

OPTIMISASI PEMILIHAN FITUR UNTUK PREDIKSI GAGAL JANTUNG: *FUSION RANDOM FOREST DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Imam Nawawi¹

Program Studi Sistem Informasi ¹
Universitas Bina Sarana Informatika ¹
<https://www.bsi.ac.id/ubsi/index.js> ¹
imamnawawi@bsi.ac.id ¹



Abstract—Heart failure is a serious, life-threatening cardiovascular disease that increases with age and unhealthy lifestyles. Early prediction is essential to provide timely treatment and reduce mortality. The use of machine learning techniques, especially the Random forest (RF) method, for predicting heart failure has been previously researched, so the problem that occurs is that the RF method does not have maximum results because of irrelevant features. Selection of relevant features is a key step in building an accurate prediction model. Particle Swarm Optimization (PSO) is used to improve feature selection by searching for optimal combinations. The aim of the research is to reduce the mortality rate by improving the RF method with relevant features so as to increase the accuracy of predictions with Fusion RF and PSO. The results show an increase in accuracy of 02.78% to 87.33% with PSO, although the AUC decreased by 0.031%. The advantage of PSO is a significant increase in accuracy, but the disadvantage is a slight decrease in AUC. Future developments could explore how to address AUC degradation without compromising accuracy and transmitting additional relevant features.

Keywords: feature selection, optimization, particle swarm optimization, random forest.

Abstrak—Gagal jantung adalah penyakit kardiovaskular serius yang mengancam jiwa, seiring meningkatnya pertambahan usia dan gaya hidup tidak sehat. Prediksi dini sangat penting untuk memberikan perawatan yang tepat waktu dan mengurangi angka kematian. Penggunaan teknik machine learning, khususnya metode *Random forest* (RF), untuk prediksi gagal jantung yang sudah diteliti sebelumnya, maka dengan permasalahan yang terjadi bahwa metode RF belum memiliki hasil yang maksimal karena fitur-fitur yang tidak relevan. Pemilihan fitur yang relevan adalah langkah kunci dalam membangun model prediksi yang akurat. *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan untuk meningkatkan pemilihan fitur dengan mencari kombinasi optimal. Tujuan penelitian adalah untuk mengurangi angka kematian dengan memperbaiki metode RF dengan fitur yang relevan sehingga dapat meningkatkan akurasi prediksi dengan Fusion RF dan PSO. Hasilnya menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 02.78% menjadi 87.33% dengan PSO, meskipun AUC mengalami penurunan 0.031%. Kelebihan PSO adalah peningkatan signifikan dalam akurasi, tetapi kekurangannya adalah sedikit penurunan AUC. Pengembangan selanjutnya dapat mengeksplorasi cara mengatasi penurunan AUC tanpa mengorbankan akurasi dan mengevaluasi fitur-fitur tambahan yang relevan.

Kata kunci: pemilihan fitur, optimasi, particle swarm optimization, random forest.

PENDAHULUAN

Gagal jantung merupakan salah satu jenis penyakit yang serius yang sering disebut juga kardiovaskular dan dapat mengancam keselamatan jiwa seseorang. Penyakit gagal jantung terjadi saat jantung tidak mampu memompa darah secara efisien ke seluruh tubuh yang dikarenakan dengan menambahnya umur dan gaya hidup yang tidak sehat. Kegagalan jantung adalah fase terakhir dari

semua segala jenis bentuk penyakit jantung dan menjadi penyebab utama peningkatan tingkat kesakitan dan kematian pada individu pasien dengan masalah jantung. Kejadian orang terkena penyakit gagal jantung semakin meningkat dari tahun ke tahun di seluruh dunia. Oleh sebab itu, prediksi secara dini untuk mendeteksi gagal jantung sangat penting dilakukan untuk memberikan perawatan dengan tepat waktu kepada pasien dan mengurangi angka kematian akibat penyakit gagal

jantung tersebut. Untuk memprediksi penyakit ini secara dini sudah banyak dilakukan dari berbagai metode dan teknik pada metode tersebut (Suhardjono et al., 2019). Penelitian yang sudah dilakukan di antaranya.

