PENERAPAN *MULTILAYER NEURAL NETWORK* UNTUK PREDIKSI DIABETES MELLITUS TIPE 2: PENDEKATAN MULTI-ALGORITMA UNTUK MENINGKATKAN AKURASI DAN PRESISI

As'ad Shidqy Aziz, Fithrotul Irda Amaliah, Daeng Rahmatullah, Nur Vidia Laksmi B

Abstrak: Diabetes melitus, penyakit metabolik kronis yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat disfungsi sekresi insulin, resistensi insulin, atau keduanya tetap menjadi tantangan kesehatan global yang signifikan. Penelitian ini berfokus pada prediksi diabetes tipe 2 menggunakan model *Multilayer Neural Network* yang dioptimalkan melalui empat algoritma pelatihan: *Levenberg-Marquardt, Resilient Backpropagation, Scaled Conjugate Gradient*, dan *Bayesian Regularization*. Algoritma ini dievaluasi menggunakan kumpulan data yang berisi pengukuran diagnostik dari 768 pasien wanita, termasuk fitur seperti kadar glukosa, tekanan darah, BMI, dan riwayat keluarga. Penelitian ini menyoroti kemampuan jaringan saraf dalam mengenali pola kompleks dalam data medis dan mengurangi masalah seperti minimum lokal dan overfitting melalui metode pelatihan tingkat lanjut. Hasil menunjukkan bahwa algoritma *Bayesian Regularization* menghasilkan akurasi tertinggi (90,8%) dan presisi (92,9%) tetapi membutuhkan waktu pelatihan yang lebih lama (623 epoch). Sebaliknya, algoritma *Scaled Conjugate Gradient* menunjukkan proses pelatihan tercepat tetapi dengan mengorbankan akurasi yang lebih rendah (73,4%) dan presisi (85,9%).

Kata Kunci: Diabetes, *Neural Network*, Algoritma

Abstract: *Diabetes mellitus, a chronic metabolic disease characterized by elevated blood glucose levels due to dysfunctional insulin secretion, insulin resistance, or both, remains a significant global health challenge. This study focuses on the prediction of type 2 diabetes using a Multilayer Neural Network model optimized through four training algorithms: Levenberg-Marquardt, Resilient Backpropagation, Scaled Conjugate Gradient, and Bayesian Regularization. These algorithms are evaluated using a dataset containing diagnostic measurements from 768 female patients, including features such as glucose levels, blood pressure, BMI, and family history. This study highlights the ability of neural networks to recognize complex patterns in medical data and mitigate issues such as localminima and overfitting through advanced training methods. The results show that the Bayesian Regularization algorithm yields the highest accuracy (90.8%) and precision (92.9%) but requires a longer training time (623 epochs). In contrast, the Scaled Conjugate Gradient algorithm shows the fastest training process but at the expense of lower accuracy (73.4%) and precision (85.9%).*

Keywords: *Diabetes, Neural Network, Algoritma*

Diabetes mellitus adalah penyakit metabolik kronis yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat gangguan sekresi insulin, resistensi insulin, atau keduanya. Penyakit ini dikategorikan menjadi dua tipe utama yaitu diabetes tipe 1 dan diabetes tipe 2. Diabetes tipe 1 merupakan hasil dari reaksi autoimun terhadap sel-sel beta pancreas dan diabetes tipe 2 yang disebabkan oleh kombinasi faktor genetik dan lingkungan seperti obesitas dan gaya hidup. Penyakit diabetes dapat menyebabkan berbagai komplikasi serius seperti penyakit kardiovaskular, kerusakan saraf, dan gagal ginjal. Diabetes dapat dicegah dengan mengendalikan kadar glukosa darah melalui diet, aktivitas fisik, obat-obatan, dan pemantauan rutin untuk mencegah komplikasi. Penelitian terus dilakukan untuk strategi pencegahan dalam mengurangi resiko dari

As'ad Shidqy Aziz, Fithrotul Irda Amaliah, Daeng Rahmatullah, dan Nur Vidia Laksmi B adalah akademisi Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Universitas Negeri Surabaya.
Email: asadaziz@unesa.ac.id

penyakit ini (Donny Nurhamsyah et al., 2023; Lestari et al., 2021). Prediksi diabetes menggunakan neural network telah menjadi pendekatan yang efektif dalam bidang kesehatan terutama untuk mendeteksi diabetes tipe 2.

