah mencapai titik

stabil. Dengan ditandai nilai dari μ (mu) pada gambar D.1 sebesar 1×10^{-12} memiliki nilai yang kecil. Pada gambar D.2 merupakan grafik regresi (R) saat proses pelatihan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Pada grafik nilai regresi (R) yang didapatkan nilainya sebesar 0,99911. Berfungsi untuk mengetahui nilai dari akurasi model jaringan syaraf tiruan. Ketika nilai regresi (R) mendekati nilai 1 menandakan proses prediksi memiliki akurasi yang baik. Sehingga proses pelatihan jaringan dapat mempelajari pola data dengan baik.

Pada gambar D.3 terdapat 3 grafik dari gradient, μ (mu) dan *validation check*. Pada gambar D.3 grafik gradient di paling atas dengan nilai yang didapatkan sebesar $7,45 \times 10^{-11}$ pada iterasi ke 42. Berfungsi untuk mengetahui perubahan *error* pada bobot jaringan syaraf tiruan. Ketika nilai *gradient* semakin kecil mendekati nilai dari minimum *error*. Pada grafik *gradient* ketika proses pelatihan nilainya mengalami penurunan yang sangat kecil sampai pelatihan mengalami konvergensi. Pada gambar D.3 yang berada ditengah merupakan grafik dari μ (mu) pada proses pelatihan. Nilai μ (mu) nilainya sebesar 1×10^{-12} menandakan proses pembaruan bobot pada jaringan sangat kecil sehingga pelatihan berada pada titik konvergensi. Pada grafiknya nilai μ (mu) yang semakin kecil pada proses pelatihan hasil akan lebih stabil dan akurat. Seiring berjalannya proses pelatihan serta jaringan menunjukkan penurunan *error* nilai μ (mu) mengalami penurunan secara bertahap pada grafiknya. Pada gambar D.3 grafik yang paling bawah merupakan *validation check* berfungsi ketika *error* saat proses pelatihan tidak membaik selama proses pelatihan akan berhenti. Pada grafik ketika mencapai 10 kali iterasi nilai *error* tidak membaik pelatihan akan berhenti menghindari terjadinya *overfitting*. Sehingga pada iterasi ke 42 proses pelatihan berhenti.

Pada proses pelatihan yang telah dilakukan terdapat keluaran dari hasil syaraf tiruan *backpropagation* pada gambar D.4 hasil pada saat sistem pendingin ONAN/ONAF. Pada menunjukkan hasil jaringan syaraf tiruan *backpropagation* sesuai dengan target yang ditetapkan dapat mengikuti pola pelatihan dengan baik pada proses pelatihan jaringan syaraf tiruan. Sedangkan gambar D.5 merupakan hasil dari keluaran telah dilatih pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada saat transformator pada sistem pendingin ODAF. Pada grafik terlihat antara data pada target dan hasil dari jaringan syaraf tiruan memiliki perbedaan yang kecil dan

baik. Pada perbedaan yang sedikit dan dapat mengikuti pola yang telah dilakukan pelatihan sehingga jaringan syaraf tiruan *backpropagation* memiliki akurasi yang baik. Sehingga pelatihan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* konfigurasi yang digunakan dengan menggunakan metode *trial and error* untuk mendapatkan konfigurasi yang baik dan akurat. Dengan dibuktikan nilai dari regresi (R) nilainya mendekati satu. Serta pada kedua grafik pada saat sistem pendinginan ONAN/ONAF dapat mengikuti pola target dengan baik. Serta pada sistem pendinginan ODAF pada grafik juga dapat mengikuti pola target dengan baik

