

SISTEM CERDAS DETEKSI SUARA UNTUK PENGKLASIFIKASIAN PENYAKIT JANTUNG MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN

SMART SOUND DETECTION SYSTEM FOR CLASSIFYING HEART DISEASE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Oleh : Muhammad Nadhil Sidqi, Universitas Negeri Yogyakarta, E-mail: @student.uny.ac.id

Abstrak

Sebuah alat pengenalan dini kelainan jantung normal dan *murmur* sangat diperlukan untuk membantu para tenaga medis dalam mendiagnosa kelainan jantung. Suara jantung memiliki pola khusus pada setiap orang, suara jantung yang tidak normal disebut *murmur*. Suara jantung *murmur* akan menimbulkan bunyi yang khas, sehingga melalui frekuensi suara dan spektrum gelombang dapat diketahui suara jantung normal atau *murmur*. Perancangan bertujuan untuk mengidentifikasi 2 jenis suara jantung yaitu normal dan *murmur*. Sistem ini berupa *hardware* dan *software* yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu identifikasi kebutuhan, analisis kebutuhan, perancangan sistem, langkah pembuatan alat, diagram alur program, pengambilan data dan pengujian alat. *Hardware* ini menggunakan stetoskop akustik, modul regulator tegangan, rangkaian *cutoff* frekuensi dan modul perekam suara yang berfungsi untuk memberikan input suara jantung yang akan diolah oleh sistem. *Software* ini menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan *backpropagation* dalam mengidentifikasi suara jantung normal dan *murmur*. Metode pelatihan ini menggunakan fungsi *nprtool* yang terdapat pada *neural network toolbox* MATLAB. Berdasarkan hasil pengujian alat diagnosa ini, diperoleh akurasi pelatihan sebesar 100% dalam mengenali 2 jenis suara jantung normal dan *murmur*. Setelah dilakukan pengujian alat secara keseluruhan, rangkaian sistem sudah dapat bekerja dengan baik, melihat dari *hardware* perekam suara yang sudah dapat merekam suara jantung dan diteruskan ke dalam *software* untuk diolah. Pada pengujian *software* juga sudah mampu bekerja sesuai dengan fungsinya pada masing-masing *button*, dengan mampu melakukan perekaman suara, *filtering* suara, ekstraksi ciri, dan menganalisis suara jantung sehingga didapatkan keputusan, apakah masuk kategori suara jantung normal dan *murmur*.

Kata kunci : Suara Jantung, MATLAB, *Murmur*, Jaringan Saraf Tiruan, *backpropagation*

Abstract

An early recognition device for heart abnormalities, for normal and murmur, is indispensable to help medical personnel diagnosing heart abnormalities. Every persons have a special heart sound characteristic, an abnormal heart sound called murmur. Murmur heart sound will generate a special sound, so using frequency and spectrum wave, that sound can be analyzed to be known as normal or murmur heart sound. This design intended to identify 2 kind of heart sound, that is normal and murmur. This system consist of hardware and software that created with several stages: identification of needs, analysis of needs, system design, steps of making, program flow diagram, testing and data retrieval. The hardware using acoustic stethoscope, voltage regulator module, cutoff frequency circuit and voice recording module that used to give heart sound input to be processed in system. The software using backpropagation from Artificial Neural Network method to identify normal or murmur heart sound. This training method using nprtool function from MATLAB neural network toolbox. Based on the obtained test result of this diagnose device, the training accuracy is already 100% in recognizing 2 kinds of heart sound, that is normal and murmur. After testing the device as whole, system circuit is able to function well, based on the voice recording hardware that able to record heart sound and send it to be processed further in the software. In software testing, the buttons are able to function well too, with able to record heart sound, to filter heart sound, to extract heart sound feature, and analyze it's, to get a decision, to be in normal or murmur heart sound category.

Keywords: Heart Sound, MATLAB, Murmur, Artificial Neural Network, Backpropagation

PENDAHULUAN

Alat diagnostik untuk membantu dokter dalam menentukan detak jantung serta mengklasifikasikannya sebagai jantung sehat atau sakit yang ada selama ini sangat beragam baik dari metode pengukuran, komponen dan program aplikasi yang dipakai. Hal ini berakibat pada harga alat pendeteksi kelainan jantung yang berada di pasaran. Diagnosa kelainan jantung dari yang ada selama ini terkesan sebagai suatu piranti yang sangat mahal, dan hanya ada pada rumah sakit tertentu.

Pada saat ini komponen yang digunakan dalam mendapatkan data suara detak jantung terbatas hanya menggunakan stetoskop akustik sehingga diperlukan modifikasi untuk mendapatkan rekaman frekuensi suara detak jantung yaitu dengan komponen stetoskop akustik yang telah dipasang *mic condenser* dan komponen elektronika lainnya, kemudian dihubungkan dengan laptop untuk mendapatkan gambaran grafis dari frekuensi rekaman suara detak jantung yang kemudian dikumpulkan menjadi satu *database*.

Database ini kemudian akan diidentifikasi apakah pasien memiliki kelainan suara jantung atau tidak. Klasifikasi kelainan suara jantung dan jantung normal ini menggunakan klasifikasi dengan metode Jaringan Saraf Tiruan (*artificial neural network*). Jaringan Saraf Tiruan ini (JST) dapat mengklasifikasikan dengan baik suara jantung normal atau *murmur*. Jaringan Saraf Tiruan ini memiliki pola kerja yang efektif dalam menganalisis sinyal multiple serta lebih sensitif daripada program interpretasi dan kardiologis dalam mendiagnosa kelainan suara jantung.

Dari permasalahan diatas, diperlukan suatu sistem untuk mendiagnosa dini kelainan suara jantung berbasis elektronik, yang dapat digunakan sebagai salah satu sistem untuk mendeteksi dini kelainan jantung, yang diharapkan dapat membantu para tenaga medis dalam mendiagnosa.

Berdasarkan permasalahan ada 3 identifikasi masalah antara lain (1) Belum ada alat elektronik pengenalan dini terhadap kelainan jantung untuk mendiagnosa jantung *murmur* dan jantung normal, (2) Alat untuk mendapatkan data suara jantung hanya terbatas pada stetoskop yang tidak bisa digunakan untuk perekaman suara detak jantung, (3) Belum adanya sistem diagnostik berbasis suara

untuk membantu dokter dalam mendiagnosa kelainan jantung.

Adapun rumusan masalah dari latar belakang masalah yang ada antara lain: (1) Bagaimana perancangan *hardware* dari Sistem Cerdas Pengklasifikasian Penyakit Jantung Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan?. (2) Bagaimana perancangan *software* menggunakan Matlab R2018a untuk mengklasifikasikan penyakit jantung?. (3) Bagaimana Unjuk kerja Sistem Cerdas Pengklasifikasian Penyakit Jantung Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan?.

