



Aplikasi dan Kerentanan Algoritma *Probabilistic Neural Network* (PNN): *Systematic Literature Review*

Febby Apri Wenando^{*1}, Yulia Fatma², Annisa Ulfa³, Salma⁴, Jahro Suroya Taurin⁵

Email: ¹febby.apri@it.unand.ac.id, ²yuliafatma@umri.ac.id, ³2011522015_annisa@student.unand.ac.id,
⁴2011522002_salma@student.unand.ac.id, ⁵2011522013@student.unand.ac.id

^{1,3,4,5}Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas

²Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Riau

Diterima: 10 Agustus 2023 | Direvisi: - | Disetujui: 31 Agustus 2023

©2020 Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

Abstrak (10pt, tebal, dan rata kiri kanan)

PNN (*Probabilistic Neural Network*) adalah salah satu jenis jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*) yang dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, seperti *prediction*, *classification*, *word embedding*, *medical detection*, *biometric identification* dan aplikasi lainnya. Meskipun PNN menunjukkan kinerja yang baik dalam banyak kasus, algoritma ini juga memiliki kerentanan terhadap serangan dan kekurangan tertentu. Oleh karena itu, penelitian tentang aplikasi dan kerentanan PNN sangat penting dalam pengembangan sistem pembelajaran mesin yang lebih aman dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur sistematis tentang aplikasi dan kerentanan PNN. Metode tinjauan literatur sistematis digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis publikasi terkait PNN dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah. Hasil tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa PNN telah berhasil digunakan dalam berbagai aplikasi dan menunjukkan kinerja yang baik. Namun, beberapa studi juga mengungkapkan kerentanan dan kelemahan PNN. Penelitian ini memberikan wawasan tentang aplikasi dan kerentanan PNN, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan teknik yang lebih aman dan andal dalam pembelajaran mesin. Hasil tinjauan literatur ini juga dapat digunakan sebagai sumber referensi bagi peneliti yang tertarik dalam pengembangan sistem pembelajaran mesin yang lebih baik dan andal menggunakan algoritma PNN.

Kata kunci: *Probabilistic Neural Network, PNN, Medical Detection, Biometric Identification*

Systematic Literature Review: Applications and Vulnerabilities of Probabilistic Neural Network (PNN) Algorithms

Abstract

PNN (Probabilistic Neural Network) is an artificial neural network that can be used for various applications, such as prediction, classification, word embedding, medical detection, biometric identification, and other applications. Although PNN performs well in most cases, this algorithm also has specific weaknesses to attacks and flaws. Therefore, research on PNN applications and vulnerabilities is fundamental in developing more secure and reliable machine learning systems. This study aims to conduct a systematic literature review on PNN applications and vulnerabilities. The systematic literature review method identifies and analyzes PNN-related publications from various sources, such as scientific journals. The results of this literature review indicate that PNN has been successfully used in various applications and shows good performance. However, several studies have also revealed the vulnerabilities and weaknesses of PNN. This research provides insight into PNN applications and vulnerabilities, which can be used to develop more secure and reliable techniques in machine learning. The results of this literature review can also be used as a reference source for researchers interested in developing better and more reliable machine learning systems using the PNN algorithm.

Keywords: *Probabilistic Neural Network, PNN, Medical Detection, Biometric Identification*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi menyebabkan terjadinya ledakan data yang signifikan. Peningkatan kecepatan komputasi, pengembangan algoritma baru, dan kemajuan dalam teknologi penyimpanan data telah memungkinkan terciptanya jumlah data yang sangat besar dan kompleks dalam berbagai sektor. Ledakan data ini membawa tantangan baru bagi para pengembang agar bisa mengelola, menyimpan, dan menganalisis data kompleks tersebut secara efektif. Salah satu cara pengembang dalam mengatasi ledakan data ini adalah dengan mempelajari klasifikasi data menggunakan machine learning. Saat ini, sudah terdapat banyak metode pengklasifikasian data, salah satu contohnya adalah algoritma Probabilistik Neural Network (PNN).

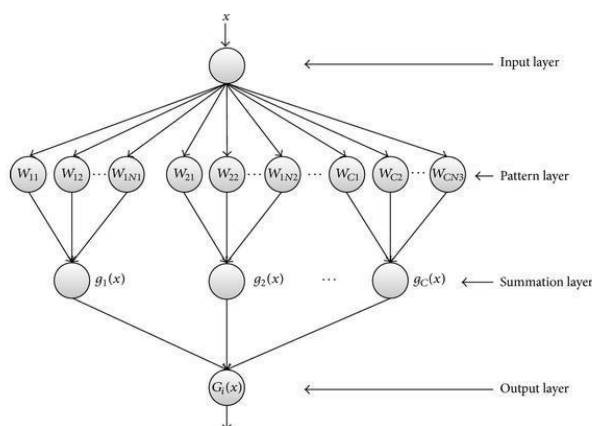
Probabilistic Neural Network (PNN) merupakan jaringan saraf tiruan yang menggabungkan metode klasifikasi berbasis probabilitas dengan jaringan saraf buatan. PNN pertama kali dikembangkan oleh Donald F. Specht pada tahun 1988. PNN termasuk dalam kelompok feedforward pada jenis neural network. Dasar dari PNN adalah jaringan Bayesian dan algoritma statistik bernama Analisis Diskriminan Kernel Fisher. Kegunaan aturan Bayes adalah untuk mengklasifikasikan data. Keputusan pembagian kelas berdasarkan nilai jarak antara fungsi densitas dengan vektor peluang fitur [1].