Neural network adalah model komputasi yang terinspirasi oleh struktur biologis dari otak manusia. Metodei ini digunakan untuk mengenali pola dan menyelesaikan masalah kompleks dengan proses pembelajaran dengan sumber data (Chen & Yadollahpour, 2024; Feng et al., 2024; Liu et al., 2024). Model ini terdiri dari node-node (neuron) yang saling terhubung dan diorganisasikan dalam lapisan-lapisan yang disebut dengan layer. Setiap koneksi pada neuron memiliki bobot yang disesuaikan selama proses pelatihan untuk meminimalkan kesalahan. *Neural network* mampu menangani berbagai jenis data dan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengenalan gambar, klasifikasi data, dan prediksi. Kemampuan adaptif dan fleksibilitasnya membuat *neural network* menjadi salah satu metode dalam bidang kecerdasan buatan yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran (Montesinos López et al., 2022). Penggunaan neural network dalam prediksi diabetes juga memungkinkan integrasi data medis yang besar dan beragam, meningkatkan kemampuan model untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan andal(Fernanda et al., 2024; Wirapati et al., 2022)

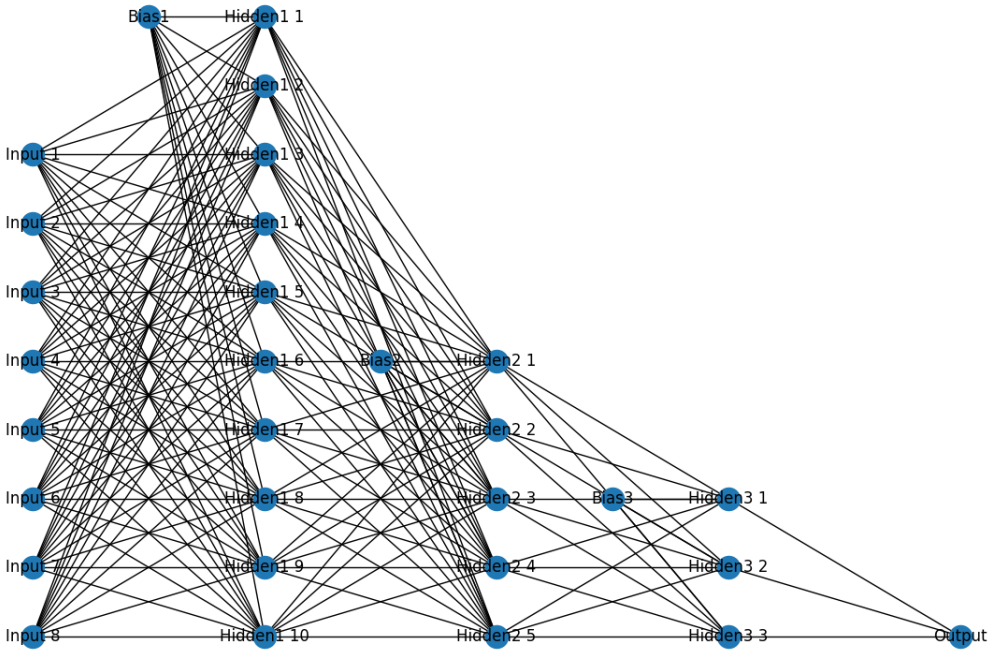
Salah satu kelemahan utama *neural network* dalam pencarian bobot adalah risiko terjebak pada *local minima*, di mana algoritma pelatihan seperti *backpropagation* tidak dapat menemukan solusi optimal global karena terjebak pada solusi suboptimal. Selain itu, neural network sering mengalami *overfitting* terutama ketika model terlalu kompleks atau data pelatihan tidak cukup beragam. Hal ini dapat menyebabkan performa buruk pada data baru (Dasuki, 2021). Kecepatan konvergensi yang lambat juga menjadi masalah, terutama pada jaringan yang memiliki banyak parameter sehingga memerlukan waktu pelatihan yang lama. Pemilihan bobot awal secara acak dapat mempengaruhi stabilitas dan kecepatan konvergensi, menyebabkan hasil yang tidak konsisten. Mengatasi kelemahan pencarian bobot neural network dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa algoritma pelatihan yang mampu mengoptimalkan hyperparameter dan bobot secara lebih efisien dibandingkan metode tradisional (Kaveh & Mesgari, 2023).