Penelitian yang dilakukan oleh mamun pada tahun 2022 dimana data penyakit ini dilakukan dengan berbagai metode seperti *Logistic Regression* (LR), *Neural Network* (NN) (Yaqin et al., 2021), *Support Vector Machine* (SVM), *Random forest* (RF), *Decision Tree* (DT), *Naïve bayes* (NB), *XGBoost*, *LightGBM*, KNN dan *Bagging* dari penelitian dilakukan dengan mengevaluasi akurasi, *precision*, *recall* dan *Area Under Curve* (AUC) dan mendapatkan hasil akurasi yang diperoleh adalah bahwa *random forest* mendapatkan akurasi yang tidak maksimal (Mamun et al., 2022). Pada tahun berikutnya yang dilakukan oleh priyanka dengan menggunakan metode DT, RF, *XGBoost* dan SVM yang merupakan akurasi tertinggi di penelitian sebelumnya mendapatkan peningkatan akurasi dari metode sebelumnya (Sachdeva et al., 2023). Dua tahun berikutnya dilakukan kembali penyakit gagal jantung dengan metode DT, LR, RF, NB, dan SVM dengan hasil penelitian akurasi 84.17% untuk metode RF sehingga menjadi peringkat ketiga mengungguli DT dan yang sebelumnya RF dibawah DT (Alotaibi, 2019). Satu tahun berikutnya penelitian yang sama dengan metode RF, DT, NN, NB dan yang sedikit berbeda adalah metode Gradient boosting, Linear regression, k-nearest neighbors dan SVM yang dilakukan dengan perbandingan kernel yaitu radial dan linier serta mendapatkan hasil yang mengejutkan bahwa RF mendapatkan akurasi tertinggi dari metode lainnya (Chicco & Jurman, 2020). Pada tahun 2021 dilakukan kembali penelitian penyakit gagal jantung dengan metode DT, LR, RF, SVM dan beberapa metode baru seperti *Adaptive boosting classifier* (AdaBoost), *Stochastic Gradient classifier* (SGD), *Gradient Boosting classifier* (GBM), *Extra Tree Classifier* (ETC), *Gaussian Naive Bayes classifier* (G-NB) (Ishaq et al., 2021) dan mendapatkan hasil yaitu metode RF menjadi akurasi tertinggi kembali dengan nilai 88.89% (Pal & Parija, 2021).

Dari rangkuman penelitian tentang penyakit gagal jantung yang sudah dilakukan maka, salah satu pendekatan yang populer dalam prediksi gagal jantung adalah menggunakan teknik *machine learning* yaitu metode *random forest* (RF). Dalam hal penelitian ini, pemilihan fitur atau variabel yang sangat relevan dan signifikan merupakan langkah kunci dalam membangun model prediksi yang sangat akurat (Riyanto et al., 2019). Pemilihan fitur yang baik dapat mengurangi overfitting (Iqbal et al., 2020), serta meningkatkan interpretabilitas model, dan menghemat sumber daya komputasi. RF

merupakan algoritma yang sering digunakan dalam prediksi penyakit karena memiliki kemampuan dalam menangani data yang sangat besar dan kompleks serta mampu memberikan estimasi fitur yang sangat penting. Akan tetapi, permasalahan yang terjadi pemilihan fitur yang optimal untuk RF masih merupakan tantangan yang sangat sulit karena algoritma ini memiliki kelemahan untuk menganggap semua nilai fitur secara merata, bahkan jika beberapa nilai fitur tidak relevan atau redundan maka dihitung secara merata.

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah teknik optimasi yang banyak digunakan dalam pemilihan fitur (Ariyati et al., 2020), sehingga dapat mencari kombinasi fitur yang optimal (Hendra et al., 2020) dan tidak menganggap semua fitur secara merata (Bumbungan et al., 2023), sehingga PSO dapat meningkatkan kinerja model prediksi serta meningkatkan akurasi sehingga optimal (Wijaya, 2024). PSO juga dapat meningkatkan hasil kinerja akurasi (Ridwansyah et al., 2019).

