

Prediksi Loyalitas Pelanggan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Metode Backpropagasi

Maulana Ardhiansyah^{1*}, Anis Mirza², Dedin Fathudin³

^{1,2,3}Fakultas Ilmu Komputer, Teknik Informatika, Universitas Pamulang

e-mail: ^{1*}dosen00374@unpam.ac.id, ²dosen00298@unpam.ac.id, ³dosen00398@unpam.ac.id

Abstrak

Prediksi loyalitas pelanggan penting dalam menjaga dan meningkatkan hubungan dengan pelanggan. Dengan mengidentifikasi pelanggan yang berpotensi loyal atau berisiko berpindah, perusahaan dapat mengambil langkah proaktif untuk menjaga dan memperkuat keterlibatan pelanggan. Dalam industri telekomunikasi, tingkat churn pelanggan cukup tinggi. Meskipun ada biaya yang terkait dengan pengelolaan pelanggan yang sudah ada, mendapatkan pelanggan baru bisa jadi lebih mahal. Churn mengacu pada penentuan konsumen mana yang paling mungkin membatalkan langganan layanan berdasarkan cara mereka menggunakannya. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memprediksi kecenderungan pelanggan guna mengurangi kecenderungan untuk berhenti atau berpindah penggunaan dari suatu produk/layanan adalah dengan program pengembangan loyalitas yang efektif. Namun, proses ini masih belum optimal karena hanya menggunakan analisis konvensional tanpa metode atau algoritma khusus. Neural Network merupakan model matematika yang terinspirasi dari cara kerja jaringan saraf di otak manusia. Model ini merupakan salah satu komponen inti dalam machine learning dan kecerdasan buatan, yang terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan informasi (neuron) yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk memecahkan suatu masalah tertentu, yang umumnya merupakan masalah klasifikasi atau prediksi. Neural Network memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode perhitungan lainnya, yaitu kemampuan untuk memperoleh pengetahuan bahkan dalam kondisi interferensi dan ketidakpastian. Hal ini dikarenakan Neural Network dapat melakukan generalisasi, abstraksi, dan ekstraksi sifat-sifat statistik. Dalam penelitian ini, kami akan menerapkan jaringan saraf tiruan dengan metode backpropagation untuk memprediksi loyalitas pelanggan, mengurangi tingkat churn pada industri telekomunikasi, dan mengoptimalkan program pengembangan loyalitas pelanggan yang efektif.

Kata kunci— Loyalitas Pelanggan, backpropagasi, Churn

Abstract

Customer loyalty prediction is important in maintaining and improving customer relationships. By identifying customers who are potentially loyal or at risk of switching or moving, companies can take proactive steps to maintain and strengthen customer engagement. In the telecommunications industry, the customer churn rate is quite high. While there are costs associated with managing existing customers, acquiring new ones can be even more expensive. Churn refers to determining which consumers are most likely to cancel a service subscription based on how they use it. One way that can be done to predict customer tendencies to reduce the tendency to stop or move the use from a product/service is an effective loyalty development program. However, this process is still not optimal because it only uses conventional analysis without a special method or algorithm. A Neural Network is a mathematical model inspired by the way neural networks work in the human brain. This model is one of the core components in machine learning and artificial intelligence, which consists of a large number of information processing elements (neurons) that are interconnected and work together to solve a particular problem, which is generally a classification or prediction problem. Neural Network has several

advantages compared to other calculation methods, namely the ability to acquire knowledge even in conditions of interference and uncertainty. this is because a Neural Network can generalize, abstract, and extract statistical properties. In this study, we will apply artificial neural networks with the backpropagation method to predict customer loyalty, to reduce the churn rate in the telecommunications industry, and to optimize effective customer loyalty development programs.

Keywords— *Customer Loyalty, Backpropagation, Churn*

1. PENDAHULUAN

Pelanggan atau *customer* adalah personal maupun kelompok masyarakat yang melakukan transaksi pembelian, baik barang/jasa yang mempertimbangkan faktor antara lain tempat, harga, kualitas, dan pelayanannya [1]. Terbentuknya perilaku pasca pembelian berdasarkan rasa puas maupun tidak puas atas suatu produk yang merupakan proses terjadinya penjualan, seperti kegiatan validasi pasar lelang di media sosial, dengan transaksinya mencapai jutaan di Facebook dan Instagram. Namun, kurang praktis karena transaksi dilakukan di kolom komentar [2], sehingga sulit membentuk transaksi berulang, atau mencapai arti pelanggan yang memiliki loyalitas [3], loyalitas pelanggan menjadi suatu pengukuran meramalkan pertumbuhan penjualan, memperkirakan perilaku beli konsumen secara konsisten dan dapat diandalkan.

