

Deteksi Penyakit Aritmia pada Sinyal Elektrokardiogram Menggunakan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST)

1st Regisa Nusyahya
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

regisanus@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Irma Safitri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

irmasaf@telkomuniversity.ac.id

3rd Efri Suhartono
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

Efrisuhartono@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Jantung adalah salah satu organ vital yang berfungsi memompa ke seluruh tubuh manusia. Sehingga jantung harus selalu dalam keadaan baik karena ada beberapa gangguan fungsi jantung yang berakibat fatal bahkan bisa menyebabkan kematian, salah satunya adalah penyakit aritmia. Pada penelitian kali ini akan dirancang sebuah sistem untuk mendeteksi penyakit aritmia pada sinyal EKG menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan (JST) dengan metode Interpolasi linier. Pada penelitian kali ini dataset yang digunakan terbagi kedalam dua kelas. Kemudian dilakukan juga beberapa skenario pengujian guna mencari hyperparameter terbaik. Ketika menggunakan data sebelum Interpolasi linier, hasil hyperparameter terbaik yang didapatkan adalah epoch 500, *learning rate* 0,01, *batch size* 64 dan optimizer adam. Akurasi yang didapat ketika menggunakan hyperparameter terbaik ini mendapatkan validasi akurasi sebesar 0,8571 dan validasi loss sebesar 0,4227. Kemudian hasil setelah dilakukannya pre- processing menggunakan Interpolasi linier terlebih dahulu, nilai hyperparameter terbaik yang didapatkan adalah epoch 500, *learning rate* 0,001, *batch size* 32 dan optimizer adam. Akurasi yang didapat ketika menggunakan hyperparameter terbaik ini adalah sebesar 0,6813 dengan loss 0,6203.

Kata kunci— Aritmia, Elektrokardiogram (EKG), Interpolasi linier, Jaringan Saraf Tiruan (JST).

I. PENDAHULUAN

Jantung adalah salah satu organ vital yang berfungsi memompa ke seluruh tubuh manusia. Gangguan fungsi jantung dapat berakibat fatal bagi kesehatan manusia. Beberapa gangguan jantung bahkan dapat menyebabkan kematian. Penyakit jantung merupakan penyakit yang mematikan nomor satu di dunia, terutama di kalangan orang dewasa dan orang tua. Pada tahun 1990, 14,4 juta orang meninggal dikarenakan penyakit jantung. Jumlah tersebut akan meningkat dari 14,4 juta menjadi 17,5 juta pada tahun 2005 dan pada tahun 2030 diperkirakan akan meningkat lagi menjadi 23,6 juta [1]. Aritmia merupakan salah satu penyakit jantung yang berbahaya. Gangguan penyakit aritmia tersebut dapat didefinisikan sebagai sebuah kelainan dalam kecepatan, irama, tempat asal dari rangsangan atau juga penghantar yang dapat menyebabkan

perubahan pada urutan normal aktivasi atrium dan juga vertikal [2].

Penyakit Aritmia biasanya dapat dideteksi oleh sinyal (EKG) dengan membaca rekaman aktivitas jantung. Aktivitas tersebut dapat terjadi saat suatu otot berkontraksi. Kontraksi tersebut dapat menyebabkan perubahan listrik di dalam jantung yang biasa disebut depolarisasi. EKG merupakan rekaman aktivitas elektrik sebuah jantung [2]. Seiring dengan berjalannya zaman, banyak alat teknologi yang dibuat agar dapat membantu mengidentifikasi sinyal EKG. Hal tersebut dimanfaatkan oleh para dokter atau tenaga medis bertujuan untuk menganalisis aktivitas jantung yang *abnormal*, berharap agar mendapatkan hasil yang akurat dan optimal dengan waktu yang seefektif mungkin.