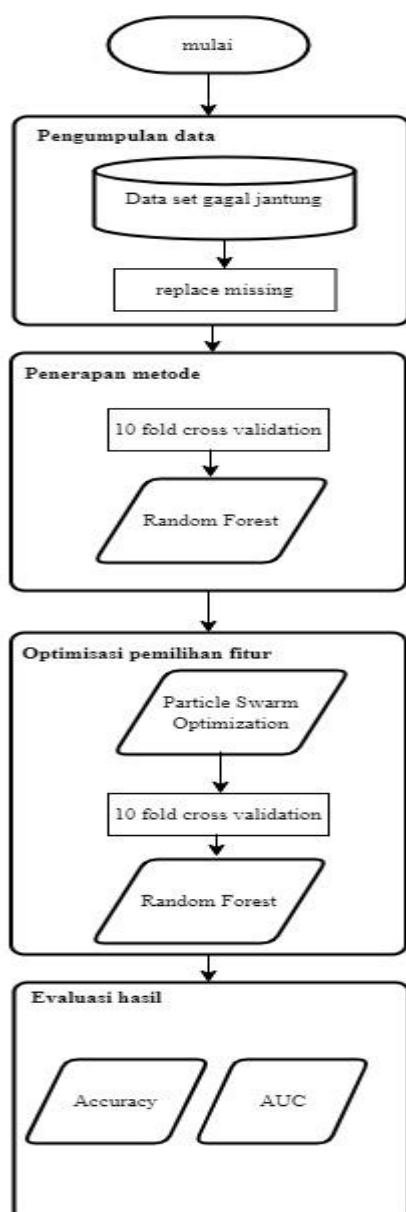
Tujuan dalam penelitian untuk meningkatkan akurasi prediksi gagal jantung dengan mengoptimalkan pemilihan fitur-fitur yang digunakan dalam model prediksi. Dengan menggunakan teknik Fusion RF dan PSO, diharapkan dapat meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi kasus gagal jantung, menurunkan angka kematian pasien penyakit gagal jantung dan mengurangi kelemahan pada metode RF dalam memberikan semua nilai fitur secara merata.

Kontribusi pada penelitian ini yaitu peningkatan metode RF, sehingga metode RF menjadi sempurna dalam prediksi gagal jantung yang disebabkan karena kendala memperlakukan semua fitur secara merata sehingga fitur tidak relevan. Penggabungan RF dan PSO dalam prediksi gagal jantung yang sebelumnya tidak digunakan pada dataset gagal jantung sehingga untuk mengatasi kelemahan metode RF dengan memilih fitur yang relevan. Pentingnya pemilihan fitur yang cermat dalam pembangunan model prediksi medis sehingga hasil yang didapatkan dari penggabungan RF dan PSO yang nantinya akan digunakan dalam pihak medis untuk pengurangan angka kematian dan dapat memprediksi pasien penyakit gagal jantung secara dini.

BAHAN DAN METODE

Metode dalam penelitian ini dibagi menjadi empat langkah: pengumpulan data, penerapan metode, optimisasi pemilihan fitur, dan evaluasi hasil. Bagian ini menjelaskan metode *random forest*, metode optimasi pemilihan fitur yang digunakan untuk meningkatkan akurasi penyakit gagal

jantung, dan arsitektur penelitian. Adapun alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Sumber: (Nawawi, 2023)

Gambar 1. Arsitektur Alur Penelitian

Berikut penjelasan alur penelitian yang terlihat pada gambar 1.

1. Pengumpulan Data

Pada tahap ini yang bertujuan untuk mendapatkan dataset dimana pengumpulan data dilakukan dengan mencari data publik

yang didapat dari data *UCI Repository* dengan mencari data tentang penyakit gagal jantung. Data yang didapat dengan jumlah data sebanyak 299 dengan 12 atribut dan 1 atribut sebagai prediksi. Dari data tersebut akan dilakukan penggantian data yang hilang dengan data dari hasil nilai rata-rata pada atribut yang hilang tersebut.

2. Penerapan Metode

Penerapan metode adalah tahap dimana data gagal jantung yang telah didapatkan dari tahap pengumpulan data akan dilakukan eksperimen dengan menggunakan sebuah metode. Dimana penerapan metode menggunakan *10-Fold Cross Validation* dengan menggunakan metode *random forest*. Dari hasil penerapan metode tersebut maka akan mendapatkan nilai akurasi dan AUC pada metode *random forest*.