Loyalitas menjadi determinan penting pada saat menentukan tingkat penjualan jangka panjang sebagai gambaran kesediaan individu/kelompok konsumen untuk kembali mengkonsumsi kembali produk/jasa [4]. Loyalitas memiliki konsep yang berhubungan dengan perilaku dibandingkan dengan sikap seseorang. Sikap positif seseorang ditandai dengan tetap mengkonsumsi produk perusahaan dan memberikan rekomendasi kepada konsumen lainnya, tetapi respon/perkataan negatif atas suatu produk kepada konsumen lainnya yang berdampak berpindahnya individu/kelompok tersebut ke *brand* produk atau perusahaan lainnya [5]. Prediksi loyalitas pelanggan memiliki arti penting dalam upaya menjaga dan meningkatkan hubungan dengan pelanggan. Dengan mampu mengidentifikasi pelanggan yang berpotensi loyal atau yang berisiko beralih atau berpindah [6], kemudian juga mampu memahami kebutuhan pelanggan dalam pelayanannya kepada konsumen dengan perilaku yang modern dan kompleks [7].

Pada industri telekomunikasi tingkat *churn* pelanggan cukup tinggi, sementara terdapatnya biaya untuk mengelola pelanggan lama, bahkan untuk mendapatkan konsumen baru pelanggan akan jauh lebih mahal [8]. *Churn* mengacu pada penentuan konsumen mana paling mungkin membatalkan langganan layanan berdasarkan cara mereka menggunakannya. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mengurangi kecenderungan berhenti atau berpindahnya penggunaan suatu produk/layanan adalah program pengembangan loyalitas yang efektif [9]. Akan tetapi, proses tersebut masih belum optimal karena hanya menggunakan analisis konvensional tanpa adanya sebuah metode atau algoritma khusus yang digunakan. Metode-metode yang biasa diimplementasikan dalam memprediksi loyalitas pelanggan, yaitu metode *Neural Network* [6], metode *Neural Network* [8,10], metode *Logistic Regression* [11,12], metode *Gradient Boosting* [3], metode *Support Vector Machine* [13], metode *Customer Satisfaction Index* [4], metode *Decision Tree* [14].

Metode *Random Forest* memiliki kelemahan yaitu dapat berubah secara signifikan dengan perubahan kecil pada data serta perhitungan algoritma *Random Forest* mungkin jauh lebih kompleks dibandingkan dengan algoritma lainnya [15]. Metode *Logistic Regression* memiliki kelemahan yaitu tidak efektif untuk klasifikasi data yang kompleks dengan banyak variabel *input*, rentan terhadap *overfitting* jika digunakan pada *dataset* yang tidak seimbang, dan tidak dapat mengatasi masalah *multicollinearity* di antara variabel *input* [16]. Metode *Gradient Boosting* merupakan salah satu metode dalam *machine learning* yang digunakan untuk membangun model prediktif yang kuat dan akurat. Kelemahan dari algoritma ini yaitu rentan terhadap *Overfitting*, sensitif terhadap *Noise* dan *Outlier*, memerlukan waktu dan sumber daya yang besar, pemilihan

hyperparameter yang kritis, tidak mampu menangani data dengan fitur yang sangat banyak [17].

Metode *Support Vector Machine* memiliki kelemahan yaitu sulit diaplikasikan untuk himpunan dengan jumlah dimensi yang sangat besar karena membutuhkan waktu training yang lama, serta performa SPV akan kurang baik pada saat jumlah fitur pada setiap titik data melebihi banyaknya sampel *data training* [18]. Metode *Customer Satisfaction Index* adalah pengukuran dengan skala pada tingkat kepuasan produk atas konsumennya [19]. Kelemahan dari algoritma ini dari atribut-atribut yang dihasilkan yaitu tidak dapat menentukan atribut prioritasnya, maka metode PGCV pada analisis CSI dibutuhkan untuk melengkapi hasil data tersebut. Metode *Decision Tree* memiliki kelemahan yang sifatnya tidak stabil dan kurang efektif, dalam struktur pohon keputusan pada saat terjadinya perubahan kecil pada data dapat menghasilkan perubahan besar dalam memprediksi hasil dari variabel kontinu [20].

