

NAIVE BAYES AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION IN EARLY DETECTION OF CHRONIC KIDNEY DISEASE

Hafis Nurdin^{*1}, Suhardjono², Anus Wuryanto³, Dewi Yuliandari⁴, Hari Sugiarto⁵

¹Informatics, Faculty of Information Technology, Universitas Nusa Mandiri, Indonesia

^{2,3,4}Information Systems, Faculty of Informatics Engineering, Universitas Bina Sarana Informatika, Indonesia

⁵Accounting Information System, Faculty of Informatics Engineering, Universitas Bina Sarana Informatika, Indonesia

Email: ¹hafis.nnr@nusamandiri.ac.id, ²suhardjono@bsi.ac.id, ³anus.awu@bsi.ac.id, ⁴dewi.dwy@bsi.ac.id,
⁵hari.hrs@bsi.ac.id

(Article received: January 18, 2024; Revision: February 6, 2024; published: May 27, 2024)

Abstract

Chronic Kidney Disease (CKD) is a global health problem that requires early detection to reduce the risk of complications and disease progression. The Naïve Bayes (NB) algorithm has been proven effective in detecting CKD but its accuracy still varies. The problem with previous research is that it has not fully optimized existing algorithms in terms of accuracy and efficiency. This research aims to develop a more accurate and efficient early detection method for CKD using the NB algorithm and Particle Swarm Optimization (PSO). The NB method is known for its speed and ease of implementation, with global search capabilities and PSO for parameter optimization. Dataset from the UCI repository, which includes data pre-processing, NB implementation, performance evaluation, and enhancement with PSO. The results of NB+PSO show a significant increase in accuracy of 95.75% from 95.00% and Area Under Curve (AUC) value of 0.910% from 0.802% compared to the use of NB alone. The conclusion of this study is that the combination of NB+PSO increases effectiveness in early detection of CKD. This research opens up opportunities for further development in the medical field, especially in improving the diagnostic accuracy of other diseases.

Keywords: Chronic Kidney, Data Mining, Early Disease Detection, Naïve Bayes, Particle Swarm Optimization.

NAIVE BAYES DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION DALAM DETEKSI DINI PENYAKIT GINJAL KRONIS

Abstrak

Penyakit Ginjal Kronis (PGK) merupakan masalah kesehatan global yang memerlukan deteksi dini untuk mengurangi risiko komplikasi dan progresi penyakit. Algoritma Naïve Bayes (NB) telah terbukti efektif dalam mendeteksi PGK namun akurasi masih bervariasi. Permasalahan penelitian sebelumnya belum sepenuhnya mengoptimalkan algoritma yang ada dalam hal akurasi dan efisiensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode deteksi dini PGK yang lebih akurat dan efisien dengan algoritma NB dan Particle Swarm Optimization (PSO). Metode NB yang dikenal dengan kecepatan dan kemudahan implementasinya, dengan kemampuan pencarian global serta PSO untuk optimasi parameter. Dataset dari UCI repository, yang meliputi pra-pemrosesan data, penerapan NB, evaluasi kinerja, dan peningkatan dengan PSO. Hasil NB+PSO menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi sebesar 95,75% dari 95,00% dan nilai Area Under Curve (AUC) sebesar 0,910% dari 0,802% dibandingkan dengan penggunaan NB saja. Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa kombinasi NB+PSO meningkatkan efektivitas dalam deteksi dini PGK. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam bidang medis, terutama dalam peningkatan akurasi diagnostik penyakit lainnya.

Kata kunci: Data Mining, Detek Dini Penyakit, Ginjal Kronis, Naïve Bayes, Particle Swarm Optimization.

1. PENDAHULUAN

Ginjal adalah organ penting bagian dalam tubuh manusia. Ginjal membuang limbah dari darah dengan cara menyaring. Jika sistem penyaringan ini terhambat, protein bisa meresap unsur urin dan

limbah tersebut dan dapat tertinggal dalam darah. Dan secara bertahap, ginjal kehilangan kemampuannya untuk menyaring. Kegagalan ginjal ini disebut Penyakit Ginjal Kronis (PGK), juga dikenal sebagai Penyakit Ginjal Kronis. PGK