3. Optimisasi Pemilihan Fitur

Optimisasi pemilihan fitur adalah metode yang bertujuan untuk mengoptimalkan metode *random forest*. Dimana dalam pengoptimalan metode pada hasil nilai akurasi dari metode yang ingin dioptimalkan dalam hal ini adalah metode *random forest*. Dari hasil dengan metode optimasi *particle swarm optimization* maka nilai akurasi dan AUC tersebut akan maksimal

4. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil adalah dimana tujuannya untuk mengetahui apakah metode optimasi pemilihan fitur berhasil atau tidak, dengan membandingkan kedua nilai akurasi dari metode *random forest* dengan metode optimasi pemilihan fitur atau tanpa optimasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari sumber data sekunder yang berasal dari *UCI Repository*. Data gagal jantung akan menjalani pengujian menggunakan metode RF dan metode optimasi pemilihan fitur yaitu metode PSO. Sebelumnya, data mengalami proses penggantian data yang hilang dengan nilai rata-rata pada masing masing fitur, sehingga data menjadi valid. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada Tabel 2, yang menunjukkan sampel data yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data Sampel Penyakit Gagal Jantung

age	anaemia	creatin pho	diabetes	ejection fraction	high bld_pres	platelets	serum creatin	Serum sodium	sex	smoking	time	Death
75	0	582	0	20	1	265000	1.9	130	1	0	4	1
55	0	7861	0	38	0	263358	1.1	136	1	0	6	1
65	0	146	0	20	0	162000	1.3	129	1	1	7	1
50	1	111	0	20	0	210000	1.9	137	1	0	7	1
65	1	160	1	20	0	327000	2.7	116	0	0	8	1
90	1	47	0	40	1	204000	2.1	132	1	1	8	1
75	1	246	0	15	0	127000	1.2	137	1	0	10	1
60	1	315	1	60	0	454000	1.1	131	1	1	10	1
65	0	157	0	65	0	263358	1.5	138	0	0	10	1
80	1	123	0	35	1	388000	9.4	133	1	1	10	1

Sumber: (Nawawi, 2023)

2. Penerapan Metode RF

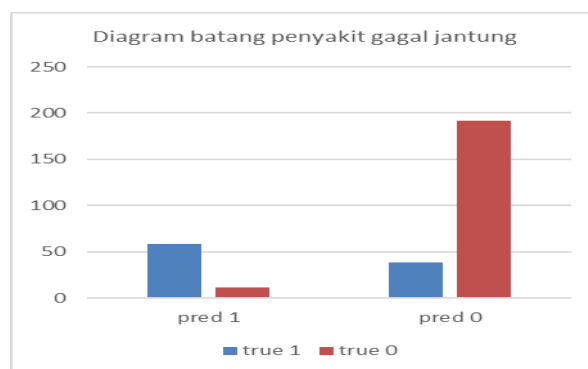
Data yang sudah dikumpulkan dan diproses, akan dilakukan pengolahan data dengan menggunakan validasi silang 10 kali lipat. Data yang divalidasi akan terbagi menjadi data training dan data testing, setelah itu baru akan dilakukan pengujian pada data tersebut dengan metode *random forest*. Data yang sudah di uji akan menghasilkan nilai akurasi dengan metode *random forest* tersebut yang dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Confusion Matrix RF

	true 1	true 0	class precision
pred 1	15	3	83.33%
pred 0	81	200	71.17%
class recall	15.62%	98.52%	

Sumber: (Nawawi, 2023)