Beberapa algoritma pelatihan yang sering digunakan dalam jaringan syaraf tiruan daiantaranya algoritma *Gradient Descent* memperbarui bobot jaringan dengan mengurangi gradien dari fungsi kesalahan dan memperbarui bobot sedikit demi untuk meminimalisir kesalahan dalam pelatihan. Algoritma ini sederhana dan mudah diimplementasikan, namun bisa lambat dan terjebak pada minimum lokal. Algoritma *Resilient Backpropagation* memperbarui bobot berdasarkan tanda dari gradien, bukan nilai absolutnya. Algoritma ini membantu mengatasi masalah skala gradien yang sangat kecil atau sangat besar. Algoritma ini cepat dan tidak terpengaruh oleh skala gradien, namun tidak mempertimbangkan ukuran gradien(Saputra et al., 2021). Algoritma *Scaled Conjugate Gradient* menggabungkan metode *conjugate gradient* dengan skala otomatis untuk mempercepat konvergensi tanpa memerlukan penyesuaian parameter learning rate. Algoritma ini cepat dan efisien dalam penggunaan memori, meskipun lebih kompleks dibandingkan dengan gradient descent(Abbo & Mohamed, 2015). Algoritma Bayesian Regularization adalah salah satu metode pelatihan jaringan syaraf tiruan yang menggabungkan regularisasi Bayesian untuk mengurangi overfitting(Troiano et al., 2024).

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam bidang kesehatan dan kecerdasan buatan dengan menggunakan *multilayer neural network* dengan berbagai macam algoritma pelatihan untuk prediksi diabetes mellitus tipe 2. *Neural network* digunakan untuk mengenali pola kompleks dalam data medis, sementara algoritma pelatihan uang digunakan untuk mengatasi kelemahan seperti *local minima* dan *overfitting.* Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi tetapi juga mempercepat konvergensi model, menjadikannya lebih efisien dan andal. Selain itu, penelitian ini membuka peluang baru dalam aplikasi praktis, seperti pengenalan gambar dan diagnosis penyakit, yang dapat meningkatkan kualitas perawatan kesehatan dan hasil klinis. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi prediktif yang lebih canggih dan efektif dalam bidang medis.

METODE

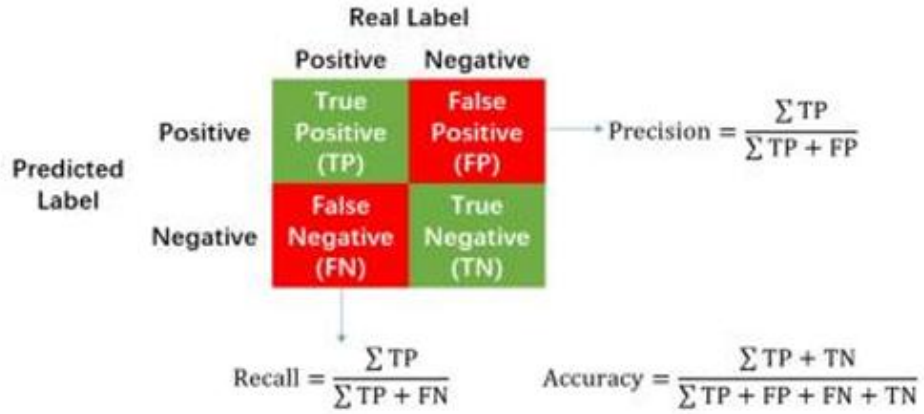
Model jaringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *multilayer neural network* dengan 8 *input*, 3 *hidden layer* dan 1 *output.* Spesifikasi *hidden layer* yang digunakan dalam jairngan ini diantaranya *hidden layer* pertama memiliki jumlah 10 neuron; *hidden layer* kedua memiliki jumlah 5 neuron dan *hidden layer* ketiga memiliki jumlah 3 neuron. Model jaringan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Model Jaringan

Dalam penelitan ini dataset yang digunakan sebagai data pelatihan diambil dari dataset diabetes yang ditulis oleh (Selva Balaji, 2024). Kumpulan data ini berisi pengukuran diagnostik medis untuk 768 pasien wanita, yang digunakan untuk memprediksi timbulnya diabetes. Data tersebut mencakup berbagai faktor fisiologis dan variabel kelas yang menunjukkan apakah pasien menderita diabetes atau tidak. Struktur dataset yang digunakan yaitu Kehamilan: Berapa kali pasien hamil; Glukosa: Konsentrasi glukosa plasma (mg/dL) setelah 2 jam dalam tes toleransi glukosa oral. Tekanan Darah: Tekanan darah diastolik (mm Hg); Ketebalan Kulit: Ketebalan lipatan kulit trisep (mm); Insulin: Insulin serum 2 Jam (mu U/ml). BMI: Indeks massa tubuh,

dihitung sebagai berat badan dalam kg/(height in m)^2; Usia: Usia pasien dalam tahun. Dimana pada masing – masing struktur dataset tersebut memiliki jumlah data sebanyak 2251 data.