merupakan salah satu tantangan kesehatan global yang signifikan, mempengaruhi jutaan orang dan menyebabkan beban ekonomi serta kesehatan yang sulit didapatkan. Di negara-negara berkembang, pasien menjalani pengobatan ketika mereka mencapai kondisi serius. Dari permasalahan PGK tersebut maka memiliki tujuan dalam pendeteksian PGK untuk mengurangnya angka kematian adalah dengan pengobatan secara dini. Sebuah sistem otomatis dapat dibangun untuk mendeteksi terkena CKD pasien secara dini sebelum mencapai tahap terakhir. Deteksi dini PGK sangat kritikal dalam mengurangi progresi penyakit dan meminimalisasi risiko komplikasi. Banyaknya angka kematian pada PGK dalam dekade terakhir, berbagai metode pembelajaran mesin telah menjadi alat yang semakin populer dalam bidang medis untuk memprediksi dan mendiagnosis berbagai penyakit termasuk PGK.

Beberapa studi terdahulu telah dilakukan pengujian menerapkan penggunaan metode dengan nilai metode tertinggi adalah metode Probabilistic Neural Networks [1], SVM (radial)+FS [2], SVM+PSO [3] dan Naïve Bayes (NB). NB dalam berbagai penelitian sebagai metode klasifikasi untuk deteksi dini PGK dengan hasil yang menjanjikan. Dengan menunjukkan tingkat akurasi yang bervariasi secara signifikan berdasarkan data tersebut. Dalam penelitian menggunakan NB mencapai akurasi sebesar 78,00% ini menandai langkah awal dalam penerapan NB dalam konteks PGK [4]. Dari hasil akurasi tersebut mengintegrasikan NB dengan pemilihan fitur menghasilkan lonjakan akurasi signifikan menjadi 99,00%, hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan fitur dalam meningkatkan performa model [5]. Akan tetapi pada tahun 2019 mengalami penurunan dengan akurasi 56,50%, penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih rendah. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti kualitas data atau parameter model [6]. Setelah itu menunjukkan peningkatan dalam penggunaan NB seiring waktu mencapai akurasi 94,50% [7]. Penelitian ini terus menunjukkan peningkatan efektivitas NB dalam deteksi dini dengan akurasi 96,14% [8]. Meskipun memiliki akurasi di bawah 98,81%, penelitian masih mencatatkan hasil yang impresif menekankan efisiensi NB [9]. Hingga akurasi metode NB mencapai akurasi sedikit di bawah 99,08% dan menunjukkan kemampuan NB

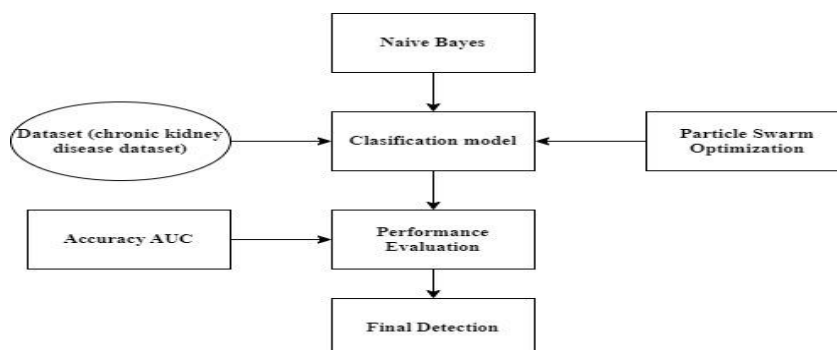
dalam mencapai hasil yang sangat akurat [10]. Walaupun telah ada berbagai metode pembelajaran mesin yang digunakan untuk deteksi dini PGK terutama NB. Namun seperti masih ada keterbatasan model dalam akurasi dan efisiensi prediksi [11]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model yang lebih akurat dan efisien dengan mengintegrasikan algoritma NB dan Particle Swarm Optimization (PSO) [12].

NB merupakan salah satu model klasifikasi berdasarkan probabilistik independensi antar prediktor Model ini sering digunakan karena sederhana dan efektif [13]. PSO sebuah metode heuristik yang terinspirasi dari perilaku sosial burung atau ikan belum dieksplorasi secara luas dalam penelitian PGK ini [14]. Penelitian ini mengusulkan pendekatan hybrid yang menggabungkan kekuatan NB yang terkenal dengan kecepatan dan kemudahan implementasinya dengan kemampuan PSO dalam pencarian global untuk optimasi parameter [15]. Dengan hipotesis bahwa integrasi ini dapat meningkatkan akurasi deteksi dini PGK dengan memperbaiki seleksi fitur dan penyetelan parameter model [16].

