

IDENTIFIKASI KELAINAN JANTUNG DARI DATA EKG MENGUNAKAN BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK

Sumiati^{1*}, Haris Triono Sigit², Wahyudin Nor Achmad³, Idris Kusuma⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Informatika, Universitas Serang Raya

⁴ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Nasional Jakarta

Jl. Raya Cilegon Drangong Serang - Banten No.Km. 5, Taman, Drangong, Kec. Taktakan,
Kota Serang, Banten 42162

Jl. Sawo Manila No.61, RT.14/RW.7, Pejaten Bar., Ps. Minggu, Kota Jakarta Selatan,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12520

*¹sumiatunsera82@gmail.com

²haris.t.sigit@gmail.com

³wahyou@gmail.com

⁴idris.kusuma@civitas.unas.ac.id

Abstract

This study is one of the initial approaches in implementing Backpropagation Neural Network for ECG signal classification. The condition of the human heart can be known based on the results of electrocardiogram medical records, so that with the results of electrocardiogram medical records it can be known whether the heart is normal or abnormal. Symptoms of abnormal heart disease in the heart often come suddenly. Early recognition of heart disease with further procedures and treatment can prevent an increase in the risk of fatal heart attacks. This study has a very important goal in an effort to detect and classify heart abnormalities more efficiently. By utilizing artificial neural networks (ANN) and backpropagation methods, it can utilize computing capabilities to analyze patterns in electrocardiogram (ECG) data. The results show that the classification of heart abnormalities with an epoch value of 2000, a learning rate of 0.01 with normal and abnormal targets, obtained the number of Hidden Neurons as many as 25, the number of weight patterns 44 and a mean squared error (MSE) value of with an accuracy of 0.61364 from 25 inputs.

Keyword: accuracy, backpropagation, electrocardiogram, heart abnormalities, mean squared error (MSE)

PENDAHULUAN

Pola desain perangkat lunak, dalam konteks pengenalan pola, mencakup berbagai teknik dan algoritma yang digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan data yang direpresentasikan secara digital, ini sangat relevan dalam aplikasi seperti biometric, pendeteksian penipuan, pemrosesan gambar, penggalan data, pengenalan karakter, keamanan sistem, dan diagnosis medis, dengan memanfaatkan teknik pengenalan pola, berbagai sistem dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam melakukan tugas-tugas kompleks, serta memberikan solusi yang lebih cerdas dan responsif. Terdapat berbagai metode untuk pengenalan pola yang bervariasi tergantung pada jenis pola yang ingin dikenali. Metode tersebut mencakup pendekatan statistik, sintaksis atau struktural, hibrida, pencocokan templat, serta Jaringan Syaraf Tiruan. Pada pendekatan statistik, pola diwakili sebagai vektor dengan panjang tetap dalam format spasial, di mana fitur-fitur memungkinkan vektor tersebut menempati area yang saling eksklusif di dalam ruang dimensi. Dalam pendekatan ini, batas keputusan dalam ruang fitur ditentukan oleh fungsi distribusi probabilitas yang berfungsi untuk membedakan pola dari kategori yang berbeda.

Gejala kelainan jantung sering muncul secara mendadak, dan deteksi dini terhadap penyakit jantung melalui prosedur yang tepat serta penanganan yang efektif dapat mengurangi risiko fatal dari serangan jantung. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelainan jantung dengan pendekatan menggunakan metode backpropagation. Metode ini merupakan salah satu teknik komputasi cerdas yang dapat meniru kemampuan kognitif manusia. Algoritma backpropagation beroperasi melalui proses iteratif dengan memanfaatkan data pelatihan, sehingga mampu membandingkan prediksi yang dihasilkan oleh jaringan dengan setiap data pelatihan yang

ada. Penelitian menggunakan pendekatan backpropagation neural network di bidang kesehatan telah dilakukan oleh banyak peneliti. Berbagai studi dalam komputasi telah memberikan kontribusi signifikan bagi dunia kesehatan, terutama dalam mencari solusi alternatif untuk menganalisis penyakit jantung.

Klasifikasi penyakit jantung menggunakan metode backpropagation memungkinkan identifikasi yang lebih akurat terhadap kelainan jantung, membantu dokter dalam proses diagnosis dan penanganan yang lebih efektif. Dengan kemampuan model ini untuk belajar dari data, diharapkan dapat meningkatkan deteksi dini dan mengurangi risiko komplikasi serius bagi pasien. Penelitian ini mengusulkan metode prediksi penyakit jantung menggunakan backpropagation dengan algoritma scaled conjugate gradient, yang menunjukkan akurasi hingga 100% pada dataset Cleveland (Paul, B et al;2023). Model hibrida yang menggabungkan GRU, LSTM, dan RNN dengan optimasi Adam mencapai akurasi 98,69% dalam prediksi penyakit jantung, mengatasi masalah dataset yang tidak seimbang (Omankwu, O. C et al;2023). Backpropagation neural network untuk klasifikasi kelainan jantung, dengan hasil akurasi, presisi, dan recall mencapai 100% (Sumiati et al;2024; García-Ordás, M. T et al 2023; El-Ibrahimi et al;2023). Menggunakan deep neural network yang dioptimasi dengan binarized butterfly optimization untuk prediksi penyakit jantung, menunjukkan peningkatan kinerja model (Amutha, S et al;2023;Ramdani et al;2022;S.Radhimeenakshi et al;2020). Mengidentifikasi penyakit jantung dengan suara jantung (Rapaka, A., et al; 2025; Shuvo, S. B et al;2023), diagnosa kelainan jantung dengan pendekatan Certainty Cognitive Map (CCM) (Sumiati et al;2021). Mengembangkan sistem klasifikasi suara jantung menggunakan ANFIS dan algoritma koloni lebah buatan, mencapai akurasi tinggi dalam deteksi kelainan jantung (Keikhosrokiani, P et al;2023; Alromema, W et al;2023; Keikhosrokiani, P et al;2023; Alromema, W et al;2023).