Sistem Cerdas

Sistem Cerdas merupakan bagian dari bidang Ilmu Komputer/Informatika dan Rekayasa Cerdas untuk pengembangan berbagai metode bekemampuan tinggi yang diilhami oleh fenomena alam untuk menyelesaikan berbagai masalah kompleks di dunia nyata. Masalah-masalah kompleks tersebut juga bisa berkaitan dengan pengolahan *big data* dan perancangan *embedded system*. Sebuah sistem cerdas digunakan untuk mampu menghasilkan sistem dan perangkat lunak berbasis algoritma cerdas, baik *inter* maupun *multi disipliner* dengan kemampuan analisis dan teknis sehingga menghasilkan karya inovatif dan teruji.

Kecerdasan Buatan adalah ilmu rekayasa yang membuat suatu mesin mempunyai intelegensi tertentu khususnya program komputer yang "cerdas" (John Mc Carthy, 1956). Kecerdasan buatan merupakan kawasan penelitian, aplikasi dan intruksi yang terkait dengan pemrograman komputer untuk melakukan sesuatu hal yang dalam pandangan manusia adalah cerdas. (H.A Simon, 1987). Kecerdasan merupakan bagian kemampuan komputasi untuk mencapai tujuan dalam dunia. Ada bermacam-macam jenis dan derajat kecerdasan untuk manusia, hewan dan mesin. Kecerdasan buatan merupakan sebuah studi tentang bagaimana membuat komputer melakukan hal-hal yang pada saat ini dapat dilakukan lebih baik oleh manusia. (Rich and Knight, 1991).

Kecerdasan buatan (AI) merupakan cabang dari ilmu komputer yang dalam mempresentasi pengetahuan lebih banyak menggunakan bentuk symbol-simbol daripada bilangan, dan memproses informasi berdasarkan metode heuristic (Metode Heuristik adalah teknik yang dirancang untuk

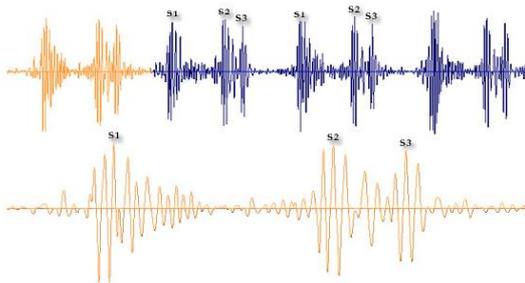
memecahkan masalah yang mengabaikan apakah solusi dapat dibuktikan benar, tapi yang biasanya menghasilkan solusi yang baik atau memecahkan masalah yang lebih sederhana yang mengandung atau memotong dengan pemecahan masalah yang lebih kompleks.) atau dengan berdasarkan sejumlah aturan (Encyclopedia Britannica).

Klasifikasi Suara Jantung

Suara jantung normal memiliki dua irama. Jika didengarkan, suaranya seperti “lup-dup” yang berulang. Suara ini berasal dari aktivitas katup jantung yang membuka dan menutup ketika darah mengalir melalui jantung.

Suara jantung bisa didengar secara lebih jelas ketika dokter melakukan pemeriksaan dengan menggunakan stetoskop akustik. Bunyi jantung bisa menjadi alat ukur untuk mengetahui kondisi kesehatan seseorang, termasuk kesehatan jantung. Dari hasil pemeriksaan itu, dokter akan menentukan langkah penanganan yang tepat

Biasanya suara jantung normal atau tidak, diketahui ketika seseorang sedang sakit dan memeriksakan diri ke dokter, atau pada saat melakukan *medical check-up*. Jika bunyi jantung Anda bukan “lup-dup” atau ada bunyi tambahan, kemungkinan jantung Anda mengalami kelainan. Gambar 1 menunjukkan gambaran lup-dup pada gelombang suara jantung.



Gambar 1. Lup-Dup Gelombang Suara Jantung

(dikutipdari:http://www.stethographics.com/main/physiology_hs_introduction.html.06Desember 2018).

Keterangan: S1 = Lup, S2 = Dup

Salah satu bentuk bunyi jantung yang tidak normal adalah bising jantung, atau dikenal sebagai *murmur* jantung. *Murmur* jantung terjadi ketika katup jantung tidak menutup dengan benar, sehingga darah dapat mengalir kembali dan menimbulkan bising

jantung. Meski tak selalu menimbulkan bahaya, namun pada kasus tertentu *murmur* jantung harus ditangani secara khusus.

Murmur jantung seringkali disebabkan oleh penyakit katup jantung. Meski begitu, *murmur* jantung juga bisa terjadi karena adanya peningkatan aliran darah yang melintasi katup jantung. Kondisi ini biasanya terjadi karena pengaruh penyakit lain yang bukan merupakan gangguan jantung seperti anemia dan hipertiroidisme.

Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan atau *Neural Network* adalah paradigma pemrosesan suatu informasi yang terinspirasi oleh sistem sel saraf biologi, sama seperti otak yang memproses suatu informasi. Elemen mendasar dari paradigma tersebut adalah struktur yang baru dari sistem pemrosesan informasi. Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*), seperti manusia, belajar dari suatu contoh. Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*) dibentuk untuk memecahkan suatu masalah tertentu seperti pengenalan pola atau klasifikasi karena proses pembelajaran.

Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*) terinspirasi dari penelitian kecerdasan buatan, terutama percobaan untuk menirukan fault-tolerance dan kemampuan untuk belajar dari sistem saraf biologi dengan model struktur *low-level* dari otak. Otak terdiri dari sekitar (10.000.000.000) sel saraf yang saling berhubungan. Sel saraf mempunyai cabang struktur input (dendrites), sebuah inti sel dan percabangan struktur *output* (axon). Axon dari sebuah sel terhubung dengan dendrites yang lain melalui sebuah synapse. Ketika sebuah sel saraf aktif, kemudian menimbulkan suatu *signal electrochemical* pada axon. *Signal* ini melewati synapses menuju ke sel saraf yang lain. Sebuah sel saraf lain akan mendapatkan signal jika memenuhi batasan tertentu yang sering disebut dengan nilai ambang atau (*threshold*).

Jaringan Saraf Tiruan memiliki pendekatan yang berbeda untuk memecahkan masalah bila dibandingkan dengan sebuah komputer konvensional. Umumnya komputer konvensional menggunakan pendekatan algoritma (komputer konvensional menjalankan sekumpulan perintah untuk memecahkan masalah). Jika suatu perintah tidak diketahui oleh komputer konvensional maka komputer konvensional tidak dapat

memecahkan masalah yang ada. Sangat penting mengetahui bagaimana memecahkan suatu masalah pada komputer konvensional dimana komputer konvensional akan sangat bermanfaat jika dapat melakukan sesuatu dimana pengguna belum mengetahui bagaimana melakukannya.