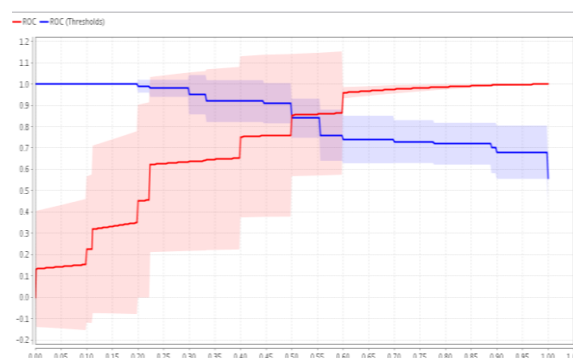
Dari tabel 2 confusion matrix tersebut dapat disimpulkan bahwa orang yang diprediksi terkena penyakit gagal jantung 15 pasien sesuai dengan hasil prediksi, akan tetapi 3 orang yang diprediksi terkena penyakit gagal jantung ternyata hasilnya adalah tidak terkena penyakit gagal jantung. Begitu juga yang diprediksi tidak terkena penyakit gagal jantung 200 orang dan hasilnya sesuai dengan hasil prediksinya, akan tetapi 81 orang diprediksi tidak terkena penyakit gagal jantung dan ternyata orang tersebut terkena penyakit gagal jantung. Sehingga dari tabel *confusion matrix* menghasilkan nilai akurasi sebesar 71.91% dan menghasilkan diagram batang terkena penyakit gagal jantung yang dapat dilihat pada gambar 2.



Sumber: (Nawawi, 2023)

Gambar 2. Diagram Batang Penyakit Gagal Jantung dengan RF

Pada gambar 2 menjelaskan bahwa diagram biru merupakan hasil dari prediksi iya dalam arti terkena penyakit gagal jantung, dan diagram merah menggambarkan hasil dari prediksi tidak terkena penyakit gagal jantung. Dari tabel 2 juga menghasilkan *area under curve* atau yang disingkat (AUC) dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: (Nawawi, 2023)

Gambar 3. Area Under Curve (AUC) dengan RF

Dalam penelitian ini, hasil analisis data menunjukkan bahwa skor rata-rata nilai AUC yang terdapat pada gambar 3 dengan skor nilai 0.725%.

3. Optimasi Pemilihan Fitur

Setelah hasil pengujian data gagal jantung menggunakan *random forest* maka data tersebut akan dioptimisasi pemilihan fitur menggunakan metode *particle swarm optimization* dengan kinerja metode *particle swarm optimization* yaitu atribut yang tidak memiliki bobot akan dihilangkan yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Attribute weight penyakit gagal jantung

Attribute	Weight
age	0
anaemia	1
Creatinine_phosphokinase	0
diabetes	0
Ejection_fraction	0
High_blood_pressure	0.159
platelets	0
Serum_creatinine	1
Serum_sodium	0
sex	0
smoking	0
time	1

Sumber: (Nawawi, 2023)

Dari tabel 3 dapat ditunjukan kenaikan bobot pada masing-masing fitur dengan menggunakan tabel bobot atribut yang diberikan sebagai panduan untuk menghitung nilai *fitness* individu dalam populasi. Atribut dengan bobot 1 akan memiliki pengaruh paling besar dalam perhitungan nilai *fitness*, sedangkan atribut dengan bobot 0 akan dihilangkan. Atribut dengan bobot yang berbeda akan memiliki pengaruh yang sesuai dalam perhitungan nilai *fitness*.

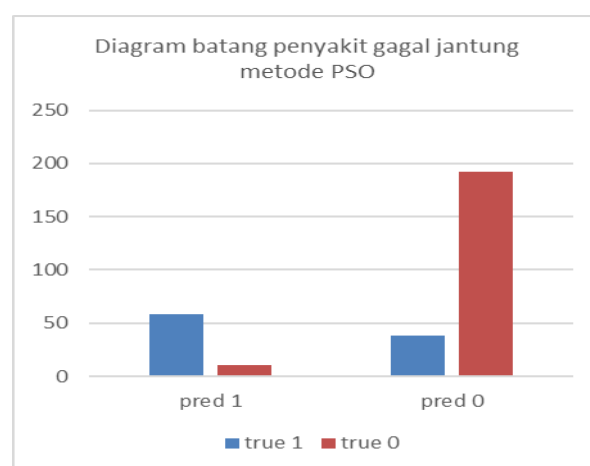
Dengan data yang sudah dioptimisasi akan menghasilkan nilai akurasi dengan metode *random forest* yang sudah dioptimalkan *particle swarm optimization* tersebut yang dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Confusion Matrix Optimisasi Pemilihan Fitur RF

	true 1	true 0	class precision
pred 1	58	11	84.06%
pred 0	38	192	83.48%
class recall	60.42%	94.58%	

Sumber: (Nawawi, 2023)