4.3 Hasil Pengujian Prediksi Umur Transformator Unit 1 dan Unit 2 Levenberg-Marquardt

Pengujian dilakukan untuk melakukan prediksi umur transformator dengan jaringan syaraf tiruan yang sudah dilakukan pelatihan sebelumnya dengan konfigurasi dengan enam *input*, dua *hidden layer* dan dua *output*. Pada jaringan syaraf tiruan yang sudah dilakukan pelatihan dengan *hidden layer* pertama sebanyak 30 neuron dan *hidden layer* kedua sebanyak 10 neuron. Ketika jaringan sudah dilakukan pelatihan maka dilakukan pengujian data dari 23 juni sampai 31 agustus 2024 pada unit 1 dan unit 2. Pada saat proses pengujian jaringan syaraf tiruan di transformator unit 1 tertampil pada gambar D.6. Nilai dari regresi (R) pada gambar D.6 nilai dari regresinya 0,90743 yang dimana nilai tersebut sangat baik yang hampir mendekati nilai 1. Sehingga pada regresi nilai dari pengujian nilai R mendekati nilai satu maka memiliki tingkat akurasi yang baik untuk dilakukannya prediksi umur transformator. Sedangkan pada unit 2 hasil pengujian regresi dengan jaringan syaraf tiruan yang sudah dilakukan pelatihan jaringan tertampil pada gambar D.7. Nilai regresi (R) pada transformator unit 2 didapatkan nilainya sebesar 0,93505. Hasil nilainya dimana mendekati satu hasil dari pengujian pada transformator unit 2. Menandakan memiliki akurasi yang baik pada saat dilakukan prediksi umur transformator. Berdasarkan pengujian transformator unit 1 dan unit 2 nilai dari regresi yang mendekati satu pada kedua unit menandakan prediksi umur transformator dengan jaringan syaraf tiruan memiliki akurasi yang baik. Sehingga dapat dilakukan prediksi umur transformator pada unit 1 dan unit 2.

4.3.1 Hasil Prediksi Umur Transformator Unit 1

Pada penelitian untuk memprediksi umur transformator pada unit 1 dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Pada prediksi terdapat nilai hasil prediksi umur transformator disertai dengan parameter *error* sebagai indikator akurasi model. Pada proses prediksi dilakukam berdasarkan kondisi pendinginan transformator dengan sistem *Oil Natural Air Natural (ONAN)/Oil Natural Air Forced (ONAF)*. Pada gambar D.8 merupakan grafik hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 23 juni sampai 6 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural (ONAN)/Oil Natural Air Forced (ONAF)* untuk transformator unit 1. Grafik yang ditampilkan menunjukkan bahwa hasil prediksi mampu mengikuti pola target dengan cukup baik walaupun terdapat deviasi pada tanggal 26 juni 2024. Akan tetapi hasil model pada grafik untuk prediksi umur transformator dapat mengikuti pola prediksi dengan cukup baik. Keakuratan model prediksi ini diperkuat pada tabel D.1 rata - rata akurasi pada 23 juni sampai 6 juli 2024 sebesar 99,887 %. Selain itu rata-rata nilai *Mean Squared Error (MSE)* dan *Mean Absolut Percentage Error (MAPE)* menunjukkan pada tabel D.1 memiliki nilai kesalahan yang rendah. Sehingga mengindikasikan bahwa jaringan syaraf tiruan dapat melakukan prediksi secara akurat. Serta nilai *error absolut* pada tabel D.1 rata rata yang didapatkan memiliki nilai yang kecil semakin memperkuat model prediksi yang dibangun. Secara keseluruhan rata - rata usia transformator hasil prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan pada 23 juni sampai 6 juli 2024 sebesar 20,936 tahun.

Pada gambar D.9 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 7 juli sampai 27 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural (ONAN)/Oil Natural Air Forced (ONAF)* untuk unit transformator 1. Pada gambar grafik hasil prediksi dapat mengikuti pola prediksi dengan baik. Walaupun pada grafiknya terdapat perbedaan di sekitar tanggal 11 juli. Pada proses prediksi menunjukkan model jaringan syaraf tiruan untuk prediksi umur transformator dapat merespon perbedaan data dengan sangat baik. Diperkuat dengan data rata-rata 7 juli sampai 20 juli pada tabel D.2 memiliki akurasi yang cukup baik sebesar 99,834 %. Serta nilai rata-rata dari *Mean Squared Error (MSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* pada tabel D.2 menunjukkan

memiliki nilai kesalahan yang rendah. Serta diperkuat dengan nilai rata-rata dari *error absolut* yang kecil menandakan proses prediksi dengan jaringan syaraf tiruan memiliki akurasi yang baik. Sehingga rata-rata hasil prediksi pada 7 juli sampai 20 juli dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan sebesar 20,982 tahun.