Backpropagation adalah algoritma pembelajaran untuk memperkecil tingkat error dengan cara menyesuaikan bobot melalui perbedaan output dan target yang diinginkan. *Backpropagation* juga merupakan sebuah metode sistematis untuk pelatihan multilayer JST. *Backpropagation* dikatakan sebagai algoritma multilayer karena *Backpropagation* memiliki tiga layer dalam proses pelatihannya, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*, dimana *backpropagation* ini merupakan perkembangan dari *single layer network* (jaringan layer tunggal) yang memiliki dua layer, yaitu *input layer* dan *output layer*, dengan adanya *hidden layer* pada *backpropagation* dapat menyebabkan besarnya tingkat *error* pada *backpropagation* lebih kecil dibanding tingkat *error* pada *single layer network*. Hal tersebut dikarenakan *hidden layer* pada *backpropagation* berfungsi sebagai tempat untuk mengupdate dan menyesuaikan bobot, sehingga nilai bobot baru yang bias diarahkan mendekati dengan target *output* yang diinginkan. Arsitektur *backpropagation* terdiri dari tiga layer, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Pada *input layer* tidak terjadi proses komputasi, namun pada *input layer* terjadi pengiriman sinyal input ke X ke *hidden layer*, pada *hidden* dan *output layer* tersebut berdasarkan fungsi aktivasi tertentu. Dalam algoritma *backpropagation* ini digunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, karena output yang diharapkan bernilai 0 sampai 1.

Algoritma *backpropagation* adalah sebuah algoritma untuk memperkecil tingkat *error* dengan menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan. Secara umum algoritma terdiri dari 3 langkah utama, yaitu:

- 1) Pengambilan *input*
- 2) Penelusuran *error*
- 3) Penyesuaian bobot

Pada pengambilan *input*, terlebih dahulu dilakukan inisialisasi bobot, kemudian masuk ke dalam algoritma proses *backpropagation* yang terdiri dari komputasi maju yang bertujuan untuk menelusuri besarnya *error* dan komputasi balik untuk mengupdate dan

menyesuaikan bobot. Dalam mengupdate bobot dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu tanpa momentum dan dengan momentum. Namun dalam mengupdate bobotnya dilakukan tanpa memperhatikan besarnya momentum. Dalam metode *backpropagation*, algoritma yang harus dilakukan adalah inisialisasi bobot, komputasi *feed forward* dan *backpropagation* serta inisialisasi kondisi stopping berdasarkan nilai batas error atau jumlah batas epoch. *Epoch* merupakan rangkaian langkah dalam pembelajaran ANN. Satu epoch diartikan sebagai satu kali pembelajaran ANN.

Pada dasarnya proses algoritma *backpropagation* terdiri dari komputasi maju (*feed forward*) dan komputasi balik (*backpropagation*). Komputasi maju digunakan sebagai sebuah algoritma untuk menghitung nilai aktivasi yang ada pada semua neuron baik yang ada pada *hidden layer* ataupun *output layer*. Berikut merupakan algoritma yang digunakan dalam komputasi maju.

- 1) Neuron yang berada pada lapisan tersembunyi melakukan perhitungan nilai total masukan dari lapisan tersembunyi dengan cara menjumlahkan perkalian sinyal masukan dengan bobot antara lapisan masukan (*input layer*) dan lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan nilai bias.
- 2) Neuron tersebut melakukan perhitungan nilai aktivasi.
- 3) Sinyal keluaran neuron yang berada pada lapisan keluaran melakukan perhitungan untuk menghitung nilai keluaran.
- 4) Neuron keluaran tersebut menghitung nilai aktivasi dengan menerapkan fungsi aktivasi pada lapisan keluarannya.

Backpropagation merupakan sebuah algoritma yang berfungsi untuk melakukan perhitungan balik dari neuron keluaran agar memiliki nilai bobot yang sesuai dalam *jarangan neural network*, dengan komputasi balik ini nilai *error* atau kesalahan bias dikurangi dengan cukup baik. Berikut ini adalah gambaran dari algoritma komputasi balik yang digunakan pada *Artificial Neural Network*

Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) diterapkan dalam berbagai bidang pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan diferensial parsial menjadi algoritma-algoritma untuk penggandaan bilangan integer dalam jumlah

banyak. Ada pun kelas dasar dari algoritma FFT yaitu *Decimation In Time* (DIT) dan *Decimation In Frequency* (DIF). Garis besar dari kata *Fast* diartikan karena formulasi FFT jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode perhitungan algoritma *Fourier Transform* sebelumnya.

FFT dalam pengolahan isyarat meliputi Periode dan frekuensi:

1. Periode

Secara umum periode didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk sebuah isyarat atau gelombang mencapai suatu gelombang penuh dan dapat menentukan nilai periodesitasnya. Perlu dicermati bahwa pengertian ini berlaku untuk isyarat monokromatis, isyarat yang dimaksud adalah gelombangnya bersifat tunggal, pasti memiliki sebuah periode. Dengan demikian isyarat itu dikenal dengan istilah priodis, pengamatan dapat dilakukan dengan memantau gelombang kita dapat mengetahui nilai nilai yang terkandung dalam isyarat serta periodenya.

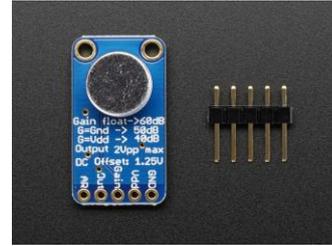
2. Frekuensi

Ada periode, maka ada frekuensi diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (*second*) akan menjadi Hertz (1-per *second*) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Yang dikenal dengan spektrum frekuensi. Pengertian frekuensi ini juga berlaku untuk gelombang monokromatis

Modul Mikrofon MAX 9814

Modul mikrofon ini, mempunyai kemampuan untuk mengatur penguatan secara otomatis, sehingga suara terdekat yang keras, akan otomatis disesuaikan agar tidak terdengar begitu keras, dan suara terjauh yang samar-samar, akan otomatis dikuatkan agar dapat terdengar oleh *user*. Semua ini menggunakan IC MAX 9814 yang mempunyai fitur AGC (*Automatic Gain Control*).

Modul mikrofon ini menyediakan beberapa fitur yang memudahkan *user* dalam merekam suara yang dibutuhkan. *Default max gain* yang dimiliki modul ini adalah 60dB, tapi bisa diatur ke 40dB atau 50dB dengan menghubungkan pin Gain modul dengan pin Vdd modul atau pin GND modul. *Attack./Release ratio* juga dapat diubah, yang nilai secara *default* nya adalah 1:4000, tapi bisa diatur hingga mencapai 1:2000 atau 1:500.



Gambar 2. Modul MAX9814
dikutipdari:<https://www.adafruit.com/product/1713>. 29 November 2018

Modul ini mempunyai tegangan *output* maximal sekitar 2Vpp dengan bias 1,25V, sehingga dapat dengan mudah digunakan dengan berbagai model *Analog/Digital Converter* yang mana rata-rata mempunyai input tegangan hingga 3,3 Volt. Jika ingin langsung menghubungkan modul dengan jack audio, pin *output* hanya tinggal dihubungkan secara seri dengan kapasitor 1uF. Berikut spesifikasi modul mikrofon MAX 9814 ini:

- Tegangan supply : 2,7 – 5,5 Volt dengan arus 3mA
- Output* tegangan : 2Vpp dalam 1,25V bias
- Respon frekuensi : 20Hz – 20 KHz
- Attack/Release ratio* yang dapat diubah-ubah
- Automatic Gain*, yang dapat dipilih antara 40dB, 50dB dan 60dB
- Low input noise density* sebesar $30\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Low THD* : 0,04%

Modul regulator Tegangan DC LM2596

Modul regulator tegangan ini merupakan jenis *step down* regulator, dimana tegangan input yang dimiliki modul ini adalah 4-40 Volt, dengan *output* tegangan yang dihasilkan antara 1,23 – 35 Volt. Modul ini dapat menyuplai arus hingga 2 Ampere dan 3 Ampere jika ditambah dengan *heatsink*. Efisiensi yang dimiliki modul ini adalah 92% dengan tegangan *dropout* minimal sebesar 2Volt. Dilengkapi dengan pembatas arus, dan pelindung *short circuit*. Modul ini digunakan karena cocok untuk berbagai project yang membutuhkan tegangan dan arus yang stabil, dari berbagai input tegangan yang bisa didapatkan.