Gambar 2. Bentuk Confusion Matrix

Sedangkan proses pelatihan yang digunakan untuk prediksi diabetes dalam penelitian ini menggunakan 4 algoritma pelatihan. Algoritma pelatihan yang digunakan antara lain algoritma pelatihan *Levenberg-Marquardt*, algoritma pelatihan *Resilient Backpropagation*, algoritma pelatihan *Scaled Conjugate Gradient*, dan algoritma pelatihan *Bayesian Regularization*. Proses pelatihan dalam penelitian ini menggunakan keempat algoritma tersebut dan dibandingkan tingkat akurasi yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, data yang digunakan dibagi menjadi tiga bagian yaitu 70% digunakan untuk data pelatihan; 15% digunakan untuk data validasi dan 15% digunakan untuk data testing dari jumlah keseluruhan dataset.

Metode yang digunakan untuk menghitun keakuratan algoritma pelatihan yaitu metode *confusion matrix*. Confusion Matrix dapat digunakan untuk mengetahui keakuratan dan kepresisian dari pengolahan data. Bentuk umum confution maatrix dapat dilihat dalam Gambar 2. Persamaan untuk menghitung keakuratan dan kepresisian berturut – turut dapat dilihat dalam Persamaan 1 dan Persamaan 2.. Terdapat empat data yang nantinya dihasilkan oleh *confusion matrix* diantaranya *True Positive* (jumlah prediksi yang benar di kelas positif), *False Positive* (jumlah prediksi yang salah dalam kelas positif), *True Negative* (jumlah prediksi yang salah di kelas negatif), *dan False Negative* (jumlah prediksi yang benar dalam kelas negatif) *(Aziz et al., 2023)*.
Persamaan penghitungan Akurasi:

$$Akurasi = \frac{\sum TP+TN}{\sum TP+FP+FN+TN} \quad (1)$$

Persamaan Penghitungan Presisi:

$$Precision = \frac{\sum TP}{\sum TP+FP} \quad (2)$$

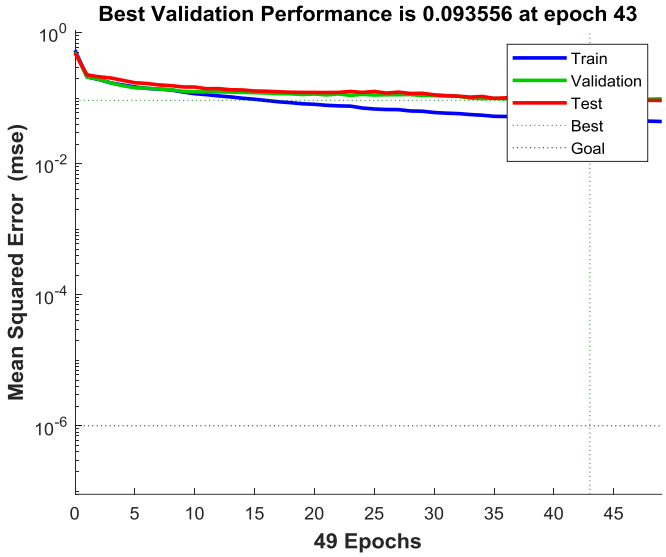
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan empat jenis output yang diperoleh melalui proses pelatihan menggunakan empat algoritma yang berbeda. Hasilnya menunjukkan variasi performa dan efektivitas masing-masing algoritma dalam menyelesaikan tugas yang diberikan, sekaligus memberikan wawasan lebih dalam tentang kelebihan dan kekurangan setiap metode. Dengan menganalisis hasil tersebut, peneliti dapat

mengevaluasi tingkat akurasi, presisi, dan kesesuaian algoritma terhadap kebutuhan spesifik penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi penting dalam mengembangkan solusi berbasis algoritma yang lebih efektif dan optimal.

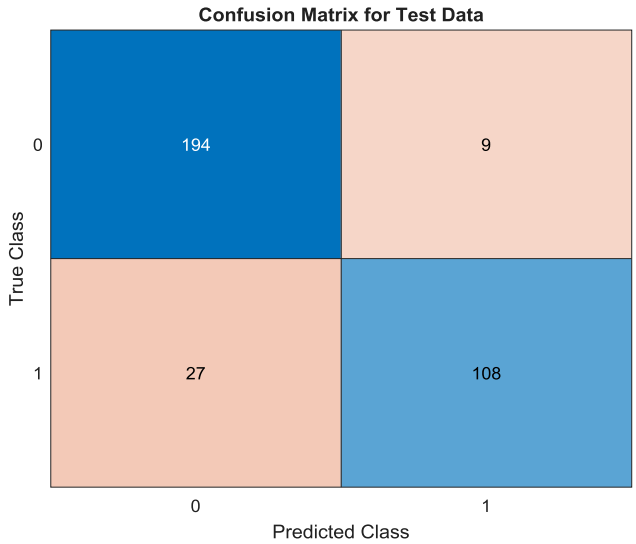
1. Algoritma Pelatihan *Levenberg-Marquardt*