Pada gambar D.10 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk unit transformator 1. Pada grafik yang terdapat pada gambar D.10 hasil prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dapat mengikuti pola dengan sangat baik. Menandakan model jaringan syaraf tiruan telah belajar dari data pelatihan secara efektif. Hal ini didukung dengan nilai akurasi rata-rata pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada tabel D.3 memiliki akurasi yang baik sebesar 99,937 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa jaringan syaraf tiruan mampu melakukan prediksi dengan nilai ketepatan yang tinggi. Selain akurasi yang tinggi kualitas prediksi ditunjukkan oleh nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Percentage Absolute Error* (MAPE) pada tabel D.3 memiliki nilai yang sangat kecil. Serta nilai *error absolut* tercatat pada tabel D.3 memiliki nilai yang sangat kecil sehingga memperkuat prediksi dari jaringan syaraf tiruan memiliki akurasi yang tinggi. Adapun hasil prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan usia rata-rata pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 sebesar 20,964 tahun.

Pada gambar D.11 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 1. Pada grafik hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* menunjukkan dapat mengikuti pola target cukup baik. Walaupun secara visual terlihat ada beberapa grafik prediksi dibawah target. Serta dengan dibuktikan pada tabel D.4 rata-rata pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 memiliki akursai yang tinggi nilainya sebesar 99,942 %. Serta diperkuat dengan nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang nilainya rendah pada tabel D.4 dan nilai *error absolut* yang kecil. Sehingga memperkuat prediksi dari jaringan syaraf tiruan memiliki akurasi yang tinggi. Adapun rata-rata hasil prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan usia transformator pada 4

agustus sampai 17 agustus 2024 pada metode sistem pendingin ONAN/ONAF sebesar 20,965 tahun.

Pada gambar D12 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 16 agustus sampai 31 agustus 2024. pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 1. Pada grafik hasil dari jaringan syaraf tiruan *Backpropagation* menunjukkan dapat mengikuti pola target dengan baik walaupun terdapat selisih. Akan tetapi masih dalam toleransi yang wajar serta masih memiliki akurasi yang baik. Pada tabel D.5 menunjukkan bahwa rata-rata 16 agustus sampai 31 2024 agustus memiliki akurasi yang tinggi sebesar 99,959 %. Serta dengan dibuktikan nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang rendah ditulis pada tabel D.4, menandakan bahwa tingkat kesalahan prediksi sangat kecil. Serta nilai rata-rata *error absolut* pada tabel D.5 yang nilainya kecil juga menjadi indikator bahwa prediksi yang dilakukan jaringan syaraf tiruan memiliki akurasi yang tinggi. Adapun rata - rata hasil prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan usia transformator pada 16 agustus sampai 31 agustus 2024 sebesar 20,956 tahun.

Pada penelitian prediksi umur transformator dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Pada prediksi terdapat nilai hasil prediksi umur transformator disertai dengan parameter *error* sebagai indikator akurasi model. Pada proses prediksi dilakukan berdasarkan kondisi pendinginan transformator dengan sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF). Pada gambar D.13 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 23 juni sampai 6 juli 2024 untuk unit 1. Hasil prediksi yang ditunjukkan dalam grafik memperlihatkan bahwa pola prediksi mengikuti tren target dengan baik, meskipun secara terdapat sedikit nilainya dibawah target. Tetapi kecocokan pola antara hasil prediksi dan target menunjukkan bahwa model mampu memahami tren data dengan cukup akurat. Tingkat akurasi prediksi pada 23 juni sampai 6 juli 2024 sistem pendingin ODAF sebesar 99,954 % sebagaimana yang tercantum pada tabel D.6. Nilai ini diperkuat dengan rendahnya nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada 23 juni sampai 6 juli ditabel D.6 yang menandakan bahwa kesalahan prediksi yang sangat kecil. Selain itu nilai *error*

absolut yang kecil pada 23 juni sampai 6 juli 2024 juga menunjukkan bahwa model prediksi memiliki kinerja yang baik dan akurasi yang tinggi. Adapun hasil prediksi usia pemakaian transformator dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada saat sistem pendinginan ODAF rata-rata pada 23 juni sampai 6 juli 2024 yang terdapat pada tabel D.6 sebesar 20,965 tahun.