Penelitian ini nantinya akan menghasilkan metodologi baru dalam deteksi PGK yaitu NB dan PSO yang dapat memberikan prediksi yang lebih akurat dan efisien. Inovasi ini memiliki penggunaan kombinasi algoritma atau teknik baru dalam preprocessing data yang dapat meningkatkan akurasi prediksi serta berpotensi serta menyediakan sebuah alat bantu diagnostik yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem kesehatan untuk membantu para profesional medis dalam pengambilan keputusan klinis.

2. METODE PENELITIAN

Data mining membantu dalam menganalisis pola dan tren penyakit serta perawatannya, yang memungkinkan para profesional kesehatan untuk memberikan perawatan yang lebih tepat dan efektif sehingga intervensi dapat dilakukan lebih awal untuk mencegah kondisi yang lebih serius. Pada metode penelitian mempunyai tahap-tahap penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode SVM dan PSO yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada Gambar 1. dapat dijelaskan metodologi umum dari sistem yang diusulkan, yaitu kumpulan data diambil dari repositori pembelajaran mesin UCI. Penelitian dimulai dengan dataset penyakit ginjal kronis. Dataset ini adalah kumpulan data yang berisi informasi yang relevan untuk penyakit ginjal kronis yang mungkin termasuk data klinis pasien, hasil laboratorium, dan lainnya. Kumpulan data disiapkan di dalam rapid miner dalam bentuk file xls dengan jumlah 400 data pasien dengan jumlah atribut sebanyak 25. Setelah itu dengan menggunakan rapid miner menggantikan semua nilai yang hilang untuk nominal dan atribut numerik dalam kumpulan data dengan mode dan sarana data. Kumpulan data digunakan untuk pengklasifikasi dasar dan mengevaluasi serta memprediksi penyakitnya. Kemudian terapkan algoritma naïve bayes yang merupakan salah satu cabang dari model klasifikasi, untuk pengklasifikasi dengan menghasilkan hasil yang lebih baik dan kemudian membuat prediksi akhir tercapai. Setelah itu algoritma naïve bayes

dievaluasi berdasarkan metrik kinerja. Ini digunakan untuk mengevaluasi hasil berdasarkan akurasi dan AUC. Setelah dievaluasi metode NB ditingkatkan dengan metode PSO, dan akan menghasilkan nilai akurasi yang meningkat pada dataset. Hasil akhir dari proses ini adalah deteksi akhir, yang berarti model klasifikasi yang sudah dioptimalkan dan dievaluasi digunakan untuk membuat prediksi akhir tentang apakah data baru pasien menunjukkan adanya penyakit ginjal kronis atau tidak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertama-tama, data CKD dimasukkan ke dalam Rapid Miner, diikuti dengan penerapan algoritma Naive Bayes (NB). Selanjutnya, proses data tersebut itu dengan menggunakan Rapid Miner melibatkan penggantian semua nilai yang hilang dalam dataset, baik pada atribut nominal maupun numerik yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sample Dataset

age	bp	sg	al	su	rbc	pc	pcc	ba	bgr	bu	sc	sod	pot	hemo	pcv	wc	rc	htn	dm	cad
48	70	1.0	4	0	1	0	1	0	117	56	3.8	111	2.5	11.2	32	670	3.9	1	0	0
53	90	1.0	2	0	0	0	1	0	70	107	7.2	114	3.7	9.5	29	121	3.7	1	1	0
63	70	1.0	3	0	0	0	1	0	380	60	2.7	131	4.2	10.8	32	450	3.8	1	1	0
68	80	1.0	3	2	1	0	1	1	157	90	4.1	130	6.4	5.6	16	110	2.6	1	1	1
61	80	1.0	2	0	0	0	0	0	173	148	3.9	135	5.2	7.7	24	920	3.2	1	1	1
48	80	1.0	4	0	1	0	0	0	95	163	7.7	136	3.8	9.8	32	690	3.4	1	0	0
69	70	1.0	3	4	1	0	0	0	264	87	2.7	130	4.0	12.5	37	960	4.1	1	1	1
73	70	1.0	0	0	1	1	0	0	70	32	0.9	125	4.0	10.0	29	189	3.5	1	1	0
73	80	1.0	2	0	0	0	0	0	253	142	4.6	138	5.8	10.5	33	720	4.3	1	1	1