Neural network / jaringan saraf tiruan dengan inspirasi atas neuron yang bekerja dalam otak manusia bekerja digambarkan dalam suatu model. Model ini dapat memproses elemen informasi (*neuron*) yang saling terhubung, dalam jumlah yang banyak dan bekerja secara bersama-sama ketika ditujukan untuk menyelesaikan suatu masalah, dimana pada umumnya adalah masalah prediksi ataupun klasifikasi [21]. Jaringan saraf tiruan memiliki berbagai keunggulan dibandingkan metode perhitungan konvensional, salah satunya adalah kemampuannya dalam menyerap pengetahuan meskipun dihadapkan pada gangguan dan ketidakpastian. Hal ini dimungkinkan karena jaringan ini mampu melakukan proses generalisasi, abstraksi, serta mengekstraksi karakteristik statistik dari data yang diberikan [22]. Tak hanya itu, jaringan saraf tiruan juga memiliki fleksibilitas tinggi dalam merepresentasikan pengetahuan. Melalui proses pembelajaran mandiri (*self-organizing*), jaringan ini mampu membentuk representasi secara otomatis tanpa campur tangan langsung

Pada penelitian ini akan mengimplementasikan jaringan saraf tiruan dengan metode *backpropagasi* untuk memprediksi loyalitas pelanggan, agar dapat menurunkan tingkat *churn* pada industri telekomunikasi serta mengoptimalkan program pengembangan loyalitas pelanggan yang efektif.

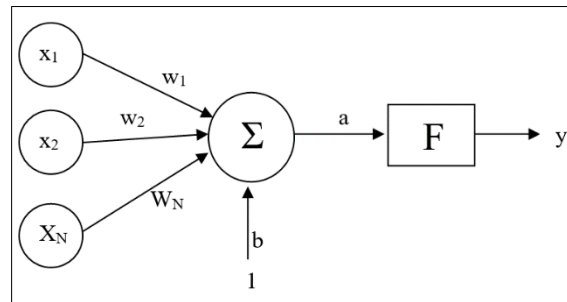
2. METODE PENELITIAN

2.1 Machine Learning

Berdasarkan jenis data dan model yang akan dibangun, dapat diklasifikasikan masalah pembelajaran ke dalam 2 (dua) kategori umum [23], yaitu (1) *Supervised Learning* merupakan model pembelajaran mesin dimana dataset yang digunakan mengandung atau mempunyai label atau target. (2) *Unsupervised learning* merupakan model pembelajaran mesin dimana *dataset* yang digunakan tidak mengandung atau mempunyai label atau target.

2.2 Jaringan Saraf Tiruan (Neural Network)

Neural Network adalah model matematika yang terinspirasi dari cara kerja jaringan saraf dalam otak manusia. Model ini adalah salah satu komponen inti dalam *machine learning* dan *artificial intelligence*. *Neural Network* adalah *data mining* yang menjadi salah satu metode dengan keunggulan tingkat akurasi yang lebih baik atau optimal dibandingkan dengan metode lainnya [24]. *Neural Network* adalah sebuah metode yang terinspirasi oleh struktur jaringan syaraf otak manusia, yang dirancang untuk meniru cara otak manusia melakukan pemrosesan dan penyimpanan informasi [25]. *Neural Network* terdiri dari *node* yang menggabungkan *inputnya*, yang bisa berupa variabel dari basis data atau keluaran dari *node* lainnya. *Node-node* ini dikelompokkan menjadi 3 (tiga) lapisan yang sederhana, yaitu lapisan input, lapisan output, dan lapisan tersembunyi [26]. Berikut adalah gambar jaringan syaraf sederhana dengan fungsi aktivasi F.



Gambar 1 Arsitektur Syaraf Sederhana

Gambar di atas menjelaskan bahwa sebuah *neuron* akan mengolah N input ($x_1, x_2, \dots, x_n$), dengan bobot masing-masing ($w_1, w_2, \dots, w_n$), serta bobos bias b , menggunakan rumus berikut ini:

$$\alpha = \sum_{i=1}^N x_i w_i$$

Selanjutnya, pada fungsi aktivasi F akan akan mengaktivasi y_{in} menjadi output jaringan y [27].