Pada tugas akhir ini merancang sebuah sistem untuk mendeteksi adanya penyakit aritmia pada jantung seseorang menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan memanfaatkan metode Interpolasi linier. Penelitian ini dilakukan untuk mengklasifikasi sinyal EKG dengan menguji sistem menggunakan beberapa *hyperparameter*. Pengujian sistem dengan berbagai *hyperparameter* bertujuan untuk mendapatkan parameter terbaik sehingga hasil klasifikasi sinyal EKG yang didapatkan akurat.

II. KAJIAN TEORI

A. Jantung

Jantung merupakan salah satu organ penting dalam tubuh manusia yang berfungsi untuk memompa darah keseluruh tubuh. Anatomi dasar jantung terdiri dari atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, dan ventrikel kiri. Didalam jantung terdapat sel-sel yang menghasilkan impuls-impuls listrik yang berfungsi untuk memompa darah dengan bantuan otot-otot jantung.

B. Elektrokardiogram

Elektrokardiogram (EKG) adalah rekaman sinyal biomedis yang ditimbulkan oleh aktivitas sel listrik otot jantung pada saat jantung berkontraksi [3]. Sinyal EKG memiliki bagian-bagian yang terdiri dari tiga gelombang,

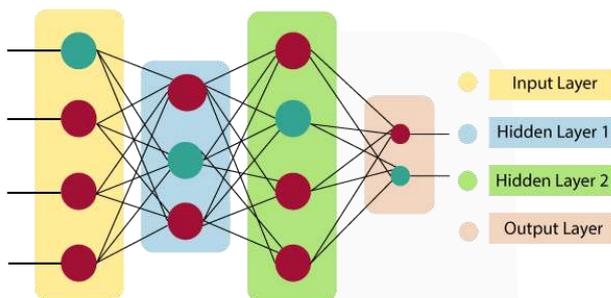
yaitu gelombang P, gelombang QRS (gelombang kompleks), dan gelombang T [4].

C. Aritmia

Aritmia adalah salah satu penyakit kelainan pada irama jantung manusia. Aritmia merupakan suatu kelainan dalam kecepatan, irama, tempat asal rangsangan atau gangguan pengahantar yang dapat menyebabkan perubahan dalam urutan normal aktivasi atrium dan vertikel [5]. Pada umumnya penyakit aritmia terdiri atas dua kelompok besar, yaitu bradikardia yang dicirikan dengan laju jantung yang terlalu lambat (kurang dari 60 kali permenit) dan takikardia yang dicirikan dengan laju jantung terlalu cepat (lebih dari 100 kali permenit) [6].

D. Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologis (JSB) Jaringan Saraf Tiruan tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia [7]. JST mencoba meniru *neural network* yang membentuk otak manusia sehingga komputer akan memiliki pilihan untuk memahami berbagai hal dan membuat keputusan dengan cara yang mirip manusia. Algoritma JST dirancang dengan menggunakan pemrograman komputer untuk berperilaku seperti sel-sel otak yang saling berhubungan [8].



GAMBAR 2.1
JARINGAN SARAF TIRUAN

E. Confusion Matrix

confusion matrix merupakan suatu langkah yang baik agar mendapatkan hasil yang terbaik. *Confusion matrix* sendiri pada dasarnya memberikan informasi dari hasil perbandingan antara hasil klasifikasi sistem yang kita buat dengan hasil yang sebenarnya dalam bentuk tabel matriks [9].