Setelah didapatkan dataset yang tertera pada Tabel 1 maka dilakukan pengujian menggunakan metode NB dengan langkah ini memfasilitasi pembentukan metrik kinerja, yang meliputi akurasi dan Area Under Curve (AUC) dari model, untuk tujuan evaluasi. Dari percobaan ini menghasilkan (Akurasi, AUC) kita dapat melihat nilai akurasi sebagaimana tertera pada Tabel 2 dan 3.

Table 2. Confussion Matrix NB

	true 1	true 0
pred 1	233	0
pred 0	17	150

Pada Tabel 2 menjelaskan bahwa model NB dengan benar memprediksi 233 kasus positif dan model dengan benar memprediksi 150 kasus negatif. Akan tetapi model NB salah memprediksi 17 kasus sebagai positif (padahal sebenarnya negatif). Dari Confussion matrix akan menghasilkan pada tabel 3.

Table 3. Accuracy dan AUC Model NB

Metode	Accuracy	AUC
Naïve Bayes	95,00	0,802

Tabel 3 menunjukkan bahwa NB memiliki akurasi yaitu sebesar 95,00% ini berarti menandakan bahwa dalam 95% kasus CKD metode NB berhasil memprediksi hasil dengan benar. Dan dengan nilai

AUC 0,802% yang dianggap cukup baik, namun tidak sempurna.

Dari hasil NB maka dilakukan pada percobaan kedua, metode NB dievaluasi dan ditingkatkan dengan optimisasi model menggunakan PSO untuk meningkatkan akurasi dan AUC. Dari kedua percobaan ini maka akan mendapatkan bobot nilai dari masing-masing atribut seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Table 4. Nilai Bobot Model PSO

Attribute	Weight
age	0.19788478990594227
Bp	0.3485377472975113
Sg	0.8476496319279422
Al	0.3667716600456319
Su	0.20536566789920074
rbc	0.48374876823152735
Pc	0.21051266039372307
pcc	0.004033628904048681
Ba	0.5314321955359439
bgr	0.1224488000556724
Bu	0.2800807804648361
Sc	0.09855702303927727
sod	0.5365518701602274
pot	0.6839333636765325
hemo	0.5271922736428379
pcv	0.09739429533791044
wc	0.5769216048404351
rc	0.47001796387366135
htn	0.023978886452375003
dm	0.877121704447158
cad	0.8439635298910996
appet	0.8588661047675363

pe 0.4330298882075929
ane 0.8034648862633256

Dari semua atribut maka untuk bobot yang tinggi merupakan nilai bobot yang lebih besar dari 0.5 sedangkan nilai yang di bawah 0.5 memiliki bobot yang lebih rendah. Diantara itu ada bobot yang memiliki nilai yang sangat rendah diantaranya atribut pcc, bgr, sc, dan pcv. Dari hasil nilai bobot tersebut maka akan mendapatkan nilai akurasi dan AUC yang terdapat pada tabel 5 merupakan tampilan tabel nilai akurasi metode NB berdasarkan pengoptimalan PSO. Terlihat NB+PSO mengoptimalkan nilai akurasi dan AUC.