Penelitian ini fokus pada pengidentifikasian pola sinyal elektrik jantung menggunakan elektrokardiogram (EKG) dengan pendekatan metode backpropagation. Metode ini bertujuan untuk melatih jaringan agar dapat mengenali pola-pola yang ada pada data pelatihan, sambil tetap mampu memberikan respon yang akurat terhadap pola masukan yang mirip namun tidak identik. Backpropagation berfungsi untuk memperbaiki bobot dan bias dalam jaringan saraf, sehingga meningkatkan akurasi pengenalan pola, dengan demikian, jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mendiagnosis kondisi jantung dengan lebih efisien, membantu dalam identifikasi gangguan jantung berdasarkan sinyal EKG yang diterima, di mana jaringan belajar terlalu baik pada data pelatihan tetapi kurang efektif pada data baru. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan teknik regulasi dan validasi yang tepat agar model tetap generalisasi dengan baik pada data yang tidak terlihat sebelumnya. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan teknologi medis dan diagnosis jantung. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelaianan jantung berdasarkan hasil rekam medis elektrokardiogram dengan pendekatan metode backpropagation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi kelainan jantung dengan nilai epoch 2000, learning rate 0.01 dengan target normal dan tidak normal (abnormal), diperoleh jumlah hidden neuron sebanyak 25, jumlah pola bobot 44 dan nilai mean squared error (MSE) sebesar dengan akurasi 0.61364 dari 25 jumlah input.

METODE PENELITIAN

Beberapa langkah penting untuk memastikan data yang digunakan dalam pelatihan model Jaringan Syaraf Tiruan berkualitas dan relevan.

Input EKG → preprocessing → pelatihan BPNN → klasifikasi output

Berikut adalah rincian tahapan tersebut:

- a. Pengambilan Data: 100 dataset Data diambil dari rekam medis elektrokardiogram (EKG), yang mencakup sinyal jantung dari pasien. Data ini kemudian dikelompokkan menjadi dua kelas: normal dan abnormal. 80 % data training 20 % data testing.
- b. Penentuan Nilai Maksimum dan Minimum: Untuk setiap set data, nilai maksimum dan minimum ditentukan. Ini penting untuk memahami rentang sinyal yang ada, sehingga dapat

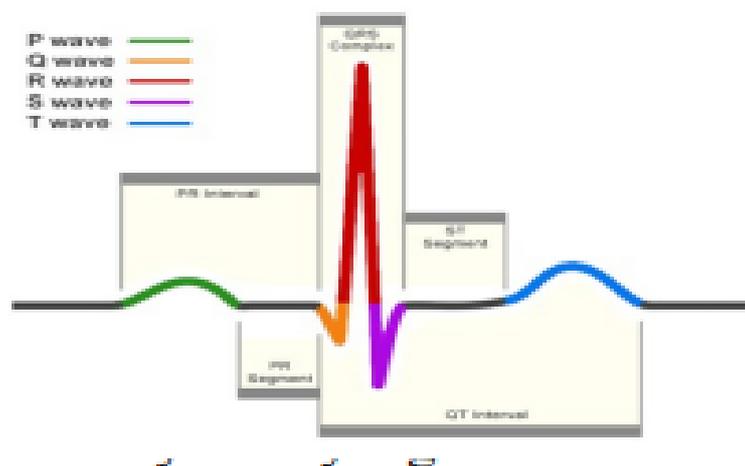
- dilakukan langkah-langkah selanjutnya dengan tepat.
- c. Preprocessing dan Normalisasi Data: Sebelum data digunakan untuk proses pelatihan, normalisasi diperlukan. Proses ini memastikan bahwa semua nilai masukan dan target berada dalam rentang tertentu, biasanya antara 0 dan 1. Normalisasi bertujuan untuk sinkronisasi data dan meningkatkan efisiensi pelatihan model.
 - d. Penggunaan Tools MATLAB: Dalam tahap preprocessing, digunakan tools MATLAB seperti ``premnmx`` untuk menormalkan data menjadi rentang tertentu, serta ``prestd`` untuk menstandarkan data. Tools ini membantu dalam mempersiapkan data sebelum masuk ke proses pelatihan model Jaringan Syaraf Tiruan.