PNN memiliki kemampuan untuk mengatasi masalah klasifikasi data yang berjumlah besar dan memiliki tingkat dimensi yang tinggi dengan akurasi yang tinggi. Oleh karena itu, PNN menunjukkan potensi yang besar untuk mengatasi berbagai masalah ilmiah dan teknik yang rumit [2].

PNN telah banyak digunakan dalam pembuatan aplikasi di berbagai bidang. Namun seperti pada teknologi umumnya, PNN pasti memiliki kekurangan dan kelebihan. Oleh karena itu tujuan dari tinjauan ini adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi kemampuan PNN sebagai metode klasifikasi data dengan mempertimbangkan beberapa studi terkait PNN yang telah dilakukan pada berbagai aplikasi. Studi terkait yaitu prediction, classification, word embedding, medical detection, dan biometric identification.

1.1. Struktur Algoritma PNN

Struktur jaringan pada Algoritma *Probabilistic Neural Network* (PNN) dapat dilihat pada Gambar 1. [3]



Gambar 1. Struktur *Probabilistic Neural Network* (PNN)

1. Input Layer

Input Layer merupakan lapisan masukan pada metode PNN. Pada lapisan ini akan dipanggil nilai beberapa parameter yang akan digunakan untuk pelatihan. Setelah melakukan proses pelatihan, maka lapisan input akan memanggil data lain untuk melakukan tes pada jaringan yang telah terbentuk dari hasil pelatihan diawal.

2. Pattern Layer

Pada lapisan ini dilakukan perhitungan jarak antara vektor bobot dengan vektor input. Proses yang terjadi pada lapisan ini menggunakan persamaan. Nilai *smoothing* parameter ditentukan secara *trial and error*.

3. Summation Layer

Pada lapisan ini dilakukan penjumlahan kemungkinan maksimum dari setiap unit neuron pada setiap lapisan pattern layer dengan kelas yang sama dan dirata-ratakan dengan jumlah data uji masing-masing kelas.

4. Output Layer

Pada lapisan ini akan dibandingkan nilai antara hasil dari kedua kelas. Nilai probabilitas yang tertinggi maka akan dikelompokkan menjadi kelas tersebut.

1.2. Cara Kerja Algoritma PNN

Cara Kerja PNN didasarkan pada penghitungan nilai fungsi kepekatan peluang ($f_i(x)$) untuk setiap data (vector). Fungsi ($f(x)$) merupakan fungsi pengambilan keputusan Bayes ($g(x)$), untuk data (vector) x dan x_{ij} yang telah dinormalisasi. Persamaan fungsi $f_i(x)$ atau $g_i(x)$ terlihat pada persamaan 1 sebagai berikut [4].

$$f_i(x) = g_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{\rho}{2}} \sigma^{\rho} M_i} \sum_{j=1}^{M_i} \left[\exp \left(-\frac{((x - x_{ij})^T \cdot (x - x_{ij}))}{2 \cdot \sigma^2} \right) \right] \quad (1)$$

Persamaan fungsi $f_i(x)$ atau $g_i(x)$ dengan, $i = 1, 2, \dots, K$
dimana :

- T = Transpose
- i = Jumlah Kelas
- j = Jumlah Pola
- x_{ij} = Vektor pelatihan ke j dari kelas i
- x = Vektor pengujian
- M_i = Jumlah vector pelatihan dari kelas i
- ρ = Dimensi vector x
- σ = Faktor penghalus (standar deviasi)

2. Metodologi

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Systematic Literature Review* (SLR) atau Tinjauan Sistematis Literatur adalah metodologi penelitian yang digunakan untuk menyusun, mengevaluasi, dan menyimpulkan hasil penelitian dari studi yang telah dilakukan sebelumnya terkait dengan topik tertentu. SLR dilakukan dengan mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis semua bukti yang relevan dan tersedia dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Literatur review ini dilaksanakan dengan melakukan pencarian pada database jurnal online yang umum digunakan antara lain *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *JSTOR*, *IEEE Xplore Digital Library*, *IOP Science*, *SpringerLink* dan *database jurnal online* lainnya.. Tujuannya adalah untuk mengetahui beberapa hal berikut yaitu penggunaan, implementasi, aplikasi, kekuatan dan kekurangan dari algoritma *Probabilistic Neural Network* (PNN).

Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Publish or Perish* dengan kata kunci “*Probabilistic Neural Network*” dengan memanfaatkan operator *boolean OR* dan *AND*. Kriteria artikel yang dikaji dalam penelitian ini adalah artikel yang terbit dalam lima tahun terakhir yaitu dari tahun 2018 hingga tahun 2023. Dari pencarian yang dilakukan didapatkan 20 artikel yang nantinya akan dikaji dalam penelitian ini. Peneliti membedah artikel dengan menemukan aplikasi atau penerapan algoritma PNN termasuk kekuatan dan kelemahan algoritma ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1. Aplikasi *Probabilistic Neural Network*

1.1.1. *Prediction*

Analisis prediksi adalah proses mengidentifikasi pola dalam data historis untuk memprediksi nilai atau kejadian masa depan. Analisis prediksi ini sering digunakan dalam berbagai bidang seperti ekonomi, keuangan, bisnis, dan ilmu sosial. Analisis prediksi memainkan peran yang penting dalam memberikan wawasan tentang peristiwa di masa depan, membantu pengambilan keputusan dan meningkatkan kinerja bisnis.

Tujuan utama dari analisis prediksi adalah untuk menghasilkan hasil prediksi yang akurat dan dapat dipercaya. Metode jaringan syaraf menjadi salah satu algoritma yang paling banyak digunakan dalam aplikasi analisis prediksi [5]. Algoritma PNN mampu mengatasi masalah overfitting (kelebihan penyesuaian) dan dapat bekerja dengan baik dalam situasi di mana data yang tersedia terbatas. Selain itu, PNN juga dikenal sebagai algoritma yang cepat dan akurat dalam melakukan klasifikasi data.

Beberapa contoh penggunaan algoritma PNN untuk analisis prediksi yaitu:

- a. **Prediksi posisi kendaraan otonom**
Prediksi posisi dilakukan agar dapat meningkatkan keamanan kendaraan otonom. Berdasarkan penelitian [6], peneliti mengajukan sebuah skema prediksi menggunakan PNN untuk memprediksi posisi kendaraan otonom berdasarkan data yang dikumpulkan oleh unit sisi jalan (RSU). Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema prediksi yang diusulkan dapat meningkatkan keakuratan dan keandalan posisi kendaraan otonom, serta mengurangi risiko kecelakaan dan kegagalan sistem.
- b. **Prediksi arah indeks pasar saham**
Berdasarkan penelitian [7] menyatakan bahwa PNN adalah teknik machine learning yang menjanjikan untuk memprediksi pasar keuangan dengan akurasi yang lebih tinggi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meningkatkan PNN standar dengan menggabungkan distribusi multivariat yang sesuai sebagai distribusi bersama variabel input dan menangani masalah ketidakseimbangan multi-kelas yang ada pada prediksi arah pasar saham. Teknik *ensemble*, yaitu MCUB, diperkenalkan untuk menangani masalah ketidakseimbangan kelas dalam PNN dan mampu menyelesaikan masalah ketidakseimbangan multi-kelas yang ada pada PNN standar dan yang diusulkan. PNN dan teknik MCUB mampu memprediksi arah pasar saham dengan akurasi yang lebih tinggi dan membantu pemangku kepentingan pasar saham membuat keputusan yang akurat.
- c. **Prediksi gangguan kualitas daya listrik**
Berdasarkan penelitian [8], PNN digunakan untuk memprediksi jenis gangguan kualitas daya listrik. PNN dapat digunakan sebagai alat prediksi yang efektif dan akurat untuk memprediksi gangguan kualitas daya listrik dengan memanfaatkan fitur sinyal yang dihasilkan dari data yang diperoleh dari perangkat pemantauan daya listrik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa PNN dapat memprediksi jenis gangguan kualitas daya listrik dengan akurasi yang lebih tinggi daripada metode lain yang telah dicoba dalam penelitian ini.
- d. **Prediksi saturasi air (Sw) dan porositas efektif (PHIE)**
Berdasarkan penelitian [9], penggunaan PNN dapat meningkatkan akurasi prediksi Sw dan PHIE untuk reservoir.

1.1.2. Classification

Klasifikasi melibatkan analisis karakteristik suatu objek dan mengelompokkannya ke dalam kelas umum tertentu atau mengumpulkan objek-objek yang berbeda dan mengklasifikasikannya ke dalam beberapa kelompok berdasarkan karakteristik umum yang dikenal yang memberikan penjelasan tertentu (clustering). Jaringan saraf (Neural Network) dianggap sebagai metode yang paling terkenal dan paling luas digunakan untuk klasifikasi, karena jaringan ini mensimulasikan otak manusia dalam hal cara mendapatkan dan menyimpan informasi dan pengetahuan, serta mengidentifikasi pola dan bentuk yang berbeda untuk memberikan respon yang sesuai terhadap tindakan tertentu. Metode PNN dianggap efisien untuk menyelesaikan beberapa masalah klasifikasi karena sederhana dalam prosedur pelatihannya dan memiliki dasar statistik yang kuat dalam teori estimasi Bayesian [10].