Algoritma pertama yang digunakan dalam pelatihan Multilayer Neural network untuk melakukan prediksi diabetes adalah algoritma *Levenvberg-Marquardt*. Hasil dari pelatihan yang telah dilakukan menggunakan algoritma ini dapat dilihat dalam Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa performansi yang didapat menggunakan algoritma ini mendapatkan nilai MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,094 yang berhenti pada epoch 49.



Gambar 3. Performa Validasi Algoritma *Levenvberg-Marquardt*

Sedangkan untuk hasil confusion matrik yang didapat dalam proses pelatihan menggunakan algoritma *Levenvberg-Marquard* dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Confution Matrix Algoritama *Levenvberg-Marquardt*

Berdasarkan *confution matrix* yang didapat dari pelatihan dapat dihitung nilai akurasi dan presisi pada pelatihan ini menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$Akurasi = \frac{\sum TP+TN}{\sum TP+FP+FN+TN}$$

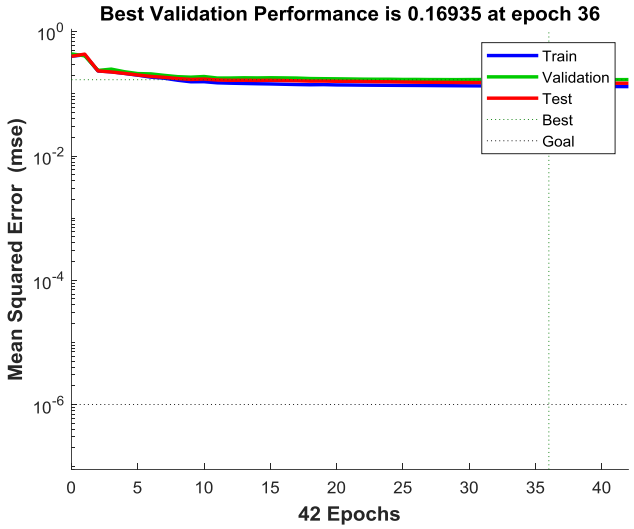
$$Akurasi = \frac{194 + 108}{194+9+27+108}$$

$$Akurasi = \frac{302}{338}\ x\ 100\ \% = 89{,}35\ \%$$

Hasil yang didapatkan dalam pelatihan algoritma *Levenvberg-Marquardt* berdasarkan penghitungan menggunakan Persamaan 1 adalah 89,35 %. Sedangkan untuk nilai presisi yang didapatkan sebesar 95,6 %.

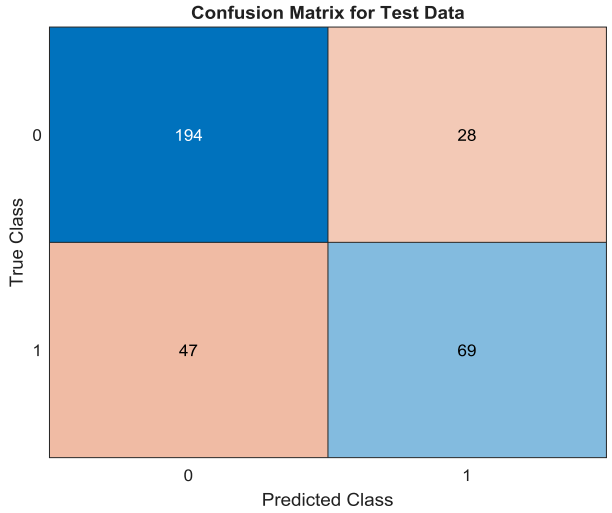
2. Algoritma Pelatihan *Resilient Backpropagation*

Algoritma kedua yang digunakan dalam pelatihan *Multilayer Neural network* untuk melakukan prediksi diabetes adalah algoritma *Resilient Backpropagation*. Hasil dari pelatihan yang telah dilakukan menggunakan algoritma ini dapat dilihat dalam Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa performansi yang didapat menggunakan algoritma ini mendapatkan nilai MSE (Mean Square Error) sebesar 0,169 yang berhenti pada epoch 42



Gambar 5. Performa Validasi Algoritma *Resilient Backpropagation*

Sedangkan untuk hasil confusion matrik yang didapat dalam proses pelatihan menggunakan algoritma *Resilient Backpropagation* dapat dilihat dalam Gambar 6.