Dengan mengikuti tahapan ini, diharapkan model dapat belajar dengan lebih baik dari data yang telah diproses, sehingga meningkatkan akurasi dalam pengenalan pola EKG.

Elektrokardiogram (EKG)

Proses pengukuran terdiri dari electrodes, dimana elektroda diletakkan di berbagai lokasi di tubuh untuk menangkap dari berbagai sudut, Lead merupakan kombinasi dari elektroda membentuk lead, yang memberikan gambaran berbeda tentang aktivitas listrik jantung. Interpretasi EKG meliputi analisis bentuk gelombang, interval, dan durasi untuk mendeteksi berbagai masalah jantung, seperti Aritmia merupakan ketidakaturan dalam ritme jantung, iskemia merupakan kurangnya aliran darah ke otot jantung, dan infark miokard merupakan kerusakan pada otot jantung akibat serangan jantung. Keterbatasan berdasarkan hasil elektrokardiogram seperti snapshot sementara, elektrokardiogram hanya memberikan gambaran dari aktivitas jantung pada saat pengukuran, dan tidak selalu akurat: Beberapa kondisi jantung mungkin tidak terdeteksi jika tidak muncul saat pemeriksaan. Dengan memahami elektrokardiogram, dokter dapat mendiagnosis dan mengelola berbagai kondisi jantung dengan lebih baik.

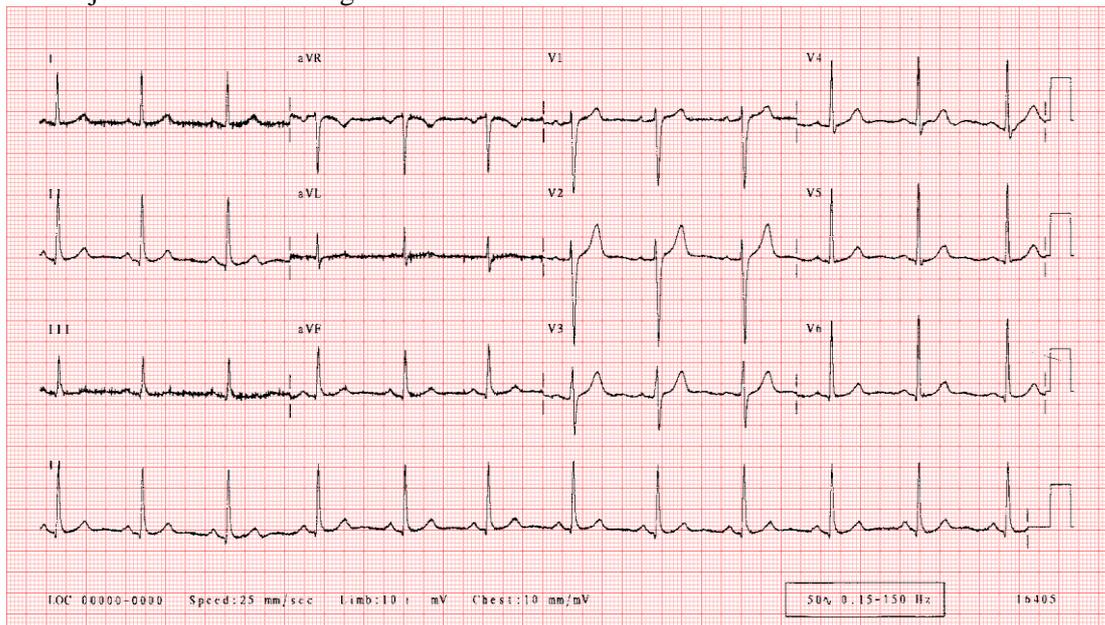
Jantung adalah organ berotot berongga yang tampak seperti piramida dan terletak di dalam perikardium di mediastinum. Sebagai salah satu organ terpenting, untuk melindungi tulang, sternum, tulang rusuk, dan vertebra, jantung memiliki puncak (apex) yang terletak di atas diafragma hingga garis midclavicle sinistra. Jantung merupakan organ unik yang mampu menghasilkan muatan listrik. Elektrokardiografi adalah alat untuk merekam hasil rekam medis elektrokardiogram. Hasil elektrokardiogram medis ini berupa grafik potensial listrik jantung yang terekam di permukaan tubuh dari 12 sadapan. Ke-12 sadapan tersebut berada di beberapa titik di permukaan tubuh. Konfigurasi EKG juga direkam dalam bentuk gelombang. Rekaman EKG dalam bentuk gelombang terdiri dari tiga gelombang dan tiga interval yang memiliki karakteristik klinis. Gambar 1 menunjukkan gelombang EKG.



Gambar 1. Gelombang EKG

Elektrokardiogram Normal

Jantung adalah organ vital yang memompa darah ke seluruh tubuh, mempertahankan sirkulasi darah yang mengandung oksigen dan nutrisi ke seluruh organ dan jaringan tubuh. Jantung normal memiliki empat ruang, Atrium kanan, Ventrikel kanan, Atrium kiri, dan Ventrikel kiri, serta katup-katup yang memastikan aliran darah satu arah. Fungsi utama jantung normal adalah memompa darah, mengatur tekanan darah, dan menyesuaikan kebutuhan tubuh. Elektrokardiogram normal adalah gambaran aktivitas listrik jantung yang normal. Gambar 2. Menunjukkan Elektrokardiogram normal.