2.3 Backpropagation

Backpropagation merupakan metode yang digunakan dalam pelatihan jaringan saraf tiruan (*neural network*) untuk mengoptimalkan bobot dan bias agar jaringan dapat belajar dari data pelatihan dan menghasilkan prediksi yang akurat. Metode ini adalah jenis pelatihan terawasi (*supervised learning*), yang artinya memiliki pencarian atas targetnya[28]. *Back-propagation* terdiri dari beberapa langkah utama [29]: (1) *Forward Pass*; data pelatihan dimasukkan ke dalam jaringan *neural*. Data tersebut mengalir melalui jaringan dari lapisan *input* hingga mencapai lapisan *output*. Setiap *neuron* dalam jaringan menghitung nilai keluaran berdasarkan bobot dan bias yang terhubung dengannya dan menghasilkan prediksi atau *output* jaringan untuk data pelatihan tertentu. (2) Perbandingan dengan Target; hasil prediksi yang dihasilkan oleh jaringan dibandingkan dengan target yang sebenarnya. Sehingga menghasilkan nilai kesalahan (*error*) yang mencerminkan seberapa besar perbedaan antara prediksi jaringan dan target yang diharapkan. (3) *Backward Pass*; selama tahap ini, setiap *neuron* menghitung *gradien* kesalahan terhadap bobot dan bias yang terhubung dengannya. *Gradien* ini menggambarkan bagaimana kesalahan akan berubah jika bobot atau bias tersebut diubah sedikit. (4) Optimisasi; diperlukan untuk memperbarui bobot dan bias jaringan dengan tujuan untuk mengurangi kesalahan secara bertahap sehingga jaringan dapat belajar dari data pelatihan. (5) Iterasi; seluruh proses ini diulangi untuk setiap data pelatihan dalam set pelatihan. Data pelatihan diacak sebelum setiap iterasi (*epoch*) untuk memastikan bahwa jaringan belajar dari berbagai contoh dengan baik. (6) Konvergensi; proses iterasi dilanjutkan hingga jaringan mencapai tingkat kesalahan yang dapat diterima atau hingga kriteria berhenti tertentu terpenuhi.

2.4. Tahapan Penelitian

Diawali dengan menetapkan algoritma *decision tree* dalam memprediksi loyalitas pelanggan. Adapun tahapan-tahapan yang akan ditempuh dalam penelitian ini berupa Pengolahan data, Eskplorasi Data, *Cleaning Data*, *Encoding*, kemudian Membangun Model, lalu pengujian model dan terakhir Evaluasi dan Validasi Hasil, pada Gambar 2 di bawah ini:

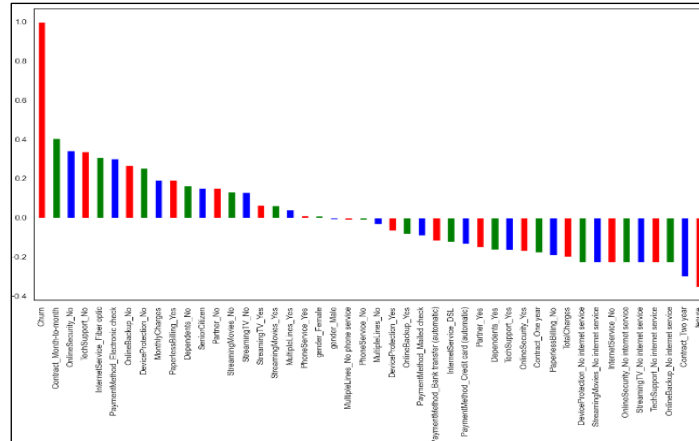


Gambar 2 Tahapan Penelitian

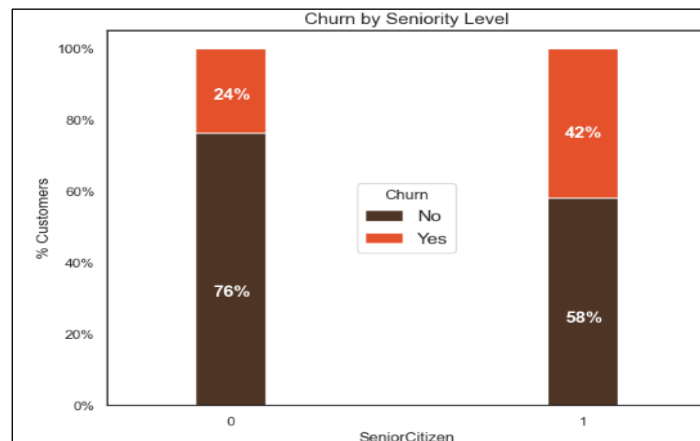
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa dan Eksplorasi Data