Table 5. Confussion Matrix NB+PSO

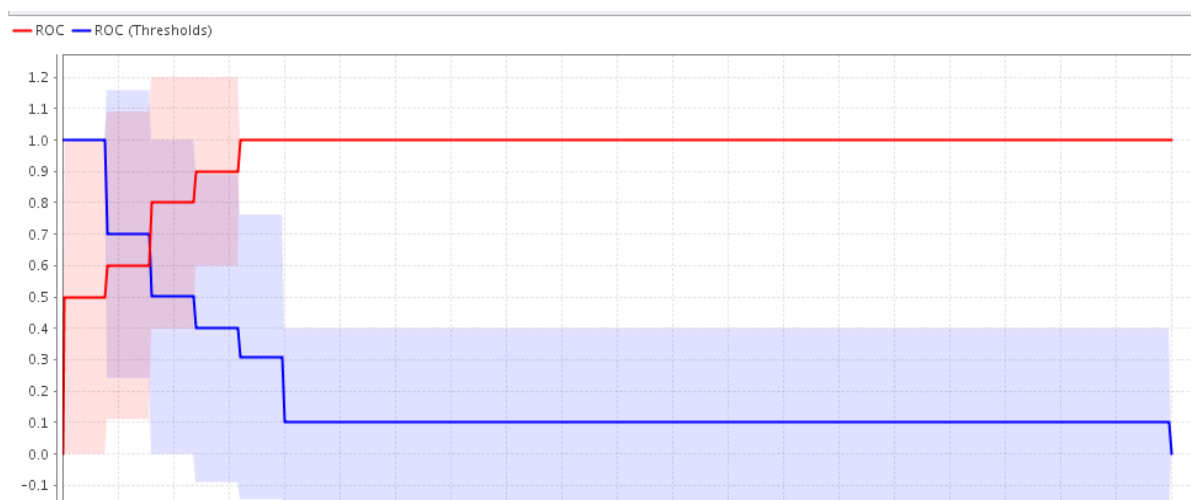
	true 1	true 0
pred 1	55	13
pred 0	41	190

Model NB+PSO dengan benar memprediksi 55 kasus positif dan model dengan benar memprediksi 190 kasus negatif. Akan tetapi model NB salah memprediksi 41 kasus sebagai positif (padahal sebenarnya negatif). Dan memprediksi 13 kasus sebagai negatif (padahal sebenarnya positif). Dari Confussion matrix akan menghasilkan pada tabel 6.

Table 6. Accuracy dan AUC Model NB+PSO

Metode	Accuracy	AUC
Naïve Bayes + Particle Swama Optimization	95,75	0,910

Tabel 6 menunjukkan bahwa NB+PSO memiliki akurasi yaitu sebesar 95,75% ini berarti menandakan bahwa dalam 95,75% kasus CKD metode NB+PSO berhasil memprediksi hasil dengan benar. Dan dengan nilai AUC 0,910% yang dianggap sangat baik dan sempurna, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. AUC Model PSO

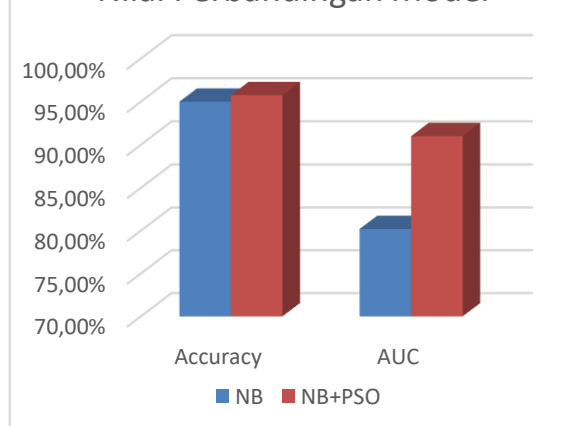
Nilai AUC sebesar 0,910 atau 91,00% sangat baik untuk model klasifikasi. Ini menunjukkan bahwa model Naive Bayes yang telah dioptimasi dengan Particle Swarm Optimization (NB+PSO) memiliki kinerja yang sangat tinggi dalam membedakan antara kelas positif dan negatif. Dengan kata lain, model ini mampu dengan akurat memprediksi kelas positif sebagai positif dan kelas negatif sebagai negatif.

Dari kedua algoritma tersebut baik NB atau NB+PSO akan menghasilkan nilai perbandingan sebagai berikut.

Kenaikan persentase untuk model Naïve Bayes dengan Particle Swarm Optimization (NB+PSO) dibandingkan dengan model Naïve Bayes (NB) adalah sebagai berikut: Akurasi meningkat sebesar 0,75%. AUC meningkat sebesar 0,108 atau 10,80%.

Dengan demikian, model NB+PSO menunjukkan peningkatan akurasi yang relatif kecil tetapi peningkatan yang signifikan pada nilai AUC, yang menunjukkan peningkatan kemampuan model dalam mengklasifikasikan dengan benar dan membedakan antara kelas-kelas yang ada.

Nilai Perbandingan Model



Gambar 3. Diagram Nilai Perbandingan Model

4. DISKUSI

Penelitian awal menggunakan NB menunjukkan akurasi 95,00% dan AUC 0,802. Ini menunjukkan kemampuan yang baik dalam klasifikasi, tetapi ada ruang untuk perbaikan, khususnya dalam aspek AUC.