True	Positive	TP	FN
	Negative	FP	TN
		Positive	Negative
		Predicted	

GAMBAR 2.2
CONFUSION MATRIX

1. Akurasi

Akurasi merupakan tingkat kedekatan antara nilai yang diprediksikan dengan nilai sebenarnya. Akurasi dapat

dikatakan sebagai suatu rasio prediksi yang benar (positif dan negatif) terhadap keseluruhan datanya. Akurasi sendiri dapat memberitahu seberapa akurat sistem yang sebelumnya telah dirancang didalam pengklasifikasian [10] [11]. Untuk menghitung akurasi dapat menggunakan rumus (2.1)

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2.1)$$

2. Presisi

Presisi merupakan suatu rasio prediksi perbandingan antara benar (positif) dengan seluruh hasil prediksi positif lainnya (benar dan salah). Presisi sendiri dapat memberitahu keakuratan antara sebuah data yang diminta dengan hasil yang diprediksikan oleh sistem [11]. Untuk menghitung presisi bisa menggunakan persamaan (2.2)

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2.2)$$

3. Recall

Recall merupakan suatu rasio perbandingan antara prediksi benar (positif) dengan prediksi benar (positif) dan salah (negatif). *Recall* sendiri dapat memberitahu keberhasilan suatu sistem ketika sebuah informasi ditemukan lagi. Untuk mendapatkan nilai *Recall* dapat menggunakan persamaan (2.3) [11].

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2.3)$$

4. F1-score

Perhitungan nilai *F1-score* dapat digunakan untuk membuat nilai *recall* yang tinggi dan nilai *precision* yang rendah atau sebaliknya dapat seimbang. Untuk mendapatkan nilai *F1-score* bisa menggunakan persamaan (2.4).

$$f - 1 \text{ score} = 2 \times \frac{recall \times presisi}{recall + presisi} \quad (2.4)$$

5. Loss

Loss merupakan ketidaktepatan sistem untuk mendeteksi input, sehingga output yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mengetahui nilai *loss* dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan (2.5) [12].

$$loss = \frac{FP+FN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2.5)$$

F. Interpolasi linier

Interpolasi linier merupakan suatu teknik menentukan nilai fungsi dari setiap titik perantara ketika nilai dari dua titik yang berdekatan diketahui. Interpolasi linier pada dasarnya adalah estimasi nilai yang tidak diketahui yang berada dalam dua nilai yang diketahui. Interpolasi linier digunakan dalam berbagai disiplin ilmu seperti statistik, ekonomi, penentuan harga, dll. Digunakan untuk mengisi kesenjangan dalam data statistik demi kelangsungan informasi [13].

G. Optimizer

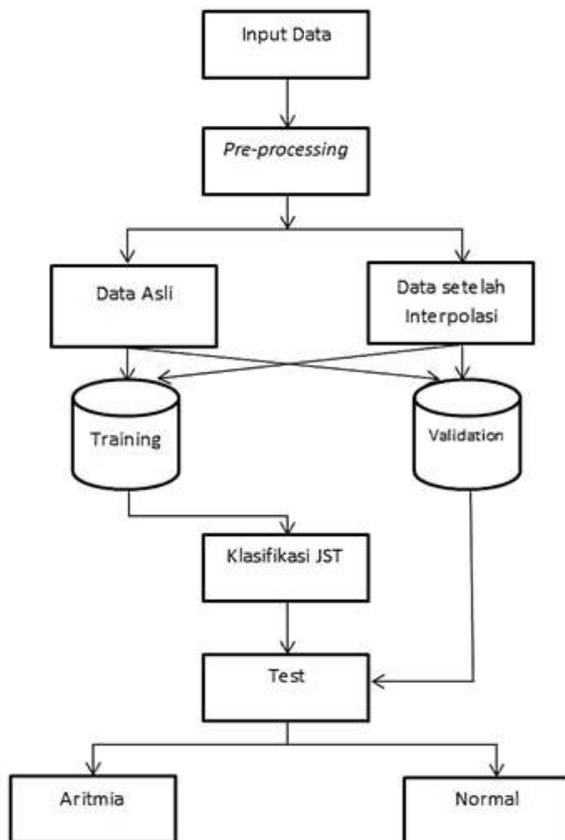
Optimizer suatu fungsi yang digunakan bertujuan meminimalkan *error* dan meningkatkan proses performansi pada suatu sistem [14]. Pada tugas akhir ini menggunakan

tiga *optimizer* yaitu: *Stochastic Gradient Descent* (SGD), *Root Mean Square Propagation* (RMSprop), dan *Adaptive Moment Estimation* (Adam).