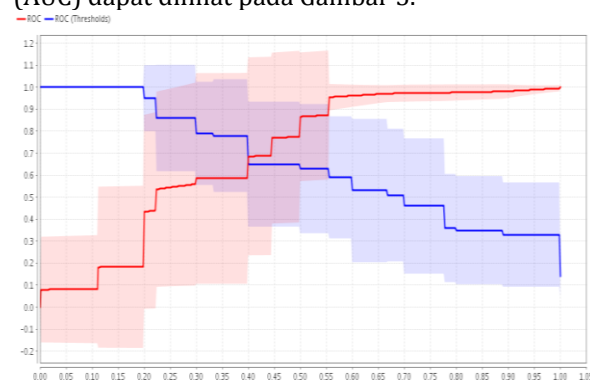
Dari tabel 4 *confusion matrix* tersebut dapat disimpulkan bahwa orang yang diprediksi terkena penyakit gagal jantung 58 pasien sesuai dengan hasil prediksi, akan tetapi 11 orang yang diprediksi terkena penyakit gagal jantung ternyata hasilnya adalah tidak terkena penyakit gagal jantung. Begitu juga yang diprediksi tidak terkena penyakit gagal jantung 192 orang dan hasilnya sesuai dengan hasil prediksinya, akan tetapi 38 orang diprediksi tidak terkena penyakit gagal jantung dan ternyata orang tersebut terkena penyakit gagal jantung. Sehingga dari tabel *confusion matrix* menghasilkan nilai akurasi sebesar 83.64% dan menghasilkan diagram batang terkena penyakit gagal jantung yang dapat dilihat pada gambar 4.



Sumber: (Nawawi, 2023)

Gambar 4. Diagram Batang Penyakit Gagal Jantung Optimisasi Pemilihan Fitur RF

Pada gambar 4 menjelaskan bahwa diagram biru merupakan hasil dari prediksi iya dalam arti terkena penyakit gagal jantung, dan diagram merah menggambarkan hasil dari prediksi tidak terkena penyakit gagal jantung. Dari tabel 4 juga menghasilkan area under curve atau yang disingkat (AUC) dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: (Nawawi, 2023)

Gambar 5. Area Under Curve (AUC) Dioptimisasi Pemilihan Fitur RF

Dalam penelitian ini, hasil analisis data menunjukkan bahwa skor rata-rata nilai AUC yang terdapat pada gambar 5 dengan skor nilai 0.694%.

4. Evaluasi Hasil

Pada data penyakit gagal jantung yang sudah dilakukan pengujian dengan metode *random forest* dengan di optimasi atau tidak oleh metode particle swarm optimization dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Evaluasi akurasi dan AUC

Algorithm	RF	RF Optimasi PSO
Accuracy	84.55%	87.33%
AUC	0.725%	0.694%

Sumber: (Nawawi, 2023)

Pada tabel 5 dapat diketahui bahwa akurasi lebih tinggi dengan menggunakan metode optimasi dengan peningkatan 02.78% dari sebelumnya 84.55% dengan metode RF menjadi 87.33% dengan optimasi pemilihan fitur PSO. Akan tetapi AUC yang didapat mengalami penurunan sebesar 0.031% dari sebelumnya 0.725% dengan metode RF menjadi 0.694% dengan metode PSO.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode optimasi dengan peningkatan sebesar 02.78%, akurasi prediksi dapat ditingkatkan dari 84.55% menjadi 87.33% dengan metode PSO dalam pemilihan fitur. Namun, terdapat penurunan sedikit dalam AUC (*Area Under the Curve*) sebesar 0.031%, dari 0.725% menjadi 0.694% saat menggunakan metode PSO dibandingkan dengan RF. Kelebihan dari metode PSO adalah peningkatan signifikan dalam akurasi prediksi, yang dapat membantu dalam mendeteksi gagal jantung dengan lebih baik. Namun, kekurangannya adalah penurunan sedikit dalam AUC, yang mengindikasikan bahwa meskipun akurasi meningkat, kemampuan model untuk memisahkan antara kelas positif dan negatif mungkin sedikit berkurang. Untuk pengembangan selanjutnya, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengatasi penurunan dalam AUC dengan menggunakan metode PSO atau mungkin mencari metode lain yang dapat mengoptimalkan pemilihan fitur tanpa mengurangi AUC secara signifikan. Selain itu, dapat juga dieksplorasi apakah ada fitur-fitur lain yang lebih relevan untuk meningkatkan prediksi gagal jantung.