Fluktuasi dalam performa NB sebelumnya (sejak 2018 hingga 2022) menandakan variabilitas dalam kinerjanya tergantung pada kualitas data dan parameter yang digunakan. Penerapan PSO meningkatkan akurasi menjadi 95,75% dan AUC menjadi 0,910. Ini menunjukkan perbaikan signifikan dalam kemampuan model untuk membedakan antara kelas positif dan negatif. Bobot yang dihasilkan oleh PSO mengindikasikan atribut mana yang lebih penting dalam prediksi, dengan beberapa atribut seperti 'dm' dan 'appet' memiliki bobot tinggi.

Penelitian sebelumnya menggunakan metode NB menunjukkan hasil yang bervariasi. Namun, tidak ada yang menggunakan metode PSO untuk perbandingan langsung. Tren dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan bertahap dalam akurasi dan AUC dengan penggunaan NB+PSO, menandakan efektivitas metode ini dalam meningkatkan klasifikasi. Dari hasil yang didapat dengan membandingkan penelitian sebelumnya, maka dapat dikatakan bahwa dengan metode naive bayes yang dioptimasi PSO memiliki nilai akurasi tertinggi dari pada penelitian sebelumnya dengan metode, data dan perlakuan yang sama dari proses data tersebut.

Hasil menekankan pentingnya pemilihan fitur yang tepat untuk meningkatkan performa model.

Penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada eksplorasi fitur-fitur spesifik yang berkontribusi paling signifikan terhadap akurasi dan AUC, serta pengembangan metode pemilihan fitur yang lebih canggih.

5. KESIMPULAN

Melalui Metode Penelitian yang terstruktur, penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma NB yang dikombinasikan dengan PSO. Hasil yang didapatkan menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi dan AUC (Area Under Curve) ketika NB diintegrasikan dengan PSO, dibandingkan dengan penggunaan NB secara mandiri. Ini menegaskan hipotesis awal bahwa kombinasi NB dan PSO dapat meningkatkan efektivitas deteksi dini PGK. Integrasi NB dan PSO tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi (95,75% untuk NB+PSO dibandingkan dengan 95,00% untuk NB saja) tetapi juga meningkatkan nilai AUC secara signifikan (dari 0,802 menjadi 0,910). Ini menunjukkan bahwa model hybrid ini lebih efektif dalam mengklasifikasikan kasus PGK secara benar.

Di samping itu, penelitian ini membuka prospek pengembangan lebih lanjut dalam bidang medis, khususnya dalam deteksi penyakit ginjal kronis. Penggunaan teknologi seperti NB dan PSO dalam pengolahan data kesehatan menawarkan potensi besar untuk diaplikasikan dalam studi lanjutan, terutama dalam meningkatkan akurasi diagnostik penyakit lainnya. Penelitian ini menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam deteksi dini PGK dengan menggunakan NB dan optimasi PSO.