Gambar 6. Confution Matrix Algoritama *Resielent Bckpropagation*

Berdasarkan *confution matrix* yang didapat dari pelatihan dapat dihitung nilai akurasi dan presisi pada pelatihan ini menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$Akurasi = \frac{\sum TP+TN}{\sum TP+FP+FN+TN}$$

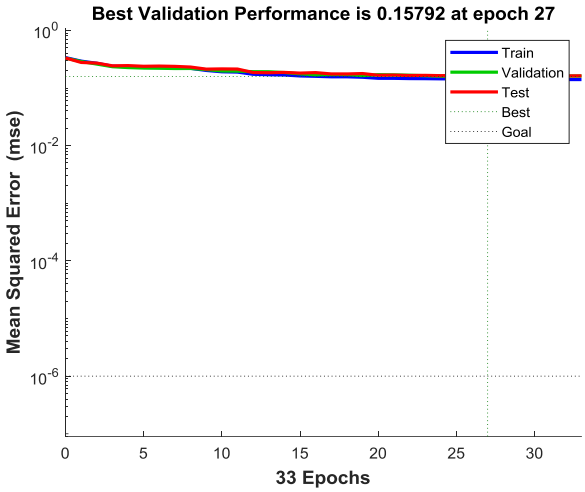
$$Akurasi = \frac{194+69}{194+28+47+69}$$

$$Akurasi = \frac{263}{338} \; x \; 100\,\% = 77{,}8\,\%$$

Hasil yang didapatkan dalam pelatihan algoritma *Resielent Bckpropagation* berdasarkan penghitungan menggunakan Persamaan 1 adalah 77,8 %. Sedangkan untuk nilai presisi yang didapatkan sebesar 87,3 %.

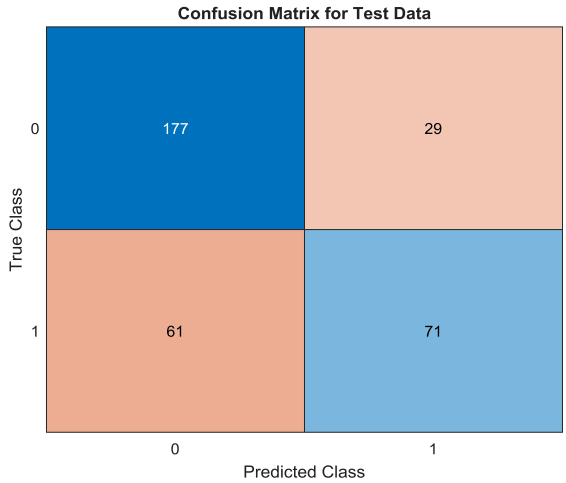
3. Algoritma Pelatihan *Scaled Conjugate Gradient*

Algoritma ketiga yang digunakan dalam pelatihan *Multilayer Neural network* untuk melakukan prediksi diabetes adalah algoritma *Scaled Conjugate Gradient*. Hasil dari pelatihan yang telah dilakukan menggunakan algoritma ini dapat dilihat dalam Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa performansi yang didapat menggunakan algoritma ini mendapatkan nilai MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,158 yang berhenti pada epoch 33.



Gambar 7. Performa Validasi Algoritama *Scaled Conjugate Gradient*

Sedangkan untuk hasil *confusion matrix* yang didapat dalam proses pelatihan menggunakan algoritma *Scaled Conjugate Gradient* dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Confusion Matrix Algoritama *Scaled Conjugate Gradient*

Berdasarkan confution matrix yang didapat dari pelatihan dapat dihitung nilai akurasi dan presisi pada pelatihan ini menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$Akurasi = \frac{\sum TP+TN}{\sum TP+FP+FN+TN}$$

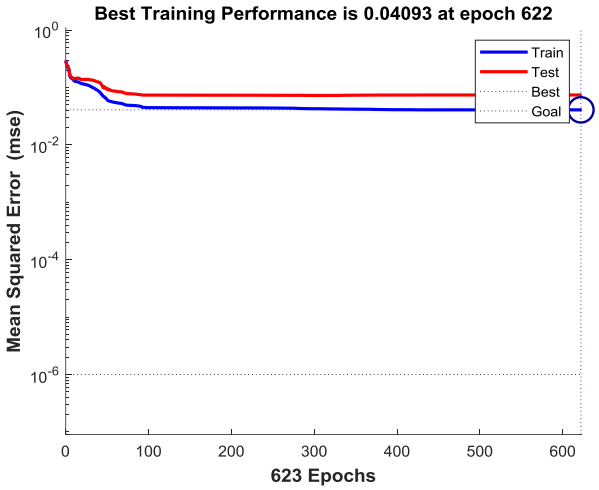
$$Akurasi = \frac{177+71}{177+71+61+29}$$