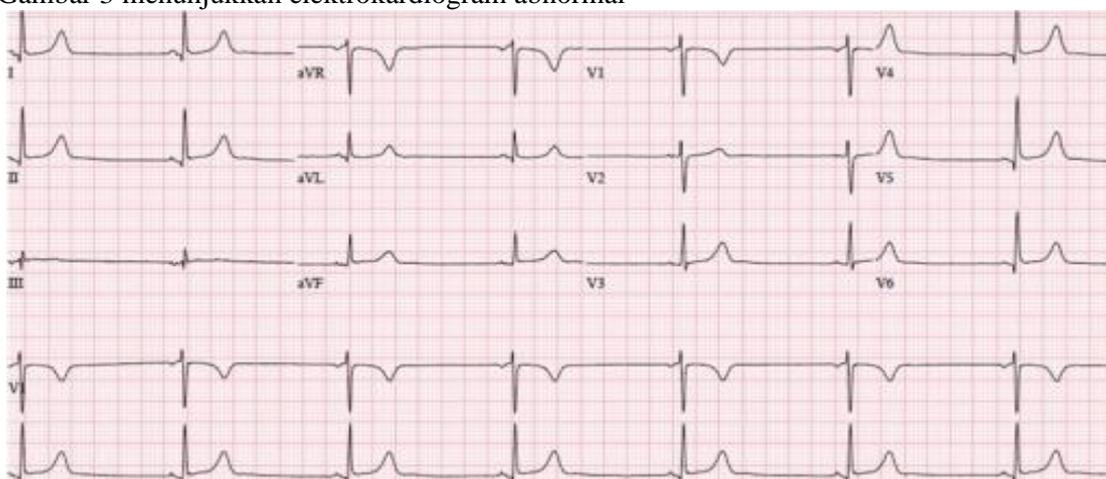


Gambar 2. Elektrokardiogram Normal

Hasil EKG yang normal menunjukkan bahwa jantung Anda berdetak dengan irama yang teratur dan fungsi pemompaan darah berjalan normal, memiliki bentuk, ukuran, dan waktu yang khas dan sesuai dengan pola yang diharapkan.

Elektrokardiogram Abnormal

EKG abnormal berarti ada kelainan pada aktivitas listrik jantung yang terekam oleh mesin EKG. Gambar 3 menunjukkan elektrokardiogram abnormal



Gambar 3. Elektrokardiogram Abnormal

EKG yang abnormal dapat memperlihatkan pola gelombang tak teratur pada irama jantung, seperti segmen yang terangkat atau tertekan, serta detak yang luar biasa cepat atau lambat. Segmen ST terangkat merupakan tanda serangan jantung. Irama tidak teratur, tanpa gelombang P yang jelas. Masalah dengan cara sinyal listrik bergerak melalui jantung, yang dapat menyebabkan irama jantung yang abnormal. Elektrokardiogram (EKG) merupakan alat diagnostik yang sederhana, cepat, dan relatif murah untuk menilai kesehatan jantung. EKG mendeteksi aktivitas listrik jantung, yang membantu mendiagnosis berbagai kondisi seperti aritmia, serangan jantung, gangguan konduksi, dan gangguan lainnya pada jantung. Meskipun demikian, EKG memiliki keterbatasan dan tidak selalu mendeteksi semua penyakit jantung. Hasil EKG yang normal tidak menyingkirkan kemungkinan adanya penyakit jantung lain yang membutuhkan pemeriksaan tambahan.

Interval PR

Interval P-R atau lebih teliti disebut P-Q interval, diukur dari permulaan timbulnya gelombang P sampai permulaan kompleksQRS. Ini menunjukkan lamanya konduksi atrio ventrikuler dimana termasuk pula waktu yang diperlukan untuk depolarisasi atrium dan bagian awal dan repolarisasi atrium.

Gelombang P

Gelombang P adalah gelombang pertama siklus jantung dari rekam medis elektrokardiogram, dan berukuran kecil untuk menggambarkan atau merekam selama proses aktivitas depolarisasi atrium. Gelombang P terdiri dari beberapa gelombang P pulmonal, yaitu gelombang P-mitral, P-bifasik, dan gelombang P negatif. P-pulmonal atau Puncak P adalah gelombang yang memiliki tinggi <2,5 kotak kecil atau 2,5 mm.

B. QRS complex

Kompleks QRS memiliki komponen gelombang yang terdiri dari gelombang Q, gelombang R, dan gelombang S. Gelombang Q merupakan bagian dari defleksi negatif sebelum defleksi positif. Gelombang Q normal lebarnya sekitar 1 kotak kecil, sedangkan gelombang R normal lebarnya sekitar 2 kotak kecil. Gelombang R merupakan defleksi positif yang pertama kali muncul disertai atau tidak disertai gelombang R. Tinggi gelombang R normal sekitar 27 kotak kecil. Gelombang S merupakan defleksi negatif setelah gelombang R, di mana gelombang S tidak terdapat di V6. Kompleks QRS normal lebarnya 1,5 hingga 3 kotak kecil.