Peningkatan yang ditunjukkan dalam akurasi dan AUC menggarisbawahi pentingnya teknik optimasi dan pemilihan fitur yang tepat. Meski demikian, ada kebutuhan untuk evaluasi lebih lanjut dan peningkatan model untuk mengatasi batasan yang ada dan meningkatkan efektivitasnya dalam berbagai skenario aplikasi. Penelitian ini memberikan wawasan berharga bagi penelitian ilmiah dan praktisi di bidang kesehatan, menandakan langkah maju dalam penggunaan teknologi AI untuk tujuan klinis seperti deteksi dini penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. H. A. Rady and A. S. Anwar, "Prediction of kidney disease stages using data mining algorithms," *Informatics Med. Unlocked*, vol. 15, no. December 2019, p. 100178, 2019, doi: 10.1016/j.imu.2019.100178.
- [2] E. Purwaningsih, "Improving the Performance of Support Vector Machine With Forward Selection for Prediction of Chronic Kidney Disease," *JITK (Jurnal Ilmu Pengetah. dan Teknol. Komputer)*, vol. 8, no. 1, pp. 18–24, 2022, doi: 10.33480/jitk.v8i1.3327.
- [3] G. Wijaya, "Improvement of Kernel SVM to Enhance Accuracy in Chronic Kidney Disease," vol. 9, no. 1, pp. 136–144, 2024, doi: <https://doi.org/10.33395/sinkron.v9i1.13112> e-ISSN.
- [4] S. B. Akben, "Early Stage Chronic Kidney Disease Diagnosis by Applying Data Mining Methods to Urinalysis, Blood Analysis and Disease History," *Irbm*, vol. 39, no. 5, pp. 353–358, 2019, doi: 10.1016/j.irbm.2018.09.004.
- [5] S. Zeynu, "Prediction of Chronic Kidney Disease Using Data Mining Feature Selection and Ensemble Method," *WSEAS Trans. Inf. Sci. Appl.*, vol. 15, pp. 168–176, 2019, [Online]. Available: <https://www.wseas.org/multimedia/journals/information/2018/a405909-911.php>.
- [6] Arif-UI-Islam and S. H. Ripon, "Rule Induction and Prediction of Chronic Kidney Disease Using Boosting Classifiers, Ant-Miner and J48 Decision Tree," *2nd Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Eng. ECCE 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ECACE.2019.8679388.
- [7] A. Alaiad, H. Najadat, B. Mohsen, and K. Balhaf, "Classification and Association Rule Mining Technique for Predicting Chronic Kidney Disease," *J. Inf. Knowl. Manag.*, vol. 19, no. 1, 2020, doi: 10.1142/S0219649220400158.
- [8] S. Rezayi, K. Maghooli, and S. Saeedi,

- “Applying Data Mining Approaches for Chronic Kidney Disease Diagnosis,” *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, 2021, doi: DOI: <https://doi.org/10.18201/ijisae.2021473640>.
- [9] R. Pramanik, S. Khare, and M. K. Gourisaria, “Inferring the Occurrence of Chronic Kidney Failure: A Data Mining Solution,” 2021, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3346-1_59.
- [10] I. Saha, M. K. Gourisaria, and G. M. Harshvardhan, “Classification System for Prediction of Chronic Kidney Disease Using Data Mining Techniques,” *Lect. Notes Networks Syst.*, vol. 318, no. May 2017, pp. 429–443, 2022, doi: [10.1007/978-981-16-5689-7_38](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5689-7_38).
- [11] M Hafidz Ariansyah, Esmi Nur Fitri, and Sri Winarno, “Improving Performance of Students’ Grade Classification Model Uses Naïve Bayes Gaussian Tuning Model and Feature Selection,” *J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 3, pp. 493–501, 2023, doi: [10.52436/1.jutif.2023.4.3.737](https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.3.737).
- [12] Suhardjono, G. Wijaya, and A. Hamid, “PREDIKSI WAKTU KELULUSAN MAHASISWA MENGGUNAKAN SVM BERBASIS PSO,” *Bianglala Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 97–101, 2019, doi: <https://doi.org/10.31294/bi.v7i2.6654.g3731>.
- [13] N. Widiastuti, A. Hermawan, and D. Avianto, “KOMPARASI ALGORITMA KLASIFIKASI DATAMINING UNTUK PREDIKSI MINAT PENCARI KERJA,” *TEKNOINFO*, vol. 17, no. 1, 2023.
- [14] R. Ridwansyah, G. Wijaya, and J. J. Purnama, “Hybrid Optimization Method Based on Genetic Algorithm for Graduates Students,” *J. Pilar Nusa Mandiri*, vol. 16, no. 1, pp. 53–58, 2020, doi: [10.33480/pilar.v16i1.1180](https://doi.org/10.33480/pilar.v16i1.1180).
- [15] I. Ariyati, S. Rosyida, K. Ramanda, V. Riyanto, S. Faizah, and Ridwansyah, “Optimization of the Decision Tree Algorithm Used Particle Swarm Optimization in the Selection of Digital Payments,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1641, no. 1, doi: [10.1088/1742-6596/1641/1/012090](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1641/1/012090).
- [16] M. Iqbal *et al.*, “Implementation of Particle Swarm Optimization Based Machine Learning Algorithm for Student Performance Prediction,” *JITK (Jurnal Ilmu Pengetah. Dan Teknol. Komputer)*, vol. 6, no. 2, pp. 195–204, 2020, doi: [10.33480/jitk.v6i2.1695](https://doi.org/10.33480/jitk.v6i2.1695).IMPLEMENTATI ON.