$$Akurasi = \frac{248}{338}\ x\ 100\ \% = 73{,}4\ \%$$

Hasil yang didapatkan dalam pelatihan algoritma *Scaled Conjugate Gradient* berdasarkan penghitungan menggunakan Persamaan 1 adalah 73,4 %. Sedangkan untuk nilai presisi yang didapatkan sebesar 85,9 %.

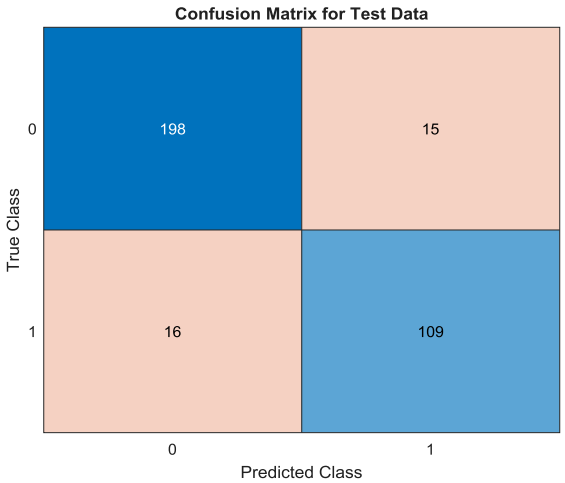
4. Algoritma Pelatihan *Bayesian Regularization*

Algoritma ketiga yang digunakan dalam pelatihan *Multilayer Neural network* untuk melakukan prediksi diabetes adalah algoritma *Bayesian Regularization*. Hasil dari pelatihan yang telah dilakukan menggunakan algoritma ini dapat dilihat dalam Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa performansi yang didapat menggunakan algoritma ini mendapatkan nilai MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,04 yang berhenti pada epoch 623.



Gambar 9. Performa Validasi Algoritama *Bayesian Regularization*

Sedangkan untuk hasil *confusion matrix* yang didapat dalam proses pelatihan menggunakan algoritma *Bayesian Regularization* dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Confusion Matrix Algoritama *Bayesian Regularization*

Berdasarkan *confution matrix* yang didapat dari pelatihan dapat dihitung nilai akurasi dan presisi pada pelatihan ini menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$Akurasi = \frac{\sum TP+TN}{\sum TP+FP+FN+TN}$$

$$Akurasi = \frac{198+109}{198+15+16+109}$$

$$Akurasi = \frac{307}{338} \; x \; 100\,\% = 90{,}8\,\%$$

Hasil yang didapatkan dalam pelatihan algoritma *Bayesian Regularization* berdasarkan penghitungan menggunakan Persamaan 1 adalah 90,8 %. Sedangkan untuk nilai presisi yang didapatkan sebesar 92,9 %.

Berdasarkan pelatihan yang telah dilakukan menggunakan keempat algoritma, performa masing-masing algoritma dianalisis untuk menentukan algoritma yang paling optimal dalam melakukan prediksi penyakit diabetes. Perbandingan ini mencakup evaluasi terhadap beberapa parameter diantaranya tingkat akurasi, presisi, dan performansi dalam melakukan validasi. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan relatif dari setiap algoritma. Hasil dari analisis perbandingan tersebut dirangkum dalam Tabel 1, yang memberikan gambaran menyeluruh tentang kemampuan masing-masing algoritma dalam menangani dataset dan menghasilkan prediksi yang maksimal. Dengan informasi ini, dapat ditentukan algoritma yang paling efektif untuk digunakan dalam konteks prediksi penyakit diabetes.