Beberapa contoh penggunaan algoritma PNN untuk klasifikasi yaitu:

- a. **Klasifikasi jenis sedimentasi dasar laut**
Berdasarkan penelitian [11], klasifikasi dilakukan dengan menggunakan citra sonar sisi, terdapat dua jenis fitur, yaitu fitur tekstur dan fitur warna. Kedua jenis fitur tersebut digabungkan dan dimasukkan ke dalam matriks input yang kemudian diolah menggunakan PNN untuk klasifikasi. PNN mengeluarkan kelas yang diprediksi dari vektor sampel dengan probabilitas posterior tertinggi. PNN terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi klasifikasi sedimen dasar laut dibandingkan dengan metode pengelompokan tradisional, dengan akurasi tertingginya yaitu mencapai 92,2%
- b. **Image recognition**
Penggunaan PNN untuk *image recognition* banyak dilakukan. Dalam sebuah penelitian [12], peneliti memodifikasi PNN dengan mengganti fungsi aktivasi eksponensial pada kernel Gauss ke fungsi eksponensial kompleks. Modifikasi ini dilakukan untuk mengatasi kekurangan dalam pemrosesan yaitu kompleksitas waktu runtime dan penggunaan memori yang tinggi. Pendekatan yang diusulkan peneliti terbukti mengurangi kompleksitas waktu runtime dan memori dari PNN namun tanpa kehilangan keuntungan utamanya, yaitu pelatihan cepat dan konvergensi ke keputusan Bayes. Dalam penelitian lain [13], peneliti mengkombinasikan penggunaan algoritma *gradient descent tree* (GBDT) dan algoritma PNN untuk mengklasifikasikan daun. Algoritma GBDT digunakan untuk memilih fitur inti berdasarkan skor kontribusi, dan PNN digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan daun. Berdasarkan hasil klasifikasi daun, peneliti mengevaluasi kinerja model dan efek fitur inti pada model. Dibandingkan dengan model klasifikasi dan pengenalan lainnya, hasil eksperimen menunjukkan bahwa model GBDT-PNN memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dan efek pengenalan dan klasifikasi yang lebih baik.

1.1.3. Word Embedding

Word embedding adalah teknik pemrosesan bahasa alami yang digunakan untuk merepresentasikan kata-kata dalam bentuk vektor numerik dalam ruang multidimensi. Representasi ini memungkinkan mesin untuk memahami makna kata-kata berdasarkan hubungan antara kata-kata tersebut dalam ruang vektor. Dalam *word embedding*, setiap kata direpresentasikan sebagai vektor numerik yang menggambarkan hubungan semantis antara kata tersebut dengan kata-kata lain dalam dataset. Teknik *word embedding* ini sering digunakan dalam aplikasi pemrosesan bahasa alami seperti pemodelan bahasa, analisis sentimen, dan mesin terjemahan. Dalam penelitian [14], peneliti mengamati bahwa dibandingkan dengan Naive Bays, SVM, dan MaxE, *word embedding* (WE) memiliki efek yang luar biasa pada PNN (Probabilistic Neural Network). Dibandingkan dengan teknik tradisional, PNN memiliki akurasi yang lebih tinggi dan waktu pelatihan yang cepat. Hasil investigasi mereka berdasarkan kombinasi hybrid WE dan PNN dapat menjadi solusi yang mungkin untuk meningkatkan kinerja dan akurasi klasifikasi serta mengurangi waktu pelatihan.

1.1.4. Medical Detection

Medical Detection adalah aplikasi yang digunakan untuk mendeteksi penyakit pada tubuh manusia dengan menggunakan teknologi. PNN dapat digunakan untuk *medical detection* untuk mendeteksi penyakit tertentu dengan menganalisis data medis dan memberikan prediksi tentang apakah seseorang memiliki risiko tertentu untuk terkena penyakit. Penggunaan PNN sebagai alat *medical detection* disebabkan karena kelebihan yang dimiliki PNN dibandingkan algoritma lainnya. Seperti output yang optimal yang dihasilkan oleh klasifikasi Bayes dapat dengan mudah dicapai oleh PNN ketika kondisi tertentu diberlakukan, kuat dalam menghadapi noise dan momentum PNN yang semakin cepat karena proses *training* dan *running* dapat diimplementasikan dengan manipulasi matriks [15].

Berikut contoh implementasi PNN dalam pendeteksian medis.