Gelombang T

Gelombang T merupakan fase repolarisasi ventrikel, gelombang T normal positif terutama dengan R tinggi, dan inversi pada III, aVR, V1, V2-V3 pada orang berkulit hitam, tinggi gelombang T mempunyai batas minimal 1 mm dan jika tidak mempunyai batas minimal maka gelombang T tidak ada T, sedangkan gelombang T maksimal pada limb feed tidak melebihi 5 mm.

Interval PR

Interval PR adalah jarak antara gelombang P dan permukaan QRS, untuk mengukur waktu tempuh depolarisasi dari atrium ke ventrikel. Untuk nilai normal 0,12-0,20 detik, nilai normalnya adalah 3-5 kotak kecil lebarnya.

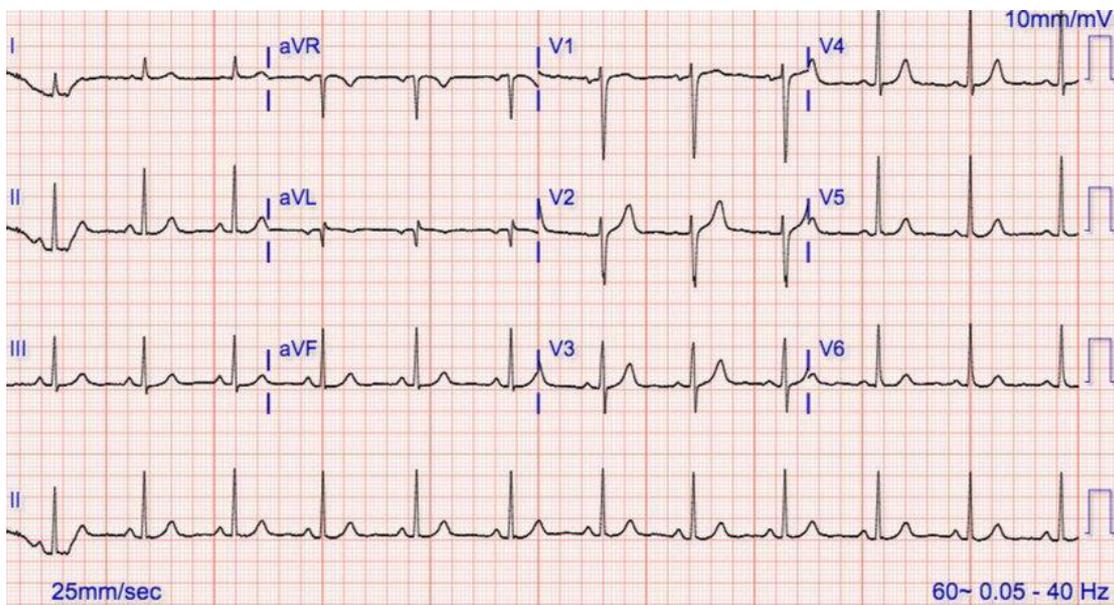
Interval QRS

Interval QRS merupakan tiga defleksi yang mengikuti gelombang P, mengidentifikasi depolarisasi ventrikel, gelombang Q merupakan defleksi negatif pertama setelah P, gelombang R merupakan defleksi positif pertama setelah P, sedangkan gelombang S merupakan defleksi

negatif pertama setelah R, nilai normalnya kurang dari 0,12 detik yaitu nilai normal interval QRS dari 0,06 sampai 0,10 detik.

Deteksi Gangguan Jantung Abnormal Berdasarkan Elektrokardiogram

Elektrokardiogram adalah gambaran kelistrikan jantung, jadi elektrokardiogram merupakan serangkaian gambar yang mencerminkan aktivitas kelistrikan jantung, itulah yang disebut elektrokardiogram. Jika dari hasil rekam medis elektrokardiogram kita dapat mengetahui diagnosis pasien, sehingga dapat mengetahui apakah aktivitas kelistrikan jantung normal atau tidak. Mesin elektrokardiogram merekam kelistrikan jantung melalui kawat yang disebut elektroda. Mesin elektrokardiogram mampu merekam aktivitas kelistrikan jantung, kemudian menggambarkan dalam bentuk grafik tertentu. Pada hasil rekam medis elektrokardiogram, terdapat kotak kecil berukuran 1x1 mm. Umumnya, setiap 5x5 kotak kecil membentuk 1 kotak besar. Kecepatan berjalan kertas elektrokardiogram normalnya adalah 25 mm/detik. Dalam situasi ini, panjang horizontal 1 kotak kecil setara dengan 0,04 detik.



Gambar 4. Interpretasi hasil EKG, masing-masing dari 12 sadapan memiliki nama I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5 dan V6.