Pada gambar D.14 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 7 juli sampai 20 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk transformator unit 1. Grafik prediksi yang ditunjukkan pada gambar D.16 dapat mengikuti pola target dengan cukup baik meskipun terdapat sedikit perbedaan masih dalam batas wajar. Akurasi pada tabel D.7 bulan juni dengan sistem pendinginan ODAF rata-ratanya sebesar 99,927 % seperti yang tercantum pada tabel D.7. Selain itu *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) di tabel D.7 menunjukkan hasil yang kecil menandakan kesalahan prediksi masih dalam batas wajar. Nilai dari *error absolut* ditabel D.7 untuk bulan juli nilainya juga kecil, menguatkan bahwa prediksi menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* memiliki performa yang baik. Adapun rata-rata prediksi usia pemakaian transformator dengan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada tabel D.7 pada 07 juli sampai 20 juli 2024 sebesar 20,967 tahun.

Pada gambar D.15 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk transformator unit 1. Pada gambar D.15 grafik prediksi yang dihasilkan oleh jaringan syaraf tiruan *backpropagation* menunjukkan pola mengikuti target dengan cukup baik walaupun terdapat beberapa sedikit dibawah target. Namun demikian model menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai sebesar 99,964% sebagaimana yang tertera pada tabel D.8. Serta nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) yang rata-rata nilai menunjukkan bahwa kesalahan prediksi sangat kecil dan masih batas toleransi. Nilai *error absolut* yang kecil pada bulan juli pada tabel D.8 juga memperkuat bahwa jaringan syaraf tiruan *backporpagation* dapat melakukan prediski secara akurat. Adapun hasil prediksi rata-rata pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 dengan

menggunakan jaringan syaraf tiruan pada sistem pendinginan ODAF sebesar 20,972 tahun.

Pada gambar D.16 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF). Pada gambar D.9 menunjukkan grafik hasil prediksi dapat mengikuti pola target dengan baik, meskipun terdapat sedikit perbedaan pada target. Pada model ini memiliki rata-rata akurasi yang tinggi pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 sebesar 99,960%. Selain itu nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) pada tabel D.9 pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 juga cukup kecil yang menunjukkan bahwa prediksi yang dilakukan oleh jaringan syaraf tiruan tergolong akurat. Serta diperkuat dengan nilai rata-rata *error absolut* pada tabel D.9 memiliki nilai yang kecil. Sehingga prediksi menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* memiliki performa yang baik. Adapaun hasil rata-rata prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan pada 4 agustus samapi 17 agustus 2024 sebesar 20,972 tahun.

Pada gambar D.17 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 18 agustus sampai 31 agustus 2024 ketika sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF). Pada grafik prediksi dapat mengikuti pola target dengan baik serta secara visual tidak ada perbedaan antara target dan prediksi. Pada 18 agustus sampai 31 agustus 2024 memiliki rata-rata akurasi yang tinggi pada tabel D.10 sebesar 99,965%. Selain itu nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) pada tabel D.10 memiliki nilai yang kecil. Sehingga prediksi menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* memiliki performa yang baik. Adapaun hasil rata-rata prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan pada 18 agustus sampai 31 agustus sebesar 20,972 tahun.

4.3.2 Hasil Prediksi Umur Transformator Unit 2

Pada penelitian prediksi umur transformator unit 2 dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Pada proses prediksi umur transformator disertai dengan parameter *error* sebagai indikator akurasi model. Proses prediksi dilakukan berdasarkan kondisi pendinginan transformator pada saat sistem pendinginan *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF). Pada gambar D.18 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation*

pada 23 juni sampai 6 juli 2024. Pada grafik menampilkan hasil prediksi dimana mengikuti pola target dengan sangat baik, walaupun terdapat perbedaan secara visual akan tetapi masih batas toleransi. Pada prediksi dengan akurasi yang baik dibuktikan pada tabel D.11 yang rata-rata akurasinya sebesar 99,819%. Serta dengan dibuktikan nilai dari rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) pada tabel D.11 nilainya tergolong kecil menandakan kesalahan prediksi yang rendah. Serta nilai *Error absolut* yang rendah pada tabel D.11 semakin menguatkan akurasi prediksi dengan jaringan syaraf tiruan. Sehingga hasil rata-rata prediksi usia pemakaian transformator sebesar 20,911 tahun.