Stetoskop Akustik

Stetoskop dalam bahasa Yunani yaitu *stethos* yang artinya dada dan *skopeein* artinya

memeriksa, maka Stetoskop adalah sebuah alat medis akustik untuk memeriksa suara dalam tubuh. Stetoskop bukan hanya memeriksa organ seperti jantung dan organ pernafasan, stetoskop juga digunakan untuk mendengarkan intestine serta aliran darah dalam vena dan arteri. Fungsi stetoskop kurang lebih adalah untuk memeriksa keadaan paru-paru, jantung, tekanan darah, pemeriksaan prenatal dan gangguan perut

Keuntungan menggunakan stetoskop adalah profesional medis dapat lebih mudah mendengar suara yang dihasilkan organ terutama jantung, paru-paru- dan usus. Fungsi yang abnormal dalam tubuh dapat dengan segera diketahui dengan penggunaan stetoskop yang tepat. penggunaan yang salah dari stetoskop dapat menyebabkan kerugian seperti rusaknya telinga pendengar karena suara yang terlalu keras. Stetoskop juga harus sering dibersihkan. Penggunaan stetoskop langsung bersentuhan dengan kulit sehingga bias menyebarkan virus dan kuman.

Stetoskop akustik merupakan stetoskop yang paling banyak digunakan oleh profesional medis. Cara kerja stetoskop ini adalah dengan menyalurkan suara yang berasal dari bagian dada ke telinga pendengar melalui tabung kosong yang berisi udara. Bagian yang disebut "*chestpiece*" bias diletakan dibadan pasien yang digunakan untuk memperjelas suara. Bagian tersebut biasanya terdiri dari dua sisi. Sebuah "*bell*" atau *diaphragm* juga diletakan pada tubuh pasien. *Diaphragm* akan bergetar karena suara dari dalam tubuh dan selanjutnya tercipta tekanan gelombang akustik. Gelombang akustik inilah yang berjalan ke telinga pendengar. Kinerja "*bell*" sama dengan *diaphragm*. Getaran dari tubuh pasien akan menghasilkan tekanan gelombang akustik yang akhirnya sampai ke telinga pendengar. Perbedaan *bell* dan *diaphragm* terletak pada frekuensi suara yang disalurkan. *Diaphragm* menyalurkan suara dengan frekuensi rendah. Stetoskop ini disebut juga

sebagai stetoskop dua sisi. Pada awal abad ke-20 stetoskop ini diciptakan oleh Sprague dan Rappaport. Kelemahan dari stetoskop ini adalah tingkat suara yang sangat rendah dan menyebabkan sulit dalam mendiagnosis.

Rangkaian Filter

Pada dasarnya, sebuah filter listrik adalah sirkuit yang dapat dirancang untuk memodifikasi, membentuk kembali atau menolak semua frekuensi yang tidak diinginkan dari sinyal listrik dan menerima atau lulus hanya mereka sinyal dicari oleh desainer sirkuit. Dengan kata lain mereka "filter-out" sinyal yang tidak diinginkan dan filter yang ideal akan memisahkan dan melewatkan sinyal masukan sinusoidal berdasarkan frekuensi mereka.

Dalam aplikasi frekuensi rendah (sampai 100kHz), filter pasif umumnya dibangun menggunakan sederhana RC (Resistor-Capacitor) jaringan, sedangkan filter frekuensi yang lebih tinggi (di atas 100kHz) biasanya terbuat dari RLC (Resistor-Induktor-Capacitor).

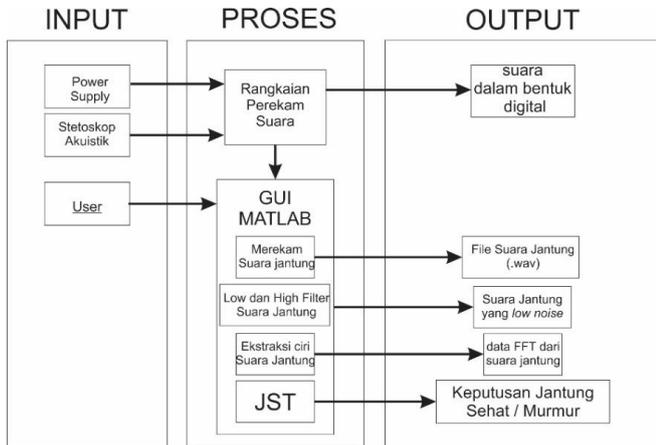
Sebagai fungsi filter setiap adalah untuk memungkinkan sinyal dari sebuah band diberikan frekuensi untuk lulus tidak berubah sementara pelemahan atau melemahkan semua orang lain yang tidak ingin, kita dapat mendefinisikan karakteristik respon amplitudo dari sebuah filter yang ideal dengan

Filter dapat dibagi menjadi dua jenis yang berbeda: filter aktif dan filter pasif. Filter aktif berisi memperkuat perangkat untuk meningkatkan kekuatan sinyal sementara pasif tidak mengandung memperkuat perangkat untuk memperkuat sinyal. Karena ada dua komponen pasif dalam filter pasif desain sinyal *output* memiliki amplitudo kecil dari sinyal input yang sesuai, oleh karena itu filter RC pasif melemahkan sinyal dan memiliki keuntungan kurang dari satu, (kesatuan).

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain: blok diagram, perancangan sistem, pengujian alat, dan pengoprasian alat.