Interpretasi EKG diperoleh dari 12 sadapan berbeda. Sadapan I diperoleh dari rekaman listrik yang direkam oleh elektroda tangan kanan dan kiri, sadapan II diperoleh dari rekaman listrik yang direkam oleh elektroda tangan kanan dan kaki kiri, sadapan III diperoleh dari rekaman listrik yang direkam oleh elektroda tangan kiri dan kaki kiri, elektrodanya terpasang pada ekstremitas, sadapan aVR diperoleh dari rekaman listrik yang direkam oleh elektroda tangan kanan dan bagian tengah tubuh. Sadapan aVF diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda tungkai kiri dan bagian tengah tubuh, sadapan V1 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap pada elektroda V1 di linea parasternal dextra, spatium intercostal 4, sadapan V1-V6 disebut Sadapan Prekordial karena elektrodanya diletakkan di dada, Sadapan V2 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda V2 di linea parasternal kiri, spatium intercostal 4, Sadapan V3 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda V3 yang terletak di antara elektroda V2 dan V4, Sadapan V4 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda V4 di linea mid-clavicularis kiri, spatium intercostal 5, Sadapan V5 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda V5 di linea anterior axillary kiri, sejajar dengan elektroda V4, Sadapan V6 diperoleh dari rekaman listrik yang disadap oleh elektroda V6 di linea midaxillary kiri, sejajar dengan elektroda V5.

Backpropagation Neural Network

Backpropagation dalam jaringan saraf tiruan (Neural Network) adalah metode yang digunakan untuk melatih jaringan saraf dengan cara mengoptimalkan bobot melalui algoritma pembelajaran. Berikut adalah penjelasan tentang konsep dan proses backpropagation. Backpropagation memungkinkan jaringan saraf untuk belajar dari data dan dapat menangani masalah yang kompleks dengan baik. Keterbatasan backpropagation yaitu rentan terhadap overfitting jika tidak ada teknik regulasi yang diterapkan. Selain itu, backpropagation dapat terjebak pada local minima dalam ruang pencarian. Backpropagation adalah inti dari proses pelatihan dalam jaringan saraf tiruan, memungkinkan model untuk memperbaiki diri dan meningkatkan kinerjanya dalam pengenalan pola dan klasifikasi. Proses backpropagation melibatkan Menghitung Gradien: Menggunakan aturan rantai untuk menghitung gradien dari fungsi loss terhadap bobot. Ini dilakukan dari lapisan output kembali ke lapisan input, memperbarui bobot dimana bobot diperbarui dengan mengurangi gradien yang dihitung dikalikan dengan learning rate. Dengan demikian, backpropagation adalah inti dari proses pelatihan dalam jaringan saraf tiruan, memungkinkan model untuk memperbaiki diri dan meningkatkan kinerjanya dalam pengenalan pola dan klasifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses perancangan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: hasil pelatihan, hasil pengujian, dan analisis terhadap hasil pengujian. Rincian hasil pelatihan terbagi lagi menjadi tiga bagian: pelatihan pertama yang berfokus pada penentuan arsitektur jaringan, pelatihan kedua untuk mengidentifikasi nilai aktivasi yang paling optimal, dan pelatihan ketiga untuk mengeksplorasi variasi jaringan.