- a. Identifikasi dan klasifikasi penyakit parkinson atau *parkinson disease* (PD) dengan menggunakan suara dan data pribadi. Data input yaitu 1200 rekaman suara sebagai vokalisasi vokal 'a', 'e', 'i', 'o', dan 'u' dalam waktu yang berbeda (pagi, siang, dan malam) dari 62 PD dan 51 orang non-PD yang dikumpulkan dari 2016 hingga 2019. Dari analisis eksperimental, terbukti bahwa kinerja dataset dengan PNN meningkat secara proporsional dengan neuron inkremental di lapisan tersembunyi PNN hingga tujuh dan ditemukan akurasi 100% dengan nilai waktu dan gradien minimum. Model PNN yang diproyeksikan dengan tujuh neuron lapisan tersembunyi adalah alat yang sangat kuat untuk memprediksi PD dalam deteksi dini dengan biaya minimum. Analisis komparatif dengan pendekatan pembelajaran mesin standar lainnya terbukti pada keunggulan kinerja model PNN yang diusulkan untuk keberhasilan identifikasi PD melalui analisis suara [16].
- b. Analisis risiko kanker untuk menyelidiki kemungkinan resiko kanker berdasarkan kondisi medis pada pasien. Algoritma yang diusulkan yaitu dengan menggabungkan tiga metode berbeda, termasuk model Bayesian dan Markov untuk memperkirakan kemungkinan perkembangan penyakit potensial, serta jaringan syaraf probabilistik sebagai model untuk prediksi risiko kanker. Kemudian digunakan data dengan atribut diskrit dan kontinyu dengan ukuran set pelatihan dan pengujian dalam semua kasus masing-masing adalah 75% dan 25%. Set pelatihan digunakan untuk melatih jaringan sedangkan set pengujian untuk tujuan evaluasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan menunjukkan beberapa potensi untuk prediksi yang akurat yaitu 78,93% dibandingkan dengan metode konvensional lainnya [17].
- c. Pendeteksian nodul kecil pada paru-paru dengan menggunakan PNN yang dikombinasikan dengan logika fuzzy. Gambar input yang berupa segmentasi citra rontgen dada dievaluasi dengan menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy tipe-1. Hasilnya diteruskan ke jaringan saraf untuk evaluasi akhir. Model tersebut divalidasi dengan menggunakan gambar sinar X dengan nodul paru-paru. Hasilnya menunjukkan kinerja tinggi dari pendekatan yang dilakukan dengan sensitivitas dan spesifisitas masing-masing mencapai hampir 95% dan 90%, dengan akurasi 92,56% [18].
- d. Pendeteksian kanker payudara dengan menggunakan metode growth region dan probabilistic neural network (PNN). Klasifikasi dilakukan untuk mendiagnosis jenis kanker payudara pada dua dataset utama MIAS (*Mammography Image Analysis Society*) dan BI-RADS menggunakan fitur GLCM dan metode PNN digunakan untuk mengklasifikasikan atau mendiagnosa jenis tumor berdasarkan fitur GLCM yang diekstrak dari gambar hasil GMM dengan data 100 citra kanker payudara ganas dan 100 citra kanker payudara jinak. Hasil clustering menunjukkan bahwa metode FCM-GA yang disajikan mengungguli metode lainnya. Selain itu, akurasi metode pengelompokan untuk FCM-GA adalah 94%, sebagai pendekatan terbaik yang digunakan dalam metode ini. Selain itu, hasil menunjukkan bahwa metode PNN memiliki akurasi dan sensitivitas yang tinggi dengan dataset MIAS [19].
- e. Pendeteksian yang menggunakan visualisasi anomali jantung dan mendiagnosis penyakit kardiovaskular pada tahap awal untuk mencegah komplikasi penyakit dengan mengklasifikasikan sinyal EKG. Probabilistic Neural Network (PNN) digunakan untuk mengklasifikasikan fitur yang diekstraksi untuk membedakan jenis penyakit jantung dengan akurasi maksimum. Kinerja keseluruhan metodologi dievaluasi dengan mengimplementasikan simulink MATLAB secara efisien.

Kemudian analisis komparatif dilakukan antara pengklasifikasi yang berbeda dan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengklasifikasi PNN yang diusulkan memberikan hasil yang optimal dengan akurasi 98,7%, spesifisitas 98,1% dan sensitivitas 97,2%, yang mana relatif lebih baik daripada pengklasifikasi lain yang ada [20].

- f. Pendeteksian penyakit diabetes dengan sistem prediksi menggunakan *Correlation Feature Selection* (CFS) dan *Probabilistic Neural Network* (PNN) yang menyediakan analisis rinci penderita diabetes menggunakan *database* pasien penderita diabetes. CFS awalnya diformulasikan untuk mengidentifikasi fitur yang menonjol untuk repositori diabetes. Fitur yang teridentifikasi dimasukkan ke dalam pengklasifikasian PNN. Model yang diusulkan dibandingkan dengan model algoritma lainnya. Kemudian diperoleh hasil tertinggi dengan akurasi 95,31% [15].

1.1.5. *Biometric Identification*

Biometric identification adalah suatu teknologi yang menggunakan karakteristik atau perilaku unik dari individu yang bertujuan untuk mengidentifikasi identitasnya. Identifikasi biometric yang umumnya digunakan adalah sidik jari, pengenalan wajah, pengenalan suara, retina atau iris mata. Teknologi identifikasi biometrik menjadi salah satu metode identifikasi yang paling efektif dan aman karena data biometrik dari setiap individu tersebut berbeda, maka sangat sulit untuk dipalsukan dan ditiru oleh orang lain.