Blok Diagram



Gambar 3. Blok Diagram Rangkaian

Gambar 3 merupakan blok diagram rangkaian sistem keseluruhan proses yang diimplementasikan pada pembuatan alat ini yang meliputi blok input, blok proses, blok keluaran, catu daya, serta user.. Penjelasan bagian-bagian blok pada gambar 2 sebagai berikut:

- 1) *Power supply* berfungsi sebagai input yang menyediakan tegangan bagi rangkaian perekam suara.
- 2) Stetoskop akustik berfungsi sebagai perekam suara jantung yang akan ditempelkan pada jantung pasien, yang nantinya akan menjadi input bagi rangkaian perekam suara.
- 3) *User* akan memberikan input di GUI matlab yang nantinya akan memproses setiap fungsi yang telah dirancang sebelumnya.
- 4) Rangkaian perekam suara akan merekam suara jantung dengan input dari *user* melalui GUI. Fungsi yang digunakan ialah merekam suara, fungsi tersebut akan merekam suara jantung melalui rangkaian perekam suara, dan memprosesnya untuk dijadikan file digital dalam format (.wav).
- 5) Fungsi *Low* dan *High* Filter Suara Jantung dalam GUI dapat memfilter suara yang telah direkam oleh rangkaian perekam suara, agar menjadi lebih bagus untuk dimasukkan kedalam proses selanjutnya

- 6) Fungsi Ekstraksi Ciri Suara Jantung dalam GUI ini akan membuat suara yang telah difilter sebelumnya, menjadi memiliki ciri tersendiri yang dapat dibedakan dengan suara lainnya, ekstraksi ciri ini menggunakan fungsi FFT (*Fast Fourier Transform*).

Fungsi JST (Jaringan Saraf Tiruan), dimana disini, suara-suara jantung yang telah di ekstraksi ciri dengan FFT, akan di latih dengan data jantung lainnya, agar tercipta suatu sistem yang dapat membedakan antara suara jantung normal dengan suara jantung *murmur*.

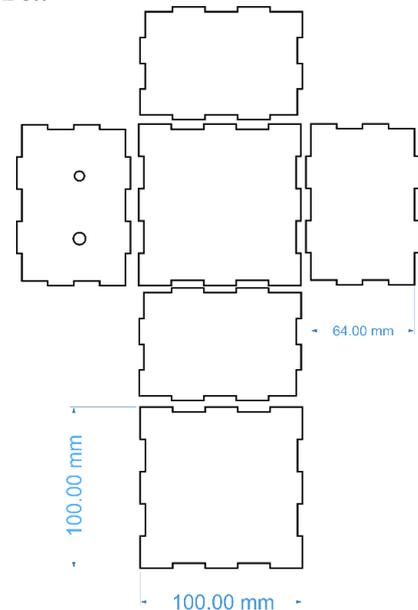
Perancangan Sistem

Perancangan Sistem Cerdas Deteksi Suara Jantung ini terdiri dari perancangan *hardware* dan *software*.

1. Hardware

perancangan *hardware* meliputi desain *box*, rangkaian perekam suara.

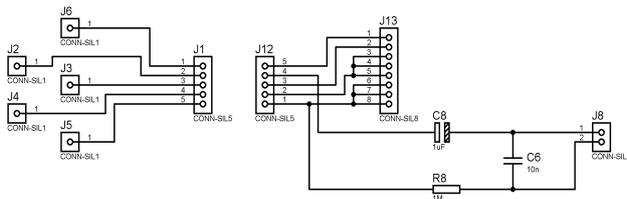
a. Desain *Box*



Gambar 4. Desain Box

Gambar 4 merupakan desain box alat perekam suara, didesain dengan menyesuaikan ukuran modul perekam suara MAX9812, modul regulator, dan rangkaian *low-pass* filter suara agar dapat dimasukkan di dalamnya. Dengan dimensi panjang x lebar x tinggi adalah 10 cm x 10 cm x 6,4 cm.

b. Rangkaian Perekam Suara



Gambar 5. Rangkaian Perekam Suara

Pada gambar 5, merupakan rancangan rangkaian perekam suara jantung yang akan dibuat, dengan J1 adalah header untuk konektor *stereo*, J2 adalah header untuk modul perekam suara MAX9812, J3 adalah header untuk dihubungkan dengan modul penstabil tegangan, dan J8 adalah header untuk *output* suara. Rangkaian diatas dilengkapi dengan rangkaian *low pass* filter, dengan *cut-off* sebesar 1500 Hz, yang mana diatas batas akhir frekuensi jantung *murmur* yang sebesar 1000 Hz.

Nilai frekuensi 1500 Hz diambil menimbang, untuk mengeliminasi *noise* yang dihasilkan lingkungan sekitar tanpa mengurangi detail-detail yang ada pada suara jantung yang terekam, maka diambil jarak potong frekuensi yang cukup jauh yaitu sekitar 500 Hz dari batas akhir frekuensi jantung *murmur*, dan nantinya juga, dalam GUI matlab yang dirancang, suara akan difilter lebih lanjut dengan menggunakan fungsi dalam matlab sendiri, sehingga dengan mengambil *cut-off* frekuensi di sekitar 1500 Hz, dianggap sudah mencukupi untuk rangkaian perekam suara, sebagai *low-pass* filter analog yang mengeliminasi *noise-noise* yang ada disekitar alat ketika proses perekaman jantung dimulai

2. Software

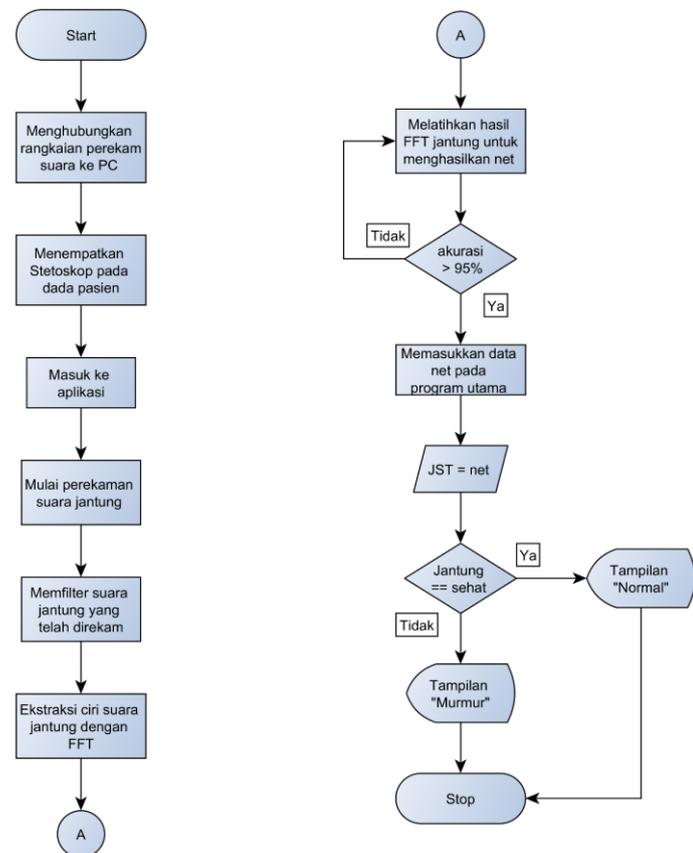
Software pada perancangan pada alat ini yaitu menggunakan Matlab R2018a, berikut penjelasannya:

User berperan untuk memasukkan input di GUI matlab yang telah dirancang sebelumnya, sedangkan didalam GUI matlab nya sendiri terbagi menjadi 4 fungsi utama, yaitu merekam suara jantung, *high* and *low* filter suara jantung, ekstraksi ciri suara jantung, dan JST. Pada fungsi pertama, jika dipilih, GUI akan menerima sinyal suara jantung dari rangkaian perekam suara, yang nantinya keluaran dari GUI ini adalah file audio dengan format (.wav). Pada fungsi kedua, jika dipilih akan memfilter suara yang

telah direkam sebelumnya, suara ini akan difilter dengan *high pass* filter dan *low pass* filter, dengan rentang frekuensi yang diloloskan antara 20 hingga 1000 Hz . Pada fungsi ketiga jika dipilih, GUI akan melakukan ekstraksi ciri pada suara yang telah difilter sebelumnya, ekstraksi ciri ini menggunakan metode FFT yaitu *Fast Fourier Transform*, dimana suara akan diproses untuk dijadikan dalam rentangan spektrum frekuensi, rentangan inilah yang menjadi ciri setiap suara jantung. Pada fungsi keempat, jika dipilih, JST yang sebelumnya dilatihkan terlebih dahulu dengan data-data suara jantung, dapat mengenali antara suara jantung normal dengan *murmur*.

a. Flowchart

Diagram alur digunakan untuk menggambarkan terlebih dahulu apa yang harus dikerjakan sebelum mulai merancang atau membuat suatu sistem seperti yang akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah *flowchart* sistem yang akan dibuat.



Gambar 7. Flowchart Sistem

Algoritma sistem

- 1) Start
- 2) Menghubungkan rangkaian perekam suara ke PC
- 3) Menempatkan stetoskop pada dada pasien
- 4) Masuk ke GUI matlab di PC
- 5) Mulai perekaman suara jantung di GUI
- 6) Memfilter suara jantung yang telah direkam
- 7) Ekstraksi ciri suara jantung dengan FFT
- 8) Melatihkan hasil ekstraksi ciri suara jantung dengan JST yang sudah dibuat sebelumnya
- 9) Apakah data suara jantung yang dilatihkan sehat ?
- 10) Jika ya, GUI matlab akan menampilkan status jantung sehat
- 11) Jika tidak, GUI matlab akan menampilkan status jantung *murmur*
- 12) Finish

Algoritma program

- 1) Start .
- 2) Inialisasi variable global GUI matlab.
- 3) *User* memilih pushbutton mana yang akan ditekan.
- 4) Jika *push button* 1 ditekan, mengeset $F_s = 11025$, dan waktu = 10 detik, setelah itu proses perekaman suara jantung akan dimulai, dan setelah selesai dalam waktu 10 detik, gelombang suara akan ditampilkan di GUI matlab.
- 5) Jika *push button* 2 ditekan, mengeset $[y, F_s] = \text{audioread}(\text{File_jantung})$, setelah itu proses menampilkan suara jantung dimulai, dengan mengubah suara jantung ke domain frekuensi dan amplitudo, setelah selesai mengubah nya, gelombang suara jantung dan bentuk suara jantung dalam domain frekuensi dan amplitudo akan ditampilkan di GUI matlab.
- 6) Jika *push button* 3 ditekan, mengeset $y = \text{hasil_FFT_suara_jantung}$, dan $JST = \text{net}$, setelah itu proses pengklasifikasian suara jantung dimulai, jika $\text{output} == [1,0]$, maka GUI matlab akan menampilkan tulisan “Jantung Normal”, sedangkan jika $\text{output} == [0,1]$, akan menampilkan tulisan “Jantung *Murmur*”.
- 7) Jika pushbutton4 ditekan, mengeset $y = \text{suara_jantung}$, dan filter = Bessel orde 10, setelah itu proses filter suara jantung dimulai, dengan menggunakan filter untuk menjalankan fungsi *band pass*, dan memasukkan fungsi untuk memotong

frekuensi, setelah suara jantung terfilter, GUI matlab akan menampilkan perbandingan suara jantung sebelum dan setelah difilter dalam domain frekuensi dan amplitudo.

- 8) Jika *push button* 5 ditekan, mengeset $y = \text{suara_jantung_setelah_direkam}$, setelah itu y akan diputar.
- 9) Jika *push button* 6 ditekan, mengeset $y = \text{suara_jantung_setelah_direkam}$, setelah itu proses penyimpanan suara jantung setelah direkam dimulai, dengan format penyimpanan file suara adalah wav.
- 10) Jika *push button* 7 ditekan, proses *reset* program dimulai, dengan menghapus semua variable yang telah ada sebelumnya.
- 11) Jika *push button* 8 ditekan, mengeset $y = \text{suara_jantung_setelah_difilter}$, setelah itu y akan diputar.
- 12) Jika *push button* 9 ditekan, mengeset $y = \text{suara_jantung_setelah_difilter}$, setelah itu proses penyimpanan suara suara jantung setelah difilter dimulai, dengan format penyimpanan file suara adalah wav.
- 13) Jika *push button* 10 ditekan, GUI matlab akan menampilkan “Apakah *user* ingin kembali ke menu utama”, setelah itu tampilan akan dialihkan ke menu utama.
- 14) Finish

Pengujian Alat

1. Uji fungsional

Pengujian alat dilakukan dengan cara menguji setiap bagian-bagian berdasarkan karakteristik dan fungsi masing-masing. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah setiap bagian dari perangkat telah dapat bekerja sesuai dengan fungsi dan keinginan yang akan dibutuhkan. Pengujian fungsional ini meliputi pengujian tegangan, pengujian rangkaian filter dan pengujian *software*.

2. Uji unjuk kerja

Pengujian unjuk kerja alat dilakukan dengan cara melihat kinerja keseluruhan sistem dalam merespon setiap *input* yang diberikan untuk mengetahui unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

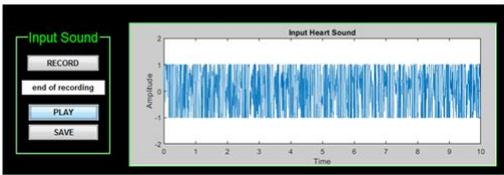
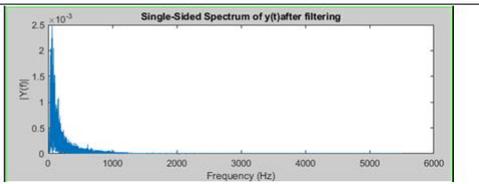
Pengujian Power Supply

Tabel 1. Hasil Pengujian Power Supply

No	Vin (Volt)	V output (Volt)	
		Tanpa beban	Dengan beban
1.	5	4.5	4.5

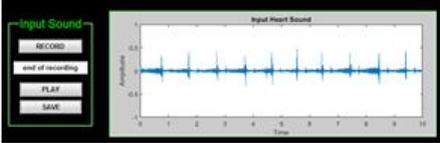
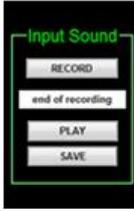
Pengujian Rangkaian Filter

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Filter

Jenis Filter	Filter (low pass) 1000 Hz
Tanpa Filter	
Dengan Filter	

Pengujian Panel Input Sound

Tabel 4. Hasil Pengujian Panel Input Sound

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
RECORD		Baik
PLAY		Baik
SAVE		Baik