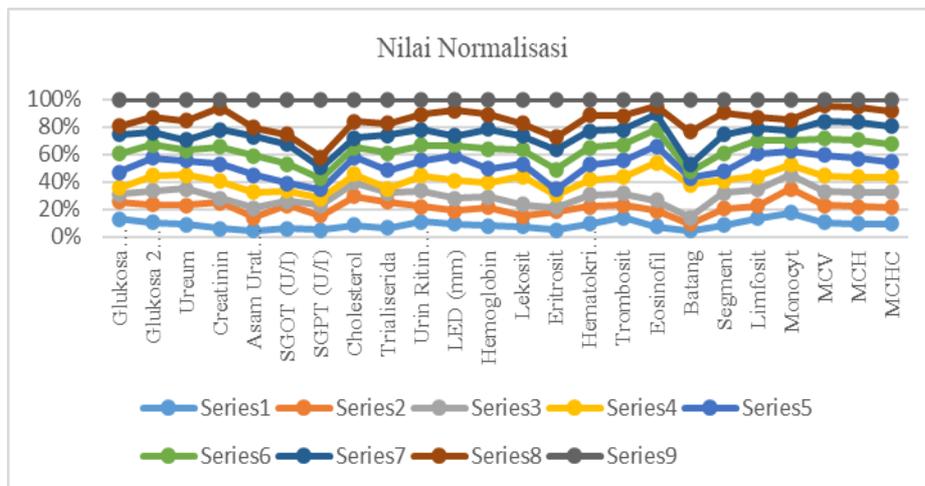
Analisis Pertama

Analisis Layer Tersembunyi

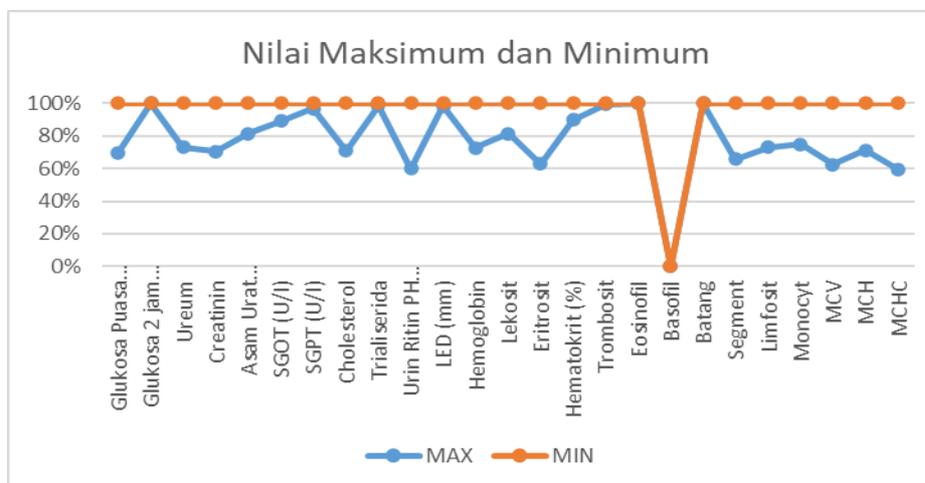
Hasil pelatihan memiliki kesamaan dan perbedaan. Kesamaannya terletak pada performanya. Pertama epoch yang disediakan 10000 epoch, kalau menginginkan kinerja tujuan tercapai maka perlu ditambah epoch lagi sampai tak berhingga hingga kinerja tujuan tercapai. Ini menjadi kendala sebab akan membutuhkan banyak waktu. Padahal yang dibutuhkan waktu yang relatif singkat. Kedua kecilnya laju belajar. Laju belajar yang digunakan pada pelatihan pertama dan kedua adalah 0.1, ini membuat jaringan sulit untuk mengenali pola. Akan lebih baik jika laju belajar ditambahkan. Data penelitian yang di olah di dapati dari nilai epoch 2000, learning rate 0.01 dengan target norma dan tidak normal, diperoleh jumlah hidden neuron sebanyak 25, jumlah pola bobot 44 dengan akurasi 0.61364 dari 25 jumlah input.

Normalisasi

Normalisasi dalam metode backpropagation merujuk pada proses penyesuaian nilai input dan target agar berada dalam rentang tertentu, biasanya antara 0 dan 1 atau -1 dan 1. Proses ini penting karena dapat membantu mempercepat konvergensi model, meningkatkan stabilitas selama pelatihan, dan mengurangi risiko overfitting. Dengan normalisasi, jaringan saraf lebih mudah belajar pola dari data, sehingga meningkatkan akurasi dan efisiensi pelatihan. Gambar 5 menunjukkan nilai normalisasi dan Gambar 6 menunjukkan nilai maksimum dan nilai minimum.

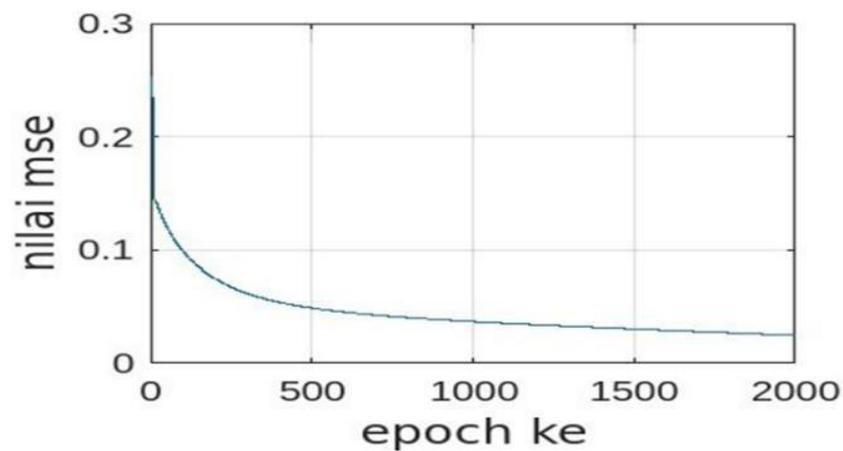


Gambar 5. Nilai normalisasi



Gambar 6. Nilai maksimum dan minimum

Mean Squared Error (MSE)



Gambar 7. Pelatihan Terbaik

Data yang di olah di dapati hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi kelainan jantung dengan nilai epoch 2000, learning rate 0.01 dengan target normal dan tidak normal (abnormal), diperoleh jumlah hidden neuron sebanyak 25, jumlah pola bobot 44 dan nilai mean squared error (MSE) sebesar dengan akurasi 0.61364 dari 25 jumlah input. Faktor-faktor penyebab akurasi rendah: kualitas data, jumlah data, preprocessing yang belum optimal, disebabkan dataset ya tidak banyak.