Terdapat dua model utama yang dipertimbangkan dalam teknologi biometrik, yaitu identifikasi dan verifikasi [21]. Identifikasi dilakukan dengan mencari informasi dari semua individu untuk melihat adanya kecocokan, dan verifikasi adalah membandingkan informasi biometrik individu yang nantinya akan disimpan di dalam sistem yang berguna untuk memvalidasi identitas seseorang.

Berikut adalah contoh implementasi PNN dalam identifikasi biometrik:

- a. Pendeteksian wajah otomatis menggunakan pelatihan baru PNN yaitu algoritma *cross validation* PNN (CVPNN). Hal ini dikarenakan PNN tidak cocok digunakan untuk database yang besar seperti yang umumnya ditemui dalam aplikasi biometrik. Algoritma pelatihan yang diusulkan menghasilkan jaringan lapisan tersembunyi yang hanya berisi contoh representatif dalam kumpulan data training. Hasil yang disajikan menunjukkan peningkatan besar baik dalam kecepatan pemrosesan dan generalisasi dari klasifikasi yang diusulkan [21]. Dalam penelitian lain [22], yang membahas tentang masalah noise pada pendeteksian wajah menggunakan metode grid berdasarkan DWT-2DLDA dan PNN. PNN menunjukkan kinerja yang baik dalam melengkapi klasifikasi wajah dan mendapatkan nilai 98,9% untuk hasil keakuratan pengenalan ketika noise ditambahkan dan dibandingkan dengan beberapa metode baru.
Terdapat penelitian [23] yang juga membahas tentang masalah noise pada gambar pengenalan wajah dan efisiensi pengenalan wajah. Dalam penelitian ini, diusulkan metode pengenalan wajah berdasarkan PNN yang mengoptimalkan sub-ruang dua dimensi. Pertama, variasi wavelet diskrit digunakan untuk memproses gambar, dan kemudian analisis diskriminan linier dua dimensi digunakan untuk ekstraksi fitur. Selanjutnya, jaringan saraf probabilistik digunakan untuk melengkapi klasifikasi wajah. Menurut hasil percobaan yang dilakukan pada database wajah umum ORL dan Fei dan database yang dikumpulkan secara independen, tingkat pengenalan juga dapat setinggi 98,9% ketika kebisingan ditambahkan, dan dibandingkan dengan beberapa metode identifikasi baru.
- b. Pendeteksian sidik jari menggunakan dua fitur ridge pada minutia (ridge ending dan ridge bifurkasi) [24]. Penelitian ini bertujuan untuk identifikasi sidik jari menggunakan algoritma PNN. Hasil percobaan menunjukkan kinerja yang sangat baik dari 10 kelas yang berbeda menggunakan 300 data training dan 100 testing citra sidik jari.
- c. Melakukan pendeteksian terhadap mulut yang digunakan untuk melakukan autentikasi terhadap suatu aplikasi [25]. Tujuan dari penelitian ini adalah agar pendeteksian ini bisa diterapkan pada smartphone. Pada penelitian ini, PNN memiliki nilai akurasi sekitar 84%.
- d. Pendeteksian tulisan tangan yang berfungsi untuk mengautentikasi pengguna sistem secara otomatis Untuk analisis lebih lanjut dan menggunakan metode autentikasi dipilih pola penekanan tombol dan tulisan tangan. PNN dipilih karena algoritma ini cocok untuk melakukan pemecahan masalah pengenalan objek. Hasil percobaan ini membuktikan kebenaran metode yang diusulkan dan efektivitas teknologi pemrosesan primer sampel tulisan tangan yang diusulkan [26].

1.2. Kekuatan dan Kelemahan Probabilistic Neural Network

1.2.1. Kekuatan Probabilistic Neural Network

Dari tinjauan literatur yang dilakukan, PNN digunakan untuk berbagai macam penerapan dan aplikasi dikarenakan keunggulan dan kekuatan yang dimilikinya dalam mengatasi berbagai jenis kasus yang ada. Berikut kekuatan dan keunggulan PNN:

- a. PNN mampu memberikan keputusan yang sangat efisien dan cukup akurat dalam pengenalan objek visual dan pengenalan wajah, terutama ketika dataset pelatihan tidak terlalu besar. Selain itu, metode transfer learning yang digunakan untuk mengekstrak fitur dari jaringan saraf konvulsi yang sudah dilatih sebelumnya dapat memperkaya database pelatihan dan meningkatkan kinerja pengenalan gambar.
- b. Kemampuan PNN dalam klasifikasi yang menghasilkan akurasi yang tinggi saat memprediksi diagnosis penyakit berdasarkan data kesehatan yang mana data yang diolah cukup besar serta terkadang memiliki data yang tidak seimbang dan tidak lengkap.
- c. PNN mampu menangani data yang memiliki noise atau gangguan seperti pada penelitian [21]. Hal ini dikarenakan PNN menggunakan pendekatan probabilitas untuk menentukan kelas yang paling mungkin dari sebuah data yang memungkinkan model untuk menangani data yang tidak sempurna tersebut dengan baik. PNN juga dapat menangani kasus jika terdapat lebih dari dua kelas.