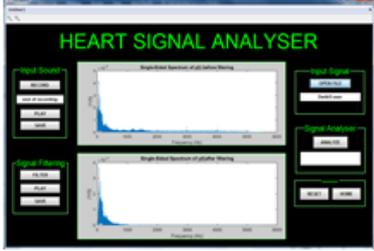
Pengujian Gui Home

Tabel 3. Hasil Pengujian GUI Home

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
MULAI		Baik

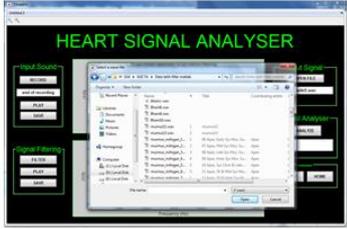
Pengujian Panel Sound Filtering

Tabel 5. Hasil Pengujian Panel Sound Filtering

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
FILTER		Baik
PLAY		Baik
SAVE		Baik

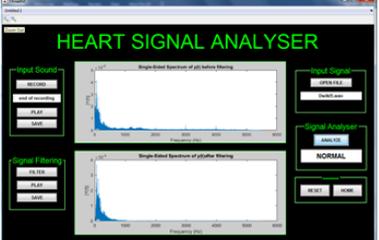
Pengujian Panel Input Signal

Tabel 6. Hasil Pengujian Panel Input Signal

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
OPEN FILE		Baik

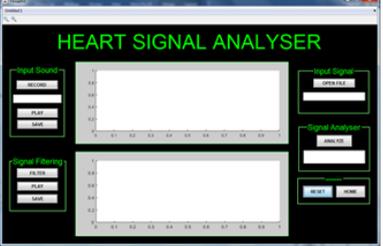
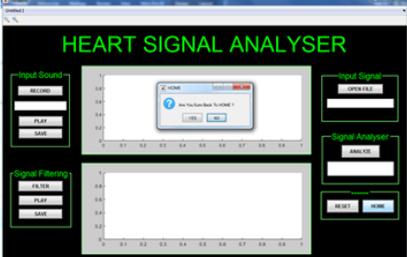
Pengujian Panel Signal Analyser

Tabel 7. Hasil Pengujian Panel Signal Analyser

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
ANALYZE		Baik

Pengujian Panel Options

Tabel 8. Hasil Pengujian Panel Options

Tombol	Tampilan GUI	Keterangan
RESET		Baik
HOME		Baik

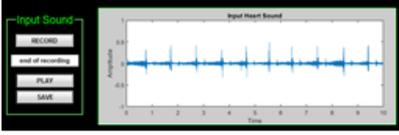
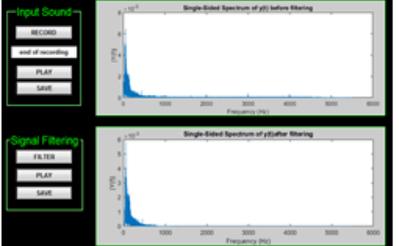
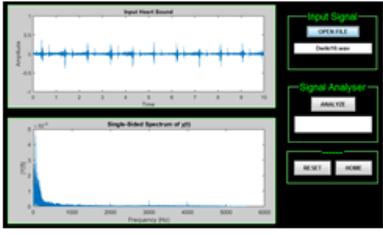
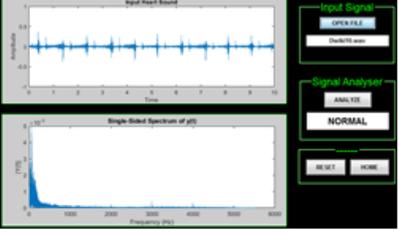
Pengujian JST

Tabel 9. Hasil Pengujian JST

No.	Jumlah hidden layer	Hasil training JST	Hasil net JST pada data latih	Hasil net JST pada data uji
1.	10	80%	Ada 2 data yang error	Ada 10 data yang error
2.	20	56%	Ada 4 data yang error	Ada 16 data yang error
3.	25	100%	Tidak ada hasil data yang error	Tidak ada hasil data yang error

Pengujian Unjuk Kerja

Tabel 10. Hasil Pengujian Unjuk Kerja

Fungsi	Tampilan GUI	Keterangan
Merekam Suara Jantung		Baik
Filter Suara Jantung		Baik
Ekstraksi Ciri Suara Jantung		Baik
JST		Baik

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa dari sistem yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik sebagaimana fungsinya, walaupun masih terdapat *noise* suara pada saat dilakukan perekaman suara jantung.

1. Pengujian Power Supply

Dapat dilihat pada tabel 1 yang merupakan hasil pengujian tegangan power suplai pada rangkaian perekam suara, pada konsisi pertama power suplai diberikan input sebesar 5 V dan dilakukan stepdown menjadi 4.5 V sehingga keluaran tanpa beban menjadi 4.5 V, begitu juga ketika diberikan beban, keluaran tegangan tetap pada 4.5 V.

2. Pengujian Rangkaian Filter

Rangkaian filter (*low pass*) ialah rangkaian untuk memfilter frekuensi suara yang dihasilkan oleh modul perekam suara pada saat dilakukan perekaman, *low pass* filter ini terdiri dari resistor 4700 Ohm dan kapasitor 22 nf, rangkaian *low pass* filter ini mengambil nilai *cut off* sebesar 1500 Hz.

Nilai *cut off* sebesar 1500 Hz ini diambil menimbang dari batas akhir frekuensi suara jantung *murmur* adalah 1000 Hz, maka diambil jarak potong frekuensi sebesar 500 Hz dari batas akhir frekuensi suara jantung *murmur*, hal ini dilakukan untuk mengeliminasi *noise* yang dihasilkan lingkungan sekitar tanpa mengurangi detail-detail yang ada pada suara jantung yang terekam.

Berdasarkan pengujian pada table 2 menunjukkan rangkaian filter (*low pass*) bekerja dengan baik, ini ditandai dengan gambaran grafis gelombang suara sebelum difilter dan setelah difilter, dari gambaran tersebut menunjukkan bahwa rangkain filter pada perekam suara telah bekerja dengan baik.

3. Pengujian Gui Home

Berdasarkan tabel 3, hasil pengujian halaman Home melihat ketika *push button* "Mulai" ditekan maka yang sebelumnya berada pada halaman Home akan masuk ke halaman utama, pengujian ini menunjukkan fungsi dari *push button* "Mulai" telah bekerja sesuai dengan fungsinya.

4. Pengujian Panel Input Sound

Berdasarkan tabel 4, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja *software* ketika sudah memasuki halaman utama, yaitu pada

panel *Input Sound* yang terdiri dari *push button* "Record, PLAY, Save" apakah sudah bekerja sesuai dengan fungsinya. Hasil pada pengujian ini menunjukkan pada *push button* "Record" sudah dapat merekam suara dengan baik sesuai dengan waktu sampling yang ditentukan, begitu juga pada *push button* "Save dan PLAY" sudah dapat menyimpan hasil file rekaman dan memainkan suara hasil rekaman, hal ini menunjukkan bahwa semua *push button* pada panel *Input Sound* telah bekerja dengan baik.