Penggunaan *dataset* pada penelitian ini adalah *Dataset Telco Customer Churn* yang berasal dari Kaggle (<https://www.kaggle.com/blaschar/telco-customer-churn>). *Dataset* ini terdiri dari 7043 baris data dan 21 kolom. Untuk mengetahui hubungan atau korelasi fitur yang digunakan sebagai *input* terhadap *label* atau *output*, maka dilakukan analisis statistik dan diketahui bahwa korelasi antara fitur dengan label pada *dataset* ini disajikan pada Gambar 3:

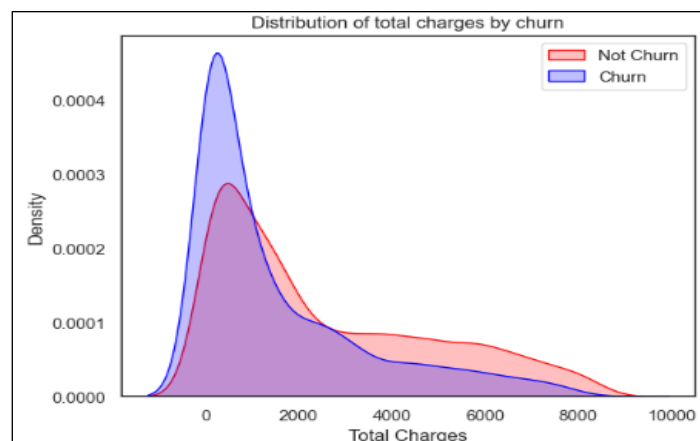
Gambar 3 Korelasi *Feature* terhadap Label

Korelasi atau hubungan tersebut juga dapat dilihat dari distribusi data sebuah *feature* terhadap labelnya dalam bentuk visualisasi data, seperti pada distribusi data berikut ini:



Gambar 4 Distribusi Data *SeniorCitizen* terhadap *Churn*

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa pelanggan dengan usia lanjut memiliki tingkat melanjutkan berlangganan (*YesChurn*), yang lebih tinggi dibandingkan pelanggan berusia muda (hampir dua kali lipat).



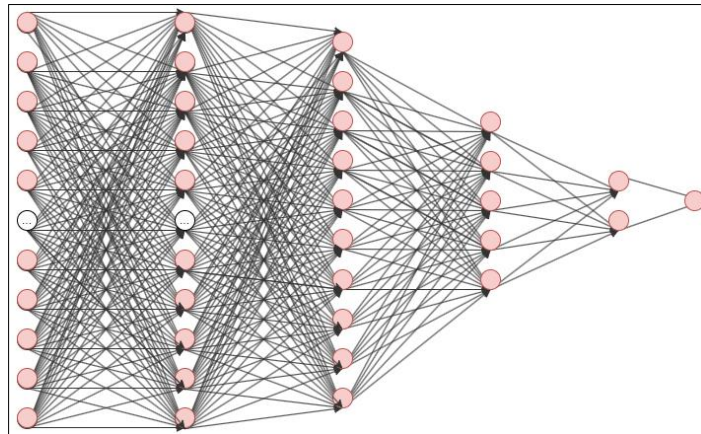
Gambar 5 Distribusi Data *Total Charges* terhadap *Churn*

Grafik di atas menunjukkan bahwa terdapat *trend* ketika total biaya rendah, maka terlihat pelanggan yang lanjut berlangganan (*Yes-Churn*) menjadi tinggi.