Pada gambar D.19 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 7 juli sampai 20 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 2. Pada grafik yang dihasilkan dari jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dapat mengikuti pola berdasarkan target walaupun terdapat perbedaan pada target akan tetapi tidak begitu besar. Pada prediksi memiliki rata-rata akurasi yang tinggi pada tabel D.12 nilainya sebesar 99.949 % pada transformator unit 2. Selain nilai akurasi yang tinggi pada nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) yang memiliki nilai kecil pada tabel D.12 yang menandakan akurasinya yang baik dan kesalahan yang kecil. Serta nilai rata-rata *error absolut* pada tabel D.12 yang kecil menandakan perbedaan antara target dan prediksi tidak memiliki perbedaan yang jauh menandakan memiliki akurasi yang tinggi. Sehingga nilai yang di dapatkan hasil prediksi usia transformator rata-rata pada 7 juli sampai 20 juli sebesar 20,949 tahun yang dihasilkan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*.

Pada gambar D.20 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 2. Pada gambar D.20 grafik yang dihasilkan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* yang hasilnya dapat mengikuti pola target walaupun nilainya dibawah target akan tetapi memiliki akurasi yang baik rata-rata pada tabel D.13 nilainya sebesar 99,940 %. Serta hasil prediksi tidak memiliki perbedaan yang jauh

dengan ditandai nilai *error absolut* yang kecil pada tabel D.13 rata-rata pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 di transformator unit 2. Pada proses prediksi yang memiliki akurasi yang tinggi ditandai dengan nilai *Mean Squard Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) pada tabel D.13 yang nilai rata-ratanya kecil. Sehingga pada proses prediksi pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 yang dihasilkan oleh jaringan syaraf tiruan *Backpropagation* memiliki akurasi yang tinggi serta hasil prediksi usai pemakaian transformator unit 2 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada saat ONAN/ONAF rata-ratanya sebesar 20.952 tahun.

Pada gambar D.21 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 2. Pada gambar D.21 merupakan grafik yang dihasilkan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dimana grafik yang dihasilkan dari jaringan syaraf tiruan terdapat bagian dibawah dari target. Tetapi tidak berbeda jauh dengan ditandai akurasi rata-rata pada tabel D.14 yang tinggi sebesar 99,955 %. Serta hasil prediksi tidak berbeda dari target dengan ditandai nilai dari *error absolut* yang kecil nilainya pada tabel D.14. Pada prediksi memiliki akurasi yang tinggi pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* ditandai dengan nilai dari *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) nilainya kecil di tabel D.14 rata-rata pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024. Sehingga hasil dari jaringan syaraf tiruan *backpropagation* rata-rata prediksi usia pemakaian pada transformator unit 2 pada saat ONAN/ONAF menghasilkan nilai sebesar 20,955 tahun.

Pada gambar D.22 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 18 agustus sampai 31 agustus 2024 sistem pendingin *Oil Natural Air Natural* (ONAN)/*Oil Natural Air Forced* (ONAF) untuk transformator unit 2. Pada gambar D.22 hasil dari prediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan dapat mengikuti pola target dengan baik. Walaupun masih ada beberapa dibawah dari target namun masih dalam batas wajar. Berdasarkan data tabel D.15 menunjukkan rata-rata akurasi yang didapatkan sebesar 99,959% yang memiliki akurasi tinggi. Serta dibuktikan pada tabel D.15 nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) nilainya kecil. Dengan dibuktikan juga nilai rata-rata *error absolut* yang didapatkan pada tabel D.15 yang

nilainya kecil. Sehingga model prediksi dengan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* memiliki kesalahan yang kecil dan memiliki akurasi tinggi. Sehingga hasil prediksi usia transformator pada 18 agustus sampai 31 agustus rata-rata sebesar 20,957 tahun.