1.2.2. Kelemahan Probabilistic Neural Network

Probabilistic Neural Network (PNN) memiliki kekuatan dalam penggunaannya untuk berbagai macam kasus. Namun ada beberapa kerentanan yang perlu diperhatikan ketika menggunakan PNN. Dari tinjauan literatur yang telah dilakukan ditemukan terdapat beberapa kerentanan PNN yaitu:

- a. Jumlah neuron pada lapisan pola PNN harus sama dengan ukuran *database*. Hal ini dapat menyebabkan kinerja pengklasifikasian menurun dan kompleksitas ruang memori yang tinggi. Namun hal ini dapat diatasi dengan modifikasi PNN yang diusulkan dalam penelitian [14], yaitu dengan mengganti fungsi aktivasi eksponensial pada kernel Gaussian Parzen menjadi fungsi eksponensial kompleks pada Kernel Fejér, jumlah neuron pada lapisan pola dapat dikurangi secara signifikan tanpa kehilangan keuntungan utama PNN. Ini memungkinkan untuk mengurangi kompleksitas waktu proses dan memori dari jaringan yang terkait dengan jumlah data yang besar, yang memberikan keuntungan yang signifikan.
- b. PNN memerlukan banyak data training untuk menghasilkan hasil yang akurat. Keakuratan tersebut akan sulit didapatkan dalam lingkup medis apabila saat menangani kasus penyakit langka yang datanya belum berjumlah banyak.

PNN tidak cocok digunakan untuk klasifikasi dataset yang besar [16,27]. Hal ini dikarenakan PNN memiliki struktur model yang kompleks dan jumlah parameter yang besar yang dapat menyebabkan overfitting pada data pelatihan dan penurunan kinerja pada data pengujian. PNN juga memerlukan memori yang besar untuk menyimpan semua data yang digunakan selama proses pelatihan. Dalam kasus data yang sangat besar, memori yang dibutuhkan akan menjadi terlalu besar dan tidak tersedia pada sistem komputasi yang ada [28].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis yang dilakukan mengenai aplikasi dan kerentanan algoritma *Probabilistic Neural Network* (PNN), dapat disimpulkan bahwa PNN memiliki banyak kegunaan dalam berbagai aplikasi seperti *prediction*, *classification*, *word embedding*, *medical detection*, dan *biometric identification*. Tinjauan literatur sistematis ini juga menunjukkan bahwa PNN memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan algoritma pembelajaran mesin lainnya, seperti kemampuan untuk bekerja dengan data berdimensi tinggi dan kemampuan untuk mengatasi masalah dengan data yang tidak terstruktur.

Namun, meskipun PNN dianggap sebagai algoritma yang kuat dan andal, juga terdapat beberapa kerentanan yang harus diperhatikan. Sebelum menggunakan PNN dalam suatu aplikasi, penting untuk mempertimbangkan karakteristik data yang akan digunakan dan melakukan pengujian yang memadai untuk mengevaluasi kinerja dan kerentanan algoritma. Selain itu, pengembangan teknik-teknik baru untuk meningkatkan kinerja dan mengatasi kerentanan PNN masih perlu dilakukan. Tinjauan literatur sistematis juga menemukan bahwa terdapat beberapa upaya untuk memperbaiki kinerja PNN dan mengatasi kerentanan yang ada. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengganti fungsi aktivasi eksponensial pada kernel Gauss dalam PNN ke fungsi eksponensial kompleks. Selain itu, teknik-teknik lain seperti pemilihan fitur, pengolahan data, dan pengaturan parameter juga dapat meningkatkan kinerja PNN dan mengurangi kerentanan.