Tabel 1. Perbandingan Performa Algoritma

No	Algoritma	Akurasi	Presisi	MSE
1	*Levenvberg-Marquard*	89,4%	95,6%	0,094
2	*Resilient Backpropagation*	77,8%	87,3%	0,169
3	*Scaled Conjugate Gradient*	73,4%	85,9%	0,158
4	*Bayesian Regularization*	90,8%	92,9%	0,04

Berdasarkan perbandingan performansi algoritma yang ada dalam Tabel 1 dapat dianalisa bahwa nilai akurasi dan presisi tertinggi didapatkan dari algoritma *bayesian regulation*. Sehingga, algoritma ini dapat digunakan untuk meminimalisir kendala *overvitting* yang biasa terjadi pada *Neural Network*. Akan tetapi algoritma ini memiliki kelemahan yaitu proses pelatihan yang lebih lama dibandingkan dengan algoritma lainnya yaitu berhenti pada epoch ke-623. Proses pelatihan tercepat didapat dari algoritma *Scaled Conjugate Gradient*. Akan tetapi algoritma ini menghasilkan akurasi dan presisi terkecil dari algoritma lainnya. Berturut – turut menghasilkan nilai akurasi 73,4% dan presisi 85,9%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menggunakan empat algoritma didapatkan algoritma terbaik dalam melakukan prediksi penyakit diabetes yaitu algoritma *Bayesian Regulation.* Hasil penghitungan akurasi menggunakan algoritma ini adalah 90,8% dan penghitungan presisi sebesar 92,9%. Akan tetapi algoritma ini memiliki proses pelatihan yang lebih lama dibandingkan tiga algoritma lainnya. Algoritma ini memerlukan pelatihan sampai epoch ke-623.

DAFTAR PUSTAKA

Abbo, K. K., & Mohamed, H. H. (2015). New Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Training Artificial Neural Networks Based on Pure Conjugacy Condition. In *Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)* (Vol. 10, Issue 3). www.kujss.com

Chen, Z., & Yadollahpour, A. (2024). A new era in cognitive neuroscience: the tidal wave of artificial intelligence (AI). In *BMC Neuroscience* (Vol. 25, Issue 1). BioMed Central Ltd. https://doi.org/10.1186/s12868-024-00869-w

Dasuki, M. (2021). Optimasi Nilai Bobot Algoritma Backpropagation Neural Network Dengan Algoritma Genetika. *JUSTINDO (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi Indonesia)*, *6*(1), 38–44. https://doi.org/https://doi.org/10.32528/justindo.v6i1.5280

Donny Nurhamsyah, Yanny Trisyani Wahyuningsih, Ajeng Andini Sutisnu, Anggita Dyah Kirana, Anisa Dwi Putri, Gina Saufika, & Puput Nur Azizah. (2023). *Monitoring Glukosa Secara Berkelanjutan terhadap Ketidakstabilan Kadar Glukosa Darah pada Pasien Diabetes Mellitus Tipe-1 dan Tipe-2*. http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jik/index

Feng, J., Jirsa, V., & Lu, W. (2024). Human brain computing and brain-inspired intelligence. In *National Science Review* (Vol. 11, Issue 5). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/nsr/nwae144

Fernanda, J. W., Bisono, E. F., Nurkhalim, R. F., & Jayanti, K. D. (2024). Prediksi Prevalensi Diabetes Tipe 2 menggunakan Artificial Neural Network. *Jurnal Sains Matematika Dan Statistika*, *10*(2). https://doi.org/10.24014/jsms.v10i2.26622

Kaveh, M., & Mesgari, M. S. (2023). Application of Meta-Heuristic Algorithms for Training Neural Networks and Deep Learning Architectures: A Comprehensive Review. In *Neural Processing Letters* (Vol. 55, Issue 4, pp. 4519–4622). Springer. https://doi.org/10.1007/s11063-022-11055-6

Lestari, Zulkarnain, & Aisyah Sijid. (2021). *Diabetes Melitus: Review Etiologi*. http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/psb

Liu, F., Zheng, H., Ma, S., Zhang, W., Liu, X., Chua, Y., Shi, L., & Zhao, R. (2024). Advancing brain-inspired computing with hybrid neural networks. In *National Science Review* (Vol. 11, Issue 5). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/nsr/nwae066

Montesinos López, O. A., Montesinos López, A., & Crossa, J. (2022). Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction. In *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0

Saputra, W., Windarto, A. P., & Wanto, A. (2021). Analysis of the Resilient Method in Training and Accuracy in the Backpropagation Method. *The IJICS (International Journal of Informatics and Computer Science)*, *5*(1), 52. https://doi.org/10.30865/ijics.v5i1.2922

Selva Balaji. (2024, August 21). *Diabetes Prediction Dataset*. Mendeley.

Aziz, A. S., Sesoca, J., & Firmanto, B. (2023). Desain Integerated Smart Sensor Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan untuk deteksi dini Kebakaran. *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, *5*(2), 227–235. https://doi.org/10.33650/jeecom.v4i2

Wirapati, S., Luh, D., Astuti, G., & Kom, M. (2022). Sistem Pakar Untuk Membantu Diagnosis Diabetes Menggunakan Machine Learning Dengan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan. *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana*, *11*(4).