III. METODE

A. Perancangan sistem

Sistem yang dirancang nantinya akan digunakan pada klasifikasi sinyal EKG ke dalam dua kelas, yaitu penderita aritmia dan jantung normal. Namun pada tugas akhir ini data yang didapat sudah berbentuk tabular dan disimpan dalam bentuk "csv". Sistem yang dirancang menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan metode interpolasi linier. Gambaran umum sistem diilustrasikan dengan blok diagram pada Gambar 3.1



GAMBAR 3.1

GAMBARAN BLOK DIAGRAM SISTEM SECARA KESELURUHAN

1. Dataset

Pada tugas akhir ini menggunakan *dataset* yang diambil dari situs web DataHub.io. Data yang diambil dari web tersebut memiliki data penderita aritmia dan normal yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini. Data tersebut sudah berbentuk dalam tabel atau tabular. Hasil rekaman data akan disimpan dalam format 'csv'. Total data tersebut berjumlah 453 data. Terbagi menjadi 245 data jantung normal dan 207 data penderita aritmia. Dataset tersebut terbagi menjadi data uji dan data latih, yaitu 80% data latih dan 20% data uji. Pada Gambar 3.2 merupakan contoh dataset yang digunakan.

2. Preprocessing

Tahap ini yaitu *pre processing* yang merupakan proses awal dimana sebelum data dimasukkan ke sistem, proses ini bertujuan agar dapat meningkatkan

dan memperbaiki kualitas data agar data tersebut dapat mengembangkan performansi sistem.

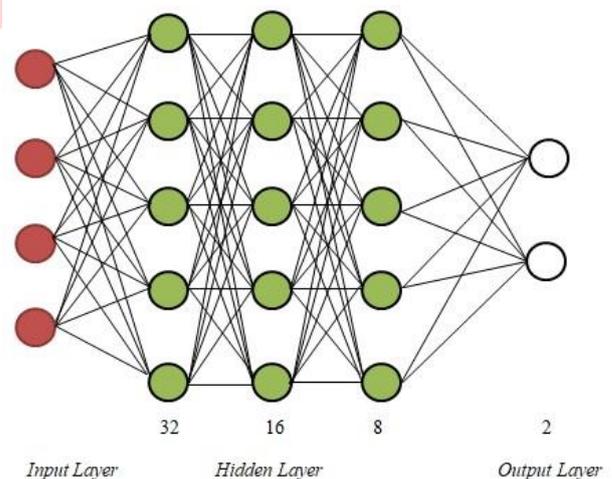
Hasil yang didapat pada tahap *pre processing* dari 453 setelah dilakukan drop data, drop kolom dan mengubah data menjadi *binary classification* hanya 68 data saja yang bisa digunakan, dikarenakan data lainnya bernilai *null* atau tidak bisa digunakan.

3. Interpolasi linier

Pada tahap ini menggunakan metode Interpolasi linier bertujuan untuk menambah data yang sebelumnya tidak bisa digunakan atau *null*. Penggunaan metode ini bertujuan agar semua data bisa dipakai dengan harapan mendapatkan hasil akurasi yang maksimal. Nantinya penulis akan melakukan pengujian perbandingan antara data asli dengan data yang sudah dilakukan Interpolasi linier pada bab 4 nanti.