Pada penelitian untuk melakukan prediksi umur transformator unit 2 dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation*. Proses prediksi disertai dengan parameter *error* sebagai indikator akurasi model. Pada gambar D.23 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 23 juni sampai 6 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk unit 2. Pada gambar D.23 grafik yang dihasilkan pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dapat mengikuti pola dengan baik pada target walaupun masih terdapat perbedaan pada target. Namun masih dalam toleransi wajar dengan dibuktikan pada tabel D.16 memiliki rata-rata akurasi sebesar 99,917%. Serta dibuktikan dengan nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) pada tabel D.16 rata-rata nilainya kecil. Menandakan prediksi memiliki akurasi yang baik dan dibuktikan juga nilai *error absolut* yang kecil. Sehingga hasil prediksi umur transformator menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* rata-rata pada 23 juni sampai 6 julis sebesar 20,962 tahun.

Pada gambar D.24 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 7 juli sampai 20 juli 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk unit 2. Pada gambar D.24 grafiknya mengikuti polanya seperti pada target walaupun terdapat beberapa yang lebih rendah dari target. Namun masih dalam batas toleransi yang wajar dengan dibuktikan pada tabel D.17 memiliki rata-rata akurasi yang tinggi sebesar 99,971%. Serta diperkuat dengan nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) di tabel D.17 memiliki nilai yang kecil. Selain itu diperkuat dengan nilai dari rata-rata *error absolut* yang kecil. Menandakan prediksi umur transformator dapat melakukan prediksi dengan akurasi yang sangat baik. Maka nilai prediksi usia pemakaian transformator rata-rata pada 7 juli sampai 20 juli 2024 sebesar 20,973 tahun.

Pada gambar D.25 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 21 juli sampai 3 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil*

Directed Air Forced (ODAF) untuk unit 2. Pada gambar D.25 grafiknya dapat mengikuti pola dari target walaupun dibawah nilai target tetapi secara visual tidak berbeda jauh. Sehingga dengan dibuktikan pada tabel D.18 memiliki rata-rata akurasi yang tinggi sebesar 99,968%. Pada tabel D.18 rata-rata nilai dari *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Precentage Error* (MAPE) nilainya rendah yang menandakan memiliki akurasi yang baik pada proses prediksi. Serta dibuktikan juga pada tabel D.18 nilai rata-rata *error absult* yang kecil. Sehingga proses prediksi memiliki akurasi yang baik dengan hasil rata-rata prediksi pada 21 juli sampai 3 agustus sebesar 20,973 tahun.

Pada gambar D.26 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk transformator unit 2. Pada gambar D.26 grafiknya dapat mengikuti pola dengan baik walupun masih terdapat perbedaan secara visual. Akan tetapi masih dalam batas toleransi dengan nilai rata-rata akurasi pada tabel D.19 sebesar 99,967 % memiliki akurasi yang tinggi. Pada prediksi juga dengan dibuktikan nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Precentage Error* (MAPE) di tabel D.19 nilai sangat kecil. Serta nilai dari *error absolut* rata-rata pada tabel D.19 nilainya yang kecil menandakan prediksi memiliki akurasi yang sangat baik. Sehingga hasil prediksi rata-rata pada 4 agustus sampai 17 agustus 2024 sebesar 20,973 tahun.

Pada gambar D.27 merupakan hasil prediksi jaringan syaraf tiruan *backpropagation* pada 18 agustus sampai 31 agustus 2024 pada sistem pendingin *Oil Directed Air Forced* (ODAF) untuk unit 2. Pada gambar D.27 grafiknya dapat mengikuti pola dengan baik walupun ada dibawah dari target akan tetapi nilainya tidak begitu jauh. Dengan dibuktikan di tabel D.20 memiliki nilai rata-rata akurasi yang tinggi sebesar 99,968%. Pada prediksi juga dibuktikan pada tabel D.20 nilai rata-rata *Mean Squared Error* (MSE) dan *Mean Absolut Precentage Error* (MAPE) memiliki nilai sangat kecil. Serta nilai dari *error absolut* rata-rata pada tabel D.20 nilainya yang kecil menandakan prediksi memiliki akurasi yang sangat baik. Hasil dari prediksi usia pemakian transformator rata-rata 18 agustus sampai 31 agustus 2024 sebesar 20,973 tahun.