KESIMPULAN

- a. Berdasar dari hasil MSE, nilai epoch 2000, learning rate 0.01 dengan target normal dan tidak normal (abnormal), diperoleh jumlah hidden neuron sebanyak 25 Jaringan saraf tiruan yang dihasilkan pada penelitian jumlah pola bobot 44 Hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi kelainan jantung dengan nilai epoch 2000, learning rate 0.01 dengan target normal dan tidak normal (abnormal), diperoleh jumlah hidden neuron sebanyak 25, jumlah pola bobot 44 dan nilai mean squared error (MSE) sebesar dengan akurasi 0.61364 dari 25 jumlah input.
- b. Model diuji hanya pada dua kelas EKG dan belum divalidasi secara klinis.” serta arah pengembangan ke depan: integrasi ke perangkat EKG portabel atau dataset multiklas.
- c. Penelitian ini berkontribusi dalam eksplorasi awal sistem klasifikasi EKG berbasis jaringan saraf tiruan, dan juga keterbatasan: Model diuji hanya pada dua kelas EKG dan belum divalidasi secara klinis,serta arah pengembangan ke depan,integrasi ke perangkat EKG portabel atau dataset multiklas

SARAN

- a. Perluasan ke model lain (CNN, LSTM)
- b. Penggunaan dataset lebih kompleks
- c. Validasi ke rumah sakit/klinik nyata.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Tim LPPM Universitas Serang Raya atas diberikan hibah internal

DAFTAR PUSTAKA

- Amutha, S., & Sekar, J. R. (2023). *Deep neural network based cardiovascular disease prediction using binarized butterfly optimization*. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 36(2), 1863–1880. DOI: [10.32604/iasc.2023.028903](https://doi.org/10.32604/iasc.2023.028903)
- Alromema, W., Alduweib, E., & Abduh, Z. (2023). *Heart Sound Classification Using the Nonlinear Dynamic Feature Approach Along with Conventional Classifiers*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13(3), 10808–10813. DOI: [10.48084/etasr.5873](https://doi.org/10.48084/etasr.5873)
- El-Ibrahimi, A., Terrada, O., El Gannour, O., Cherradi, B., El Abbassi, A., & Bouattane, O. (2023). *Optimizing machine learning algorithms for heart disease classification and prediction*. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 19(15), 61–76. DOI: [10.3991/ijoe.v19i15.42653](https://doi.org/10.3991/ijoe.v19i15.42653)
- García-Ordás, M. T., Bayón-Gutiérrez, M., Benavides, C., et al. (2023). *Heart disease risk prediction using deep learning techniques with feature augmentation*. *Multimedia Tools and Applications*, 82, 31759–31773. DOI: [10.1007/s11042-023-14817-z](https://doi.org/10.1007/s11042-023-14817-z)
- Keikhosrokiani, P., Naidu A/P Anathan, A. B., Fadilah, S. I., Manickam, S., & Li, Z. (2023). *earbeat Sound Classification Using a Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Artificial Bee Colony*. *Digital Health*, 9, 20552076221150741. DOI: [10.1177/20552076221150741](https://doi.org/10.1177/20552076221150741)
- Omankwu, O. C., & Ubah, V. I. (2023). *Hybrid deep learning model for heart disease prediction using recurrent neural network (RNN)*. *NIPES - Journal of Science and Technology Research*, 5(2). DOI: [10.5281/zenodo.8014330](https://doi.org/10.5281/zenodo.8014330)

- Paul, B., & Karn, B. (2023). *Heart disease prediction using scaled conjugate gradient backpropagation of artificial neural network*. *Soft Computing*, 27, 6687–6702. DOI: 10.1007/s00500-022-07649-w.
- Ramadani, R., & Budianita, E. (2022). *Klasifikasi penyakit jantung koroner menggunakan metode backpropagation neural network (Studi kasus: Rumah Sakit Ibnu Sina Pekanbaru)*. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*
- Rapaka, A., Navuri, N. K., Vobbilineni, T., Ibrahim, S. H. S., Deepthi, G. B., & Kocherla, R. (2025). *An Improved CNN-Transformer Hybrid Architecture for Heart Sound Classification*. *South Eastern European Journal of Public Health*, 25(1), 2744–2762. DOI: 10.70135/seejph.vi.3190
- Sumiati, Hendriyati, P., Triayudi, A., Yusta, A., & Syaefudin, A. (2024). *Classification of heart disorders using an artificial neural network approach*. *Journal of Internet Services and Information Security*, 14(2). DOI: [10.58346/JISIS.2024.I2.012E](https://doi.org/10.58346/JISIS.2024.I2.012E)-Journal UIN Suska
- S.Radhimeenakshi, G.M.Nasira”Prediction of Heart Diease using Nerual Network with Back Propagation” Pages:1166-1169.2021
- Shuvo, S. B., Alam, S. S., Ayman, S. U., Chakma, A., Barua, P. D., & Acharya, U. R. (2023). *NRC-Net: Automated Noise Robust Cardio Net for Detecting Valvular Cardiac Diseases Using Optimum Transformation Method with Heart Sound Signals*. arXiv preprint arXiv:2305.00141.
- Sumiati., Saragih, Hago., Rahman, T. K. A., Triayudi, Agung. (2021). *Certainty Cognitive Map (CCM) for Assessing Cognitive Map Causality Using Certainty Factors for Cardiac Failure ICIC Express Letters – An International Journal of Research and Surveys*, Vol. 15 (No. 1).