4. Klasifikasi JST

Gambar 3.2 merupakan klasifikasi JST



GAMBAR 3.2
KLASIFIKASI JST

Pada Gambar 3.2 merupakan rancangan arsitektur JST. Dapat dilihat arsitektur tersebut terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Pada bagian *input layer* memiliki *neuron* berjumlah n data, data tersebut merupakan inputan data yang sebelumnya sudah di *pre-processing*. Pada bagian *hidden layer* ini memiliki tiga *hidden layer*. Pada *hidden layer* pertama memiliki *neuron* yang berjumlah 32, *hidden layer* kedua memiliki *neuron* yang berjumlah 16, dan untuk *hidden layer* yang ketiga memiliki *neuron* dengan jumlah 8. Parameter yang digunakan pada setiap *hidden layer* ini memakai fungsi aktivasi yaitu *Rectified Linear Unit* (ReLU). Pada *hidden layer* juga dilakukan proses *dropout layer* untuk mengantisipasi masalah *overfitting*. Pada bagian *output layer* ini memiliki *neuron* yang berjumlah 2 yaitu aritmia dan normal. Pada tugas akhir ini keluaran yang ingin dicapai yaitu aritmia dan normal pada pengklasifikasian JST ini. Oleh sebab itu digunakan *binary_crossentropy* untuk *loss function* pada proses *learning* dan fungsi aktivasi yaitu *sigmoid* pada bagian *output layer*.

B. Klasifikasi JST

Parameter yang digunakan untuk menguji sistem pada Tugas Akhir ini diantaranya adalah :

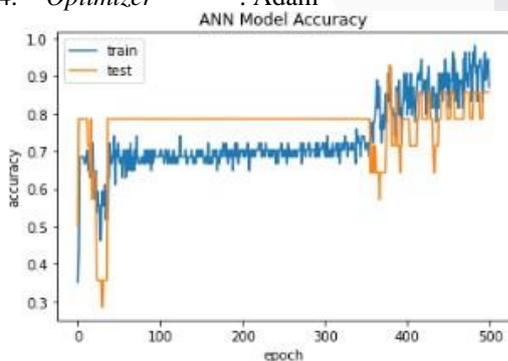
1. Pengaruh pemakaian *optimizer* Adam, RMSprop dan SGD pada tahapan *pre processing*.
2. Pengaruh nilai *Learning Rate* terhadap akurasi, nilai *Learning Rate* yang digunakan yaitu 0,01, 0,001, dan 0,0001.
3. Pengaruh nilai *Batch size* terhadap akurasi, nilai *Batch size* yang digunakan yaitu 32,64, dan 128.
4. Untuk nilai *Epoch* yang digunakan yaitu 100,500.
5. Pengaruh penggunaan Interpolasi linier pada tahapan *pre-processing*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

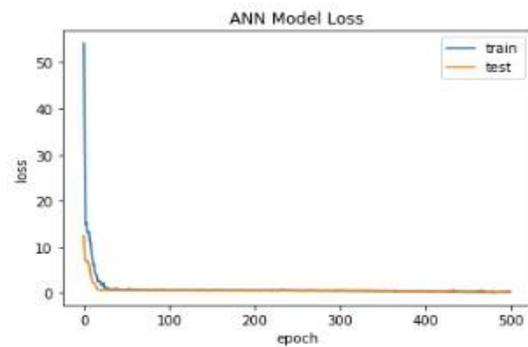
A. Skenario Pengujian

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian untuk mengukur parameter performansi sistem. Untuk skenario pengujian, dilakukan pengujian pengaruh menambahkan *pre-processing* Interpolasi linier. Dalam skenario pengujian dilakukan pengujian terhadap empat *hyperparameter* yaitu skenario pengujian *epoch*, skenario *learning rate*, skenario *batch size* dan skenario *optimizer*. Parameter terbaik dari skenario sebelumnya akan digunakan pada skenario selanjutnya kemudian hasil terbaik dari setiap skenario tersebut akan digunakan sebagai parameter tetap pada pengujian akhir. Pada pengujian akhir menggunakan parameter terbaik tersebut, hasilnya akan dibandingkan dengan hasil ketika tidak melakukan *pre-processing* terlebih dahulu. Dataset terbagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji. Dari hasil pengujian nantinya akan mendapatkan hasil analisis terhadap pengaruh dan peningkatan yang