Secara keseluruhan, tinjauan literatur sistematis ini memberikan gambaran yang jelas mengenai aplikasi dan kerentanan algoritma PNN, serta solusi untuk mengatasi masalah yang ada. Oleh karena itu, PNN masih merupakan algoritma yang dapat diandalkan dan berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utomo, A. H., Gumilang, M. A., & Ahmad, A. (2022, February). Agricultural Commodity Sales Recommendation System For Farmers Based on Geographic Information Systems and Price Forecasting Using Probabilistic Neural Network Algorithm. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 980, No. 1, p. 012061). IOP Publishing.
- [2] Mohebbali, B., Tahmassebi, A., Meyer-Baese, A., & Gandomi, A. H. (2020). Probabilistic neural networks: a brief overview of theory, implementation, and application. *Handbook of probabilistic models*, 347-367.
- [3] Azizah, P. D. I, "Penerapan Probabilistic Neural Network pada Klasifikasi Berat Bayi Baru Lahir" *Journal Riset Statistika*. 2021.
- [4] Jatmiko, I. Maulana., Munir, M., Putra, N. P. Uman., Rohiem, N. Hananur., Masfufiah, I., "Analisa Sisa Umur Transformator Berdasarkan Pengaruh Pembebanan Menggunakan Metode Probabilistik Neural Network (PNN)," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan X 2022*, 2022.
- [5] Zhang, Shuai, Lina Yao, and Xingquan Zhu. "Deep learning based recommender system: A survey and new perspectives." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 52.1 (2019): 1-38.
- [6] N. Aljeri and A. Boukerche, "A probabilistic neural network-based road side unit prediction scheme for autonomous driving," *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2019.
- [7] V. Chandrasekara, C. Tilakaratne, and M. Mammadov, "An improved probabilistic neural network model for directional prediction of a stock market index," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 24, p. 5334, 2019.
- [8] R. Sharma and L. Srivastava, "Power quality disturbance prediction using PNN," *2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2018.
- [9] S. A. El-Dabaa, F. I. Metwalli, A. T. Amin, and A. A. Basheer, "Prediction of porosity and water saturation using a probabilistic neural network for the Bahariya Formation, Nader Field, North Western Desert, Egypt," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 196, p. 104638, 2022.
- [10] M. Alweshah, L. Rababa, M. H. Ryalat, A. Al Momani, and M. F. Ababneh, "African Buffalo Algorithm: Training the probabilistic neural network to solve classification problems," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 5, pp. 1808–1818, 2022.
- [11] C. Sun, Y. Hu, and P. Shi, "Probabilistic neural network based seabed sediment recognition method for side-scan sonar imagery," *Sedimentary Geology*, vol. 410, p. 105792, 2020.
- [12] A. Savchenko, "Probabilistic neural network with complex exponential activation functions in image recognition," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 31, no. 2, pp. 651–660, 2020.
- [13] Z. Tang, "Leaf image recognition and classification based on GBDT-probabilistic neural network," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1592, no. 1, p. 012061, 2020.
- [14] S. Alam and N. Yao, "Probabilistic neural network and word embedding for sentiment analysis," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 9, no. 7, 2018.
- [15] Kalaiselvi, K., & Sujarani, P. "Correlation Feature Selection (CFS) and Probabilistic Neural Network (PNN) for Diabetes Disease Prediction," *International Journal of Engineering & Technology*. 2018.
- [16] Vital, T. P. Ranga, dkk., "Probabilistic Neural Network-based Model for Identification of Parkinson's Disease by using Voice Profile and Personal Data," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, p. 3383–3407, 2021.
- [17] Yang, C., Yang, J., Liu, Y., & Geng, X. "Cancer Risk Analysis Based on Improved Probabilistic Neural Network," *Frontiers in Computational Neuroscience*, 14. 2020.
- [18] Capizzi, Giacomo, dkk., "Small Lung Nodules Detection based on Fuzzy-Logic and Probabilistic Neural Network with Bio-inspired Reinforcement Learning," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2020.
- [19] Isfahani, Z. N., Jannat-Dastjerdi, I., Eskandari, F., Ghoushchi, S. J., & Pourasad, Y, "Presentation of Novel Hybrid Algorithm for Detection and Classification of Breast Cancer Using Growth Region Method and Probabilistic Neural Network," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021.
- [20] Sathishkumar, S & R. Devi Priya, "Efficient Classification of ECG Signals Using Probabilistic Neural Network in the Detection of Cardiovascular Diseases," *Intelligent Systems And Applications In Engineering*, vol. 10, no. 3, p. 247–255, 2022.
- [21] Goshvarpour, A., & Goshvarpour, A. (2019). Human identification using a new matching pursuit-based feature set of ECG. *Computer methods and programs in biomedicine*, 172, 87-94.
- [22] Lotfi, A., & Benyettou, A. (2018). Cross-validation probabilistic neural network based face identification. *Journal of Information Processing Systems*, 14(5), 1075-1086.

- [23] Zhang, H., & Qiao, F. (2020). Face recognition method based on probabilistic neural network optimizing two-dimensional subspace analysis. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 719, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.
- [24] Indasyah, E., Septian Enggar, S., Horng, S. J., Ketut Edi, P., & Purnomo, M. H. Fingerprint Identification Based on Minutiae Point Using Probabilistic Neural Network.
- [25] Dar, S. A., Palanivel, S., Geetha, M. K., & Balasubramanian, M. (2022). Mouth Image Based Person Authentication Using DWLSTM and GRU. *Inf. Sci. Lett*, 11(3), 853-862.
- [26] Davydenko, A., Vysotska, O., & Shmelova, T. (2019). Methods of Primary Processing Handwriting Samples at User Authentication Using a Probabilistic Neural Network. In *CybHyg* (pp. 723-735).
- [27] Wenando, F. A., Adji, T. B., & Ardiyanto, I. (2017). Text classification to detect student level of understanding in prior knowledge activation process. *Advanced Science Letters*, 23(3), 2285-2287.
- [28] Wenando, F. A., Hayami, R., & Novermahakim, A. Y. (2020, October). Tweet Sentiment Analysis for 2019 Indonesia Presidential Election Results using Various Classification Algorithms. In *2020 1st International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering (ICITAMEE)* (pp. 279-282). IEEE.