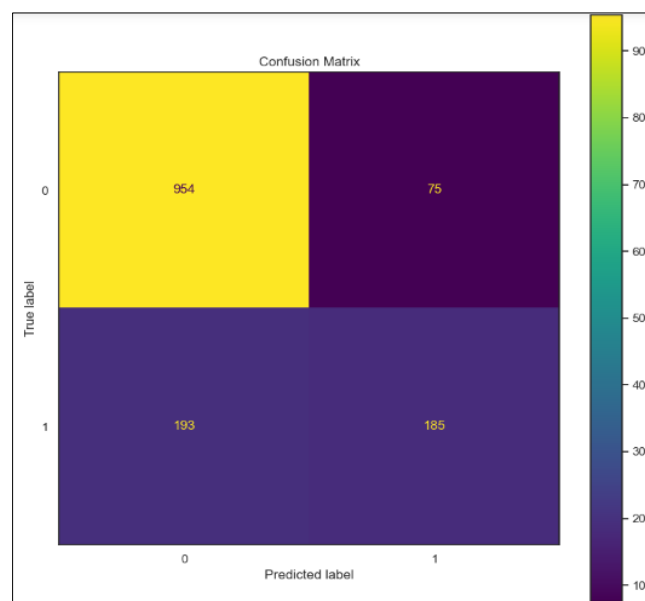
3.2. Model Machine Learning

Pada penelitian akan menggunakan jaringan saraf tiruan metode *backpropagasi* dengan konstruksi atas model *machine learning*. Adapun dataset untuk membangun model ini memiliki dimensi 7043 Baris Data dan 21 kolom, kemudian dataset tersebut dibagi (*split data*) menjadi 80% untuk data latih yaitu sebesar 7043 baris data dan 20% untuk data uji yaitu sebesar 1407 baris data.

Pada pembuatan model *machine learning* ini terdapat beberapa pengaturan parameter di dalam metode *backpropagasi* yang dilakukan dalam pelatihan model, yaitu nilai *epoch* sebanyak 125 kali, nilai *learning rate* diatur pada angka 0.00001 detik dan juga terdapat 1 lapisan *input*, 4 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan *output*. Lapisan ini menerima *input*.

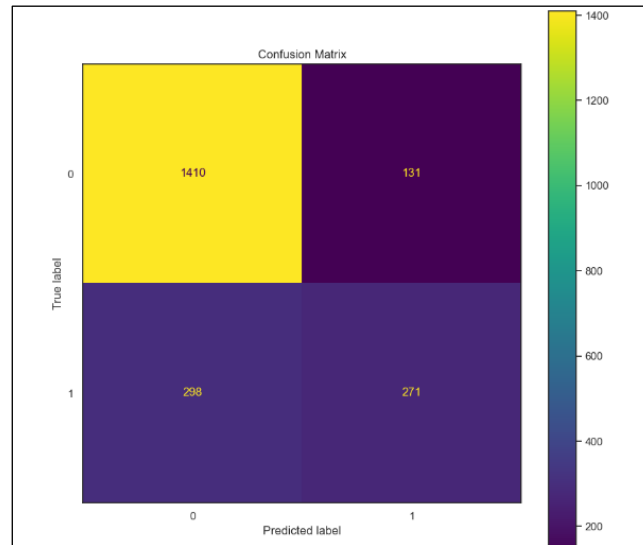
Gambar 6 Arsitektur Metode *Backpropagation*

Setelah pelatihan model, dilakukan proses pengujian model dengan menggunakan data uji yaitu sebesar 1407 baris data (20%) yang telah disiapkan sebelumnya, proses ini dilakukan untuk mengukur kinerja dan performa dari model yang telah dibuat. Adapun metrik evaluasi yang digunakan dalam pengujian model ini meliputi *R-Squared*, *precision*, *recall*, dan *F1-Score*. Dari proses pengujian model yang telah dilakukan didapatkan hasil *R-Squared* sebesar 0,81 (akurasi 81%), *precision* = 0,83, *recall* = 0,93, dan *F1-score* yaitu 0,88, dengan *confusion matrix* yang seperti disajikan Gambar 7 berikut:

Gambar 7 *Confusion Matrix* Pengujian Model

3.3. Evaluasi dan Validasi Hasil

Pada tahapan ini dilakukan proses pengujian model *machine learning* yang telah dibuat dengan menggunakan pola data atau *dataset* baru sebanyak 2110 baris data. Setelah dilakukan pengujian model *machine learning*, hasil akurasi yang didapatkan sebesar 79,66%, dengan nilai *R-Squared* sebesar 0.7966, *precision* sebesar 0,83, *recall* sebesar 0,91, *F1-Score* sebesar 0,87, dengan *confusion matrix* seperti Gambar 8 berikut ini:



Gambar 8 Confusion Matrix Evaluasi Model

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kepada hasil uji yang telah dijabarkan sebelumnya, simpulan penelitian membuktikan bahwa jaringan saraf tiruan metode backpropagasi dapat diterapkan pada sistem prediksi loyalitas pelanggan, dengan nilai *Precision*, *Recall*, *F1-Score* masing-masing sebesar 0,81, 0,93, dan 0,87, serta *R-Squared* sebesar 0.7966. Oleh karena itu, penerapan jaringan saraf tiruan metode backpropagasi pada sistem prediksi loyalitas pelanggan memiliki tingkat akurasi sebesar 79,66 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maulana Ardhiansyah, Nurjaya, and Muhammad Indra Rizaldi, *Data Mining Dan Implementasinya Untuk Klasifikasi Loyalitas Pelanggan*. Tangerang Selatan: Pascal Books, 2022.
- [2] Dita AP et al., "Application of Eisenhower Matrix and Analytic Hierarchy Process for Decision Support System with the SAW Method," *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, vol. 2, no. 3, pp. 147-152, 2021. [Online]. <https://www.allmultidisciplinaryjournal.com/uploads/archives/60AFA1F15488D1622122993.pdf>
- [3] Alanoud Aldalan and Abdulaziz Almaleh, "Customer Churn Prediction Using Four Machine Learning Algorithms Integrating Feature Selection and Normalization in the Telecom Sector," *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 76-83, March 2023. [Online]. <https://publications.waset.org/10012996/customer-churn-prediction-using-four-machine-learning-algorithms-integrating-feature-selection-and-normalization-in-the-telecom-sector>
- [4] Riri Cornellia, Anggi Oktaviani, and Deny Wibisono, "Peningkatan Loyalitas Pelanggan pada PT Home Center Indonesia Menggunakan Metode Algoritma C4.5 dan Metode CSI (Customer Satisfaction Index)," *NUCLEUS*, vol. 3, no. 1, pp. 1-9, Mei 2022.
- [5] Noviyanti Hulu, Amril, and Hayunimah Siregar, "The Effect of Price and Location on Purchasing Decisions at the Swalayan Maju Bersama MMTC Medan," *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, vol. 3, no. 6, pp. 9-16, Oktober 2019.

- [6] H. N. Irmanda, R. Astriratma, and Afrizal, "Perbandingan Metode Jaringan Syaraf Tiruan dan Pohon Keputusan untuk Prediksi Churn," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 11, no. 2, pp. 1817–1825, 2019.
- [7] Siti Ummi Arfah Nasution and Siti Wardah Pratidina Nasution, "The Determinants Factor on Repurchase Intentions: A Study from Developing Economies," *International Journal of Management Science and Application*, vol. 2, no. 2, pp. 87-107, 2023.
- [8] Ari Yulianti, "Pengaruh Kualitas Produk dan After Sales Service terhadap Kepuasan dan Dampaknya pada Loyalitas Konsumen PT. Frismed Hoslab Indonesia," *Jurnal Ekobis Dewantara*, vol. 1, no. 7, pp. 1-8, Juli 2018.
- [9] Roslaeli Elsi, "Analisis Pengaruh Kualitas Pelayanan, Komunikasi, dan Kepuasan terhadap Loyalitas Pengguna Jasa Keagenan Kapal (Studi Kasus pada PT. Djakarta Lloyd (Persero) Cabang Semarang)," Program Studi S1 Transportasi, AMNI Perpustakaan Semarang, Skripsi 2020. [Online]. <http://repository.unimar-amni.ac.id/3061/>
- [10] Aditya Allaam, "Prediksi Churn Konsumen Menggunakan Algoritma Random Forest dengan Fuzzy C-Means untuk Meningkatkan Produktivitas Penjualan Bisnis," Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Skripsi 2023. [Online]. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/70541>
- [11] Hemlata Jain, Ajay Khunteta, and Sumit Srivastava, "Churn Prediction in Telecommunication using Logistic Regression and Logit Boost," in *International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2019)*, vol. 67, Chennai, India, 2020, pp. 101-112.
- [12] T. Husain, "FIFA World Cup 2022 Prediction and Actual Results with Logistic Regression Algorithm: An Evaluation," *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 189-199, January-February 2025.
- [13] Manal Loukili, Fayçal Messaoudi, and Mohammed El Ghazi, "Supervised Learning Algorithms for Predicting Customer Churn with Hyperparameter Optimization," *International Journal of Advances in Soft Computing & Its Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 49-63, November 2022.
- [14] Aldi Nurzahputra, Afifah Ratna Safitri, and Much Aziz Muslim, "Klasifikasi Pelanggan pada Customer Churn Prediction Menggunakan Decision Tree," in *Prosiding Seminar Nasional Matematika X 2016*, Universitas Negeri Semarang (UNNES), February 2017, pp. 717-722.
- [15] Dhiraj Kumar. (2025, April) Implementing Customer Segmentation Using Machine Learning [Beginners Guide]. [Online]. <https://neptune.ai/blog/customer-segmentation-using-machine-learning>
- [16] T. Dwi Ary Widhianingsih, "Klasifikasi Data Berdimensi Tinggi dengan Metode Ensemble Berbasis Regresi Logistik dalam Permasalahan Drug Discovery," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Thesis 2018. [Online]. https://repository.its.ac.id/58120/1/06211650010024-Master_Thesis.pdf
- [17] Ade Rizky Febryananda. (2020) Mengenal Algoritma Klasifikasi K-Nearest Neighbor dalam Analisis Sentimen pada Data Ulasan suatu Produk. [Online]. https://lab_adrk.ub.ac.id/id/mengenal-algoritma-klasifikasi-k-nearest-neighbor-dalam-analisis-sentimen-pada-data-ulasan-suatu-produk/
- [18] Nurlili, "Penerapan Metode Support Vector Machine (SVM) untuk Klasifikasi Uang Kuliah Tunggal di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara," UIN Sumatera Utara, Medan, Skripsi 2023. [Online]. <http://repository.uinsu.ac.id/20846/>
- [19] Intan Nadya Arista *et al.*, "Analisis Keinginan dan Kepuasan Konsumen terhadap Produk Inovasi Mochi Crackers dengan Menggunakan Pendekatan CSI dan IPA," *Jurnal Rimba : Riset Ilmu manajemen Bisnis dan Akuntansi*, vol. 3, no. 1, pp. 01-16, Desember 2024.