1. Hasil yang didapat ketika menggunakan dataset asli Berdasarkan data hasil pengujian yang telah mendapatkan parameter terbaik yaitu dengan menggunakan data sebagai berikut :
 1. *Epoch* : 500
 2. *Learning Rate* : 0.01
 3. *Batch Size* : 64
 4. *Optimizer* : Adam



GAMBAR 4.1
HASIL MODEL AKURASI



GAMBAR 4.2
HASIL MODEL LOSS

	precision	recall	f1-score	support
Negatif	0.60	1.00	0.75	3
Positif	1.00	0.82	0.90	11
accuracy			0.86	14
macro avg	0.80	0.91	0.82	14
weighted avg	0.91	0.86	0.87	14

GAMBAR 4.3
PARAMETER PERFORMANSI SISTEM



GAMBAR 4.4
HASIL YANG BERHASIL
DIPREDIKSI

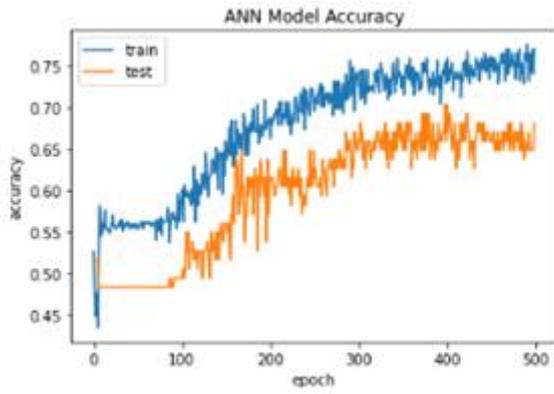
Hasil yang didapat ketika menggunakan parameter terbaik berdasarkan hasil uji coba mendapatkan nilai akurasi sebesar 87.04% dan validasi akurasi sebesar 8571% dengan nilai validasi loss sebesar 0.4227.

2. Hasil yang didapat ketika Menggunakan Dataset Hasil Interpolasi linier

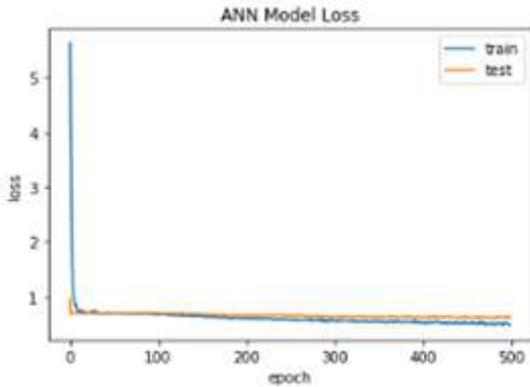
Pada pengujian ini akan dilakukan *preprocessing* terlebih dahulu menggunakan Interpolasi linier guna untuk membandingkan dengan pengujian sebelumnya.

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah mendapatkan parameter terbaik yaitu dengan menggunakan data sebagai berikut :

- a. *Epoch* : 500
- b. *Learning Rate* : 0.001
- c. *Batch Size* : 32
- d. *Optimizer* : Adam



GAMBAR 4.5
HASIL MODEL AKURASI



GAMBAR 4.6
HASIL MODEL LOSS

Negatif	0.61	0.93	0.74	44
Positif	0.88	0.45	0.59	47
accuracy			0.68	91
macro avg	0.74	0.69	0.67	91
weighted avg	0.75	0.68	0.66	91

GAMBAR 4.7
PARAMETER PERFORMANSI SISTEM



GAMBAR 4.8
HASIL YANG BERHASIL DIPREDIKSI.

Hasil yang didapat ketika menggunakan parameter terbaik berdasarkan hasil uji coba mendapatkan nilai akurasi sebesar 0.7341 dan validasi akurasi sebesar 0.6813 dengan nilai validasi *loss* sebesar 0.6203.