4.4 Pengaruh Pembebanan dan *Temperatur Hospot* Terhadap Umur Transformator Unit 1 dan Unit 2

Ketika pembebanan semakin besar pada transformator dapat meningkatkan *temperatur hospot* yang dapat mempengaruhi usia pemakaian transformator. Tabel D.21 menyajikan hubungan pengaruh pembebanan dan *temperatur hospot* terhadap usia transformator sistem pendingin ONAN/ONAF pada unit 1. Pada tabel D.21 pembebanan terendah terjadi pada 4 juli 2024 dengan rasio pembebanannya sebesar 0,199 dengan *temperatur hospot* 75,739°C dengan hasil prediksi pada jaringan syaraf tiruan sebesar 20.957 tahun. Sedangkan pada saat beban tertinggi pada 11 juli dengan rasio pembebanannya sebesar 0,783 dengan *temperatur hospot* serta prediksi yang dihasilkan jaringan syaraf tiruan sebesar 20,774 tahun. Akan tetapi pada 18 juli 2024 dengan rasio pembebanan transformator 0,338 dengan *temperatur hospot* nilainya sebesar 70,883°C dengan prediksi umur transformator sebesar 20,956 tahun. Pada 18 juli bukan pembebanan yang rendah akan tetapi *temperatur hospot* yang dihasil lebih rendah dibandingkan beban terendah. Hal tersebut dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang lebih rendah. Sedangkan umur transformator terpendek pada 18 juli dikarenakan pembebanan dan *temperatur hospot* yang tinggi. Pada tabel D.22 juga terdapat hubungan pembebanan dengan *temperature hospot* pada sistem pendingin ODAF unit 1. Pembebanan terendah terjadi pada 30 agustus 2024 sebesar 0,496 dengan *temperatur hospot* 69,475 °C serta prediksi umur transformator 20,774 tahun. Sedangkan pembebanan tertinggi pada 11 juli sebesar 0,783 dengan *temperatur hospot* sebesar 83,908°C dengan prediksi umur transformator 20,937 tahun. Pada sistem pendinginan ODAF *temperature hospot* lebih rendah dibandingkan pendinginan ONAN/ONAF. Sehingga sistem pendinginan ODAF lebih efektif pengendalian *temperatur hospot* serta dapat menjaga umur transformator.

Pengaruh pembebanan semakin meningkat pada transformator dapat meningkatkan *temperatur hospot* yang dapat mempengaruhi usia pemakaian transformator. Tabel D.19 menyajikan hubungan pengaruh pembebanan dan *temperatur hospot* terhadap usia transformator sistem pendingin ONAN/ONAF pada unit 2. Pada tabel D.23 menunjukkan pada pembebanan terendah terjadi pada 4 juli sebesar 0,234 dengan *temperatur hospot* sebesar 74,952°C dengan prediksi umur

transformator 20,949 tahun. Sedangkan pembeban tertinggi terjadi pada 27 juni 2024 dengan *temperatur hospot* sebesar 86,528°C dengan prediksi umur transformator 20,768 tahun. Sedangkan pada 18 juli 2024 *temperatur hospot* nilainya terendah akan tetapi pembeban bukan yang terendah tetapi suhu lingkungan lebih rendah dibandingkan pada 4 juli yang merupakan pembebanan terendah. Kejadian tersebut selain pembebanan suhu lingkungan juga dapat mempengaruhi kenaikan *temperatur hospot* yang dapat mengakibatkan penurunan usia dari transformator. Sedangkan tabel D.24 menyajikan pengaruh pembebanan dan *temperatur hospot* terhadap usia transformator sistem pendingin ODAF di unit 2. Pada tabel D.24 menunjukkan terendah pada pada 4 juli sebesar 0,234 dengan *temperatur hospot* sebesar 73,104°C dengan prediki umur transformator 20,950 tahun. Sedangkan pada pembebanan tertinggi pada 27 juni 2024 sebesar 0,793 dengan *temperatur hospot* sebesar 80,149°C dengan prediki umur transformator 20,932 tahun. Pada sistem pendingin ODAF pada tabel D.24 *temperatur hospot* terjadi pada 30 agustus 2024 akan tetapi pembebanannya paling rendah. Karena dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang lebih rendah. Sehingga selain pembebanan suhu lingkungan juga dapat menaikkan *temperatur hospot* yang dapat mempercepat usia pemakaian transformator. Pada sistem pendinginan ODAf ketika pembebanan tertinggi pada 27 juni 2024 dapat menjaga isolasi dan memperpanjang usia pemakaian transformator.