- [20] Gyansetu Team. (2025, May) Decision Trees Advantages and Disadvantages. [Online]. <https://www.gyansetu.in/blog/decision-trees-advantages-and-disadvantages/>
- [21] Ihda Innar Ridho, Galih Mahalisa, Dwi Retno Sari, and Ihsanul Fikri, "Metode Neural Network untuk Penentuan Akurasi Prediksi Harga Rumah," *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 13, no. 1, pp. 56-58, January 2022.
- [22] Putu Kussa Laksana Utama, "Implementasi Metode Neural Network pada Perancangan Pengenalan Pola Plat Nomor Kendaraan," in *Proceedings Konferensi Nasional Sistem dan Informatika (KNS&I)*, 2015, Denpasar, Bali, 2015, pp. 921-926.
- [23] Fabio Nelli, *Python data analytics: Data analysis and science using PANDAs, Matplotlib and the Python Programming Language*. New York: Apress, 2015.
- [24] Abraham Situmorang, Arifin, Ilpan Rusilpan, and Christina Juliane, "Analisa dan Penerapan Metode Algoritma K-Means Clustering untuk Mengidentifikasi Rekomendasi Kategori Baru pada List Movie IMDb," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 6, no. 4, pp. 2171-2179, Oktober 2022.
- [25] Nur Ariesanto Ramdhan, "Penerapan Metode Neural Network untuk Prediksi Nilai Ujian Nasional (Study Kasus di SMK Muhammadiyah Slawi)," *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 4, no. 4, pp. 118-130, April 2019.
- [26] Henny Dwi Bhakti, "Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) untuk Memprediksi Masa Studi Mahasiswa Program Studi Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Gresik," *Jurnal Eksplora Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 88-95, September 2019.
- [27] S. Kusumadewi, *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB & Excel Link*. Yogyakarta: Graha Ilmu. Yogyakarta, Graha: Ilmu, 2004.
- [28] David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton, and Ronald J. Williams, "Learning Representations by Back-propagating Errors," *Nature*, vol. 323, no. 6088, pp. 533-536, October 1986.
- [29] Jong Jek Siang, *Jaringan Syaraf Tiruan Pemrograman Menggunakan Matlab*. Yogyakarta, Penerbit Andi, 2005.