B. Hasil dan analisis

Pada tugas akhir ini kesimpulan yang diperoleh dari hasil uji coba yang telah dilakukan dengan membandingkan hasil ketika melakukan Interpolasi linier terlebih dahulu ternyata tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai akurasi yang didapat. Dilakukan uji coba dalam melakukan perubahan terhadap *hyperparameter* yang digunakan yang kemudian akan diseleksi dan menggunakan parameter dengan akurasi tertinggi. Pada hasil yang diperoleh bisa dilihat pada uji coba dengan tidak menggunakan Interpolasi linier terlebih dahulu mendapatkan angka akurasi yang cukup tinggi, bisa dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** dengan angka validasi sebesar 0,8571, dan juga validasi *loss* 0,4227 membuktikan bahwa uji coba deteksi penyakit aritmia tanpa menggunakan Interpolasi linier itu dapat digunakan.

Pada hasil uji coba dengan melakukan *pre-processing* terlebih dahulu menggunakan Interpolasi linier mendapatkan angka akurasi yang cukup jauh dibandingkan dengan tidak melakukannya. Tetapi terdapat perbedaan pada hasil yang ada, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** walaupun angka validasi akurasi sebesar 0,6813 dan angka validasi *loss* menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda yaitu hanya 0,6203 pada grafik terlihat terdapat perbedaan yaitu ketika tidak menggunakan Interpolasi linier grafik terlihat stagnan dikarenakan sedikitnya data yang diuji, tetapi ketika menggunakan Interpolasi linier grafik terlihat berkembang dibandingkan tidak menggunakan Interpolasi linier. Itu dikarenakan Interpolasi linier berhasil mengisi kekosongan data yang *null* sehingga dataset dapat digunakan. Hal ini membuktikan bahwa kualitas data berhasil meningkatkan kualitas grafiknya dengan melakukan *preprocessing* menggunakan Interpolasi linier.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Hasil yang didapat pada tugas akhir ini memiliki nilai akurasi yang berbeda antara melakukan Interpolasi linier terlebih dahulu dengan tidak menggunakannya. Tetapi seperti yang dapat dilihat dari hasil grafik ketika

menggunakan Interpolasi linier terlihat menjadi lebih berkembang atau tidak stagnan. Hasil yang didapat dari sistem ini memiliki akurasi yang cukup jauh dengan angka akurasi tertinggi saat tidak menggunakan Interpolasi linier adalah 0,8571 dan ketika menggunakan Interpolasi linier akurasi tertinggi yang didapat adalah 0,6813. Hal ini membuktikan bahwa sistem ini berhasil mengklasifikasikan penyakit aritmia ke dalam dua kelas yaitu normal, dan aritmia menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) dan metode Interpolasi linier berhasil menambah kekosongan data yang *nul* serta menggunakan beberapa model dan skenario pengujian. Dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem yang telah dibuat pada tugas akhir ini berhasil mengklasifikasikan penyakit aritmia ke dalam dua kelas yaitu normal, dan aritmia.
2. Interpolasi linier berhasil mengisi kekosongan data sehingga data dapat digunakan dan

berdampak pada grafik yang berkembang.

3. Pada model pengujian tanpa *pre-processing* Interpolasi linier mendapatkan skenario terbaik dengan menggunakan *hyperparameter epoch* 500, *learning rate* 0,01, *batch size* 64 dan *optimizer* adam. Nilai validasi akurasi yang diperoleh memiliki nilai 0,8571 dan nilai validasi loss 0,4227.
4. Untuk model pengujian menggunakan *pre-processing* Interpolasi linier mendapatkan skenario terbaik dengan menggunakan *hyperparameter epoch* 500, *learning rate* 0,001, *batch size* 32 dan *optimizer* adam. Nilai validasi akurasi yang diperoleh memiliki nilai 0,6813 dan nilai validasi loss 0,6203.