REFERENSI

- Alotaibi, F. S. (2019). Implementation of machine learning model to predict heart failure disease. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 261–268.
<https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100637>
- Ariyati, I., Rosyida, S., Ramanda, K., Riyanto, V., Faizah, S., & Ridwansyah. (2020). Optimization of the Decision Tree Algorithm Used Particle Swarm Optimization in the Selection of Digital Payments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1641(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1641/1/012090>
- Bumbungan, S., Kusrini, & Kusnawi. (2023). Penerapan Particle Swarm Optimization (PSO) dalam Pemilihan Parameter Secara Otomatis pada Support Vector Machine (SVM) untuk Prediksi Kelulusan Mahasiswa Politeknik Amamapare Timika. *Jurnal Teknik AMATA*, 4(1), 81–93, doi: <https://doi.org/10.55334/jtam.v4i1.77>.
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). Machine Learning Can Predict Survival of Patients with Heart Failure From Serum Creatinine and Ejection Fraction Alone. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 1–16.
<https://doi.org/10.1186/s12911-020-1023-5>
- Hendra, Azis, M. A., & Suhardjono. (2020). Analisis Prediksi Kelulusan Mahasiswa Menggunakan Decision Tree Berbasis Particle Swarm Optimization. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi Dan Komputer)*, 9(1), 102–107.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32736/sisfokom.v9i1.756>
- Iqbal, M., Herliawan, I., Ridwansyah, Gata, W., Hamid, A., Purnama, J. J., & Yudhistira. (2020). Implementation of Particle Swarm Optimization Based Machine Learning Algorithm for Student Performance Prediction. *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Komputer)*, 6(2), 195–204.
<https://doi.org/10.33480/jitk.v6i2.1695>
- Ishaq, A., Sadiq, S., Umer, M., Ullah, S., Mirjalili, S., Rupapara, V., & Nappi, M. (2021). Improving the Prediction of Heart Failure Patients' Survival Using SMOTE and Effective Data Mining Techniques. *IEEE Access*, 9, 39707–39716.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064084>

Mamun, M., Farjana, A., Mamun, M. Al, Ahammed, M.

- S., & Rahman, M. M. (2022). Heart failure survival prediction using machine learning algorithm: am I safe from heart failure? 2022 *IEEE World AI IoT Congress (AllIoT)*. <https://doi.org/10.1109/AllIoT54504.2022.9817303>
- Pal, M., & Parija, S. (2021). Prediction of Heart Diseases using *Random forest*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1817(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1817/1/012009>
- Ridwansyah, Ariyati, I., & Faizah, S. (2019). Particle Swarm Optimization Berbasis Co-Evolusioner Dalam Evaluasi Kinerja Asisten Dosen. *Jurnal SAINTEKOM*, 9(2), 166–177. <https://doi.org/https://doi.org/10.33020/saintekom.v9i2.96>
- Riyanto, V., Hamid, A., & Ridwansyah. (2019). Prediction of Student Graduation Time Using the Best Algorithm. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24014/ijaidm.v2i1.6424>
- Sachdeva, R. K., Singh, K. D., Sharma, S., Bathla, P., & Solanki, V. (2023). An Organized Method for Heart Failure Classification. 2023 *International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)*, doi: 10.1109/ESCI56872.2023.10099809.
- Suhardjono, Wijaya, G., & Hamid, A. (2019). Prediksi Waktu Kelulusan Mahasiswa Menggunakan SVM Berbasis PSO. *Bianglala Informatika*, 7(2), 97–101. <https://doi.org/10.31294/bi.v7i2.6654>
- Wijaya, G. (2024). Improvement of Kernel SVM to Enhance Accuracy in Chronic Kidney Disease. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika*, 9(1), 136-144, doi: 10.33395/sinkron.v9i1.13112.
- Yaqin, A., Laksito, A. D., & Fatonah, S. (2021). Evaluation of Backpropagation Neural Network Models for Early Prediction of Student's Graduation in XYZ University. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 11(2), doi: <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.11.2.11152>.