REFERENSI

- [1] A. S. Muharni Sita, "Sistem Diagnosa Penyakit Jantung Berbasis Case Based Reasoning (CBR)," *jurnal Informatika*, vol. 1, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.darmajaya.ac.id/index.php/PSND/article/view/2910/1233#>.
- [2] S. N. D. Rani, "Pengenalan Pola Aritmia Kontraksi Ventrikel Dini pada Elektrokardiogram dengan Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan Fitur Interval RR, Gradien Gelombang R, dan QR," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* vol. 02, p. 158, 2014, [Online]. Available: <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/article/view/1270/1096>.
- [3] "S. Djauzi, N. Abdurrahman, W. Prodjosudjadi, et al., Ilmu Penyakit Dalam. Jurnal Kardiologi Indonesia 6th ed. Jakarta: InternaPublishing, 2014."
- [4] "S. H. Rampengan., Buku Praktis Kardiologi. Jurnal Kardiologi Indonesia Jakarta: Fakultas Kedokteran UI, 2014."
- [5] M. Solikhah, Nuryani, and Darmanto, "Deteksi Aritmia pada Elektrokardiogram dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Kelas Jamak menggunakan Fitur Interval RR, Lebar QRS, dan Gradien Gelombang R," *Jurnal Fisika* vol. 11, p. 36, 2015.
- [6] Y. Yuniadi, "Mengatasi Aritmia, Mencegah Kematian Mendadak*," *J. Kardiologi Indonesia* vol. 5, p. 139, 2017, [Online]. Available: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58317794/227864-mengatasi-aritmia-mencegah-kematian-mend-c9ba84c4-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1660928819&Signature=fqD50QleRWsfUD-fpfmERo8p7I7-Fy-Sh3OgXX1vr15iXpiWltlhEuR1wZ5N29sgmIWGs y2O75qRYdWLhL1znO6RSyE6XBDUo6>.
- [7] A. Sudarsono, "JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK MEMPREDIKSILAJU PERTUMBUHAN PENDUDUK MENGGUNAKAN METODE BACPROPAGATION (STUDI KASUS DI KOTA BENGKULU)," *Jurnal Media Infotama* vol. 12, p. 62, 2016.
- [8] R. Fauzi, "Studi Algoritma Klasifikasi pada Sinyal Photoplethysmography (PPG) untuk Deteksi Aritmia," *Jurnal Universitas Telkom* p. 14, 2021.
- [9] S. Sendhy, "DEEP LEARNING UNTUK DETEKSI COVID-19, PNEUMONIA, DAN TUBERCULOSIS PADA CITRA RONTGEN DADA MENGGUNAKAN CNN DENGAN ARSITEKTUR ALEXNET," *Jurnal Universitas Telkom* pp. 20–22, 2022.
- [10] S. Singh, "Confusion Matrix in Machine Learning," Available: <https://medium.com/@shubhanshi.shubh860/confusion-matrix-in-machine-learning-cd7333d72f5d>.
- [11] K. Setyo Nugroho, "Confusion Matrix untuk Evaluasi Model pada Supervised Learning," [Online]. Available: <https://ksnugroho.medium.com/confusion-matrix-untuk-evaluasi-model-pada-unsupervised-machine-learning-bc4b1ae9ae3f>.
- [12] M. M. A. S. Manimurugan, S. Al-Mutairi, "Effective Attack Detection in Internet of Medical Things Smart Environment Using a Deep Belief Neural Network," *IEEE Acces* vol. 8, pp. 77396–77404, 2020, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9057709>.
- [13] "How to implement linear interpolation in Python?," *J. Mathematics* [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/how-to-implement-linear-interpolation-in-python/>.
- [14] N. D. Miranda, L. Novamizanti, and S. Rizal, "Convolutional Neural Network pada Klasifikasi Sidik Jari Menggunakan Resnet-50," *Jurnal Teknik Informatika* vol. 1, pp. 61–68, 2020.