5. Pengujian Panel Sound Filtering

Berdasarkan tabel 5, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja *software* pada panel *Sound Filtering* yang terdiri dari *push button* "Filter, PLAY, Save" apakah sudah bekerja sesuai dengan fungsinya. Hasil pada pengujian ini menunjukkan pada *push button* "Filter" sudah dapat memfilter suara dari hasil rekaman dengan sesuai dengan fungsi filter yang ditentukan dan sekaligus melakukan ekstraksi ciri menggunakan FFT dengan baik, begitu juga pada *push button* "PLAY dan Save" sudah dapat memainkan dan menyimpan hasil suara rekaman yang telah difilter dan diekstraksi ciri, hal ini menunjukkan bahwa semua *push button* pada panel *Sound Filtering* telah bekerja dengan baik.

6. Pengujian Panel Input Signal

Berdasarkan tabel 6, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja *software* pada panel *Input Signal* apakah sudah bekerja sesuai dengan fungsinya. Hasil pada pengujian ini menunjukkan ketika *push button* "Open File" ditekan sudah dapat membuka file yang tersimpan dalam PC dan menampilkannya ke dalam *software*, hal ini menunjukkan fungsi *push button* pada panel *Input Signal* telah bekerja dengan baik.

7. Pengujian Panel Signal Analyser

Berdasarkan tabel 7, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja *software* pada panel *Signal Analyser* apakah sudah bekerja sesuai dengan fungsinya. Hasil pada pengujian ini menunjukkan ketika *push button* "Analyze" ditekan sudah dapat mengkategorikan suara jantung *murmur* atau normal dan ditampilkan kedalam *software*, pengkategorian suara ini dapat dilakukan melalui rekaman langsung menggunakan *software* atau mengambil data yang sudah direkam sebelumnya yang tersimpan dialam PC, hal ini menunjukkan

fungsi *push button* pada panel *Signal Analyser* telah bekerja dengan baik.

8. Pengujian Panel Options

Berdasarkan tabel 8, pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja *software* pada panel *Options* yang terdiri dari *push button* “Reset dan Home” apakah sudah bekerja dengan sesuai dengan fungsinya. Hasil pengujian ketika *push button* “Reset” ditekan sudah dapat membersihkan data-data yang diinputkan ke dalam *software* dan mengembalikan tampilan saat halaman utama dibuka. Hasil pengujian ketika *push button* “Home” ditekan sudah dapat mengembalikan *software* dari halaman utama ke halaman Home, sama seperti ketika *software* pertama kali dibuka, hal ini menunjukkan fungsi *push button* pada panel *Options* telah bekerja dengan baik.

9. Pengujian JST

Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar akurasi yang didapatkan, melihat dari jumlah hidden layer dan dala pelatihan yang di inputkan. Hasil akurasi yang didapatkan bergantung pada kesesuaian jumlah hidden layer dan jumlah data yang akan dilatihkan.

Berdasarkan tabel 9 dapat dilihat bahwa, jumlah hidden layer tidak berbanding lurus dengan hasil akurasi yang akan didapatkan, sedangkan jumlah data yang dilatihkan akan sangat berpengaruh terhadap akurasi yang akan dihasilkan oleh JST, pada pengujian ini jumlah hidden layer 25 menghasilkan akurasi paling baik yaitu 100% dengan tidak adanya data yg error dari data latih maupun data uji, hasil ini lebih baik dari jumlah hidden layer 15 atau 20.

10. Pengujian Unjuk Kerja

Berdasarkan tabel 10 dapat dilihat bahwa fungsi perekaman suara jantung sudah dapat menampilkan hasil gelombang suara pada axes yang ada pada *software*. Fungsi filter juga dapat dilihat bahwa suara jantung yang dihasilkan oleh proses perekaman sudah dapat difilter, perbedaan ini dapat dilihat dari tampilan pada axes yang ada pada *software*. Pengujian fungsi ekstraksi ciri dapat dilihat melalui axes yang ada pada *software*, dimana tampilan menunjukkan ketika suara diambil dari file yang tersimpan pada PC langsung menunjukkan FFT atau ekstasi ciri dari suara jantung, hal ini menunjukkan bahwa fungsi

sudah bekerja dengan baik. Fungsi JST merupakan fungsi pengambilan keputusan setelah dilakukan ekstraksi ciri, pada tabel 10 dapat dilihat bahwa fungsi JST sudah dapat mengkategorikan suara jantung, apakah suara itu masuk kategori normal atau masuk kategori *murmur*. Dari pengujian ini menunjukkan bahwa semua fungsi unjuk kerja alat telah bekerja dengan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi dan pengujian yang telah dilakukan terhadap Sistem Cerdas Deteksi Suara Untuk Pengklasifikasian Penyakit Jantung Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan, maka dapat disimpulkan:

1. Perangkat keras

Perangkat Keras pada Sistem Cerdas Deteksi Suara Jantung ini meliputi 2 perancangan yaitu yang pertama perancangan mekanik berupa desain untuk menaruh beberapa rangkaian komponen dalam alat, dengan menggunakan box akrilik yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan, sehingga didalamnya dapat di tempatkan semua rangkaian yang ada di dalam alat perekam suara, seperti modul regulator tegangan *power supply*, dan rangkaian modul perekam suara, yang kedua adalah Perancangan elektronik merupakan perancangan rangkaian yang ada pada alat perekam suara ini, yaitu rangkaian perekam suara yang didalamnya terdapat rangkaian penguat dan rangakaian filter suara. Perancangan elektronik menggunakan *software* Proteus.

2. Perangkat lunak

Perangkat Lunak yang diaplikasikan dalam sistem cerdas ini menggunakan *software* Matlab R2018a yang akan menghasilkan sebuah aplikasi pengolahan suara jantung yang telah dilakukan. Berdasarkan pada pengujian perangkat lunak ini sudah dapat bekerja dengan baik dengan tingkat akurasi 100%.

3. Unjuk kerja

Unjuk Kerja pada sistem Cerdas ini sudah dapat berjalan dengan normal dan baik melihat dari akurasi JST mencapai 100%, dengan menggunakan *input* dari *user* dan dan alat perekam suara. Alat perekam sudah bekerja dengan baik dan dapat menunjukan hasil yang sesuai dengan apa yang diinputkan oleh *user*

maupun alat perekam suara, secara keseluruhan alat sudah bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

Keterbatasan Alat

Ada beberapa kendala saat melakukan pembuatan proyek akhir ini, sehingga ada hal-hal yang perlu diperlu diperhatikan, Sistem Cerdas Deteksi Suara Untuk Pengklasifikasian Penyakit Jantung Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan, memiliki beberapa keterbatasan dalam pembuatannya, antara lain yaitu:

1. Proses pengkategorian suara jantung saat ini belum bisa *real time*.
2. Stetoskop akustik yang digunakan masih menggunakan harga yang murah sehingga kesensitifan dari membran stetoskop rendah
3. Tidak adanya indikator secara *hardware* saat perekaman suara dimulai.
4. Alat perekam masih dapat merekam suara organ lain selain jantung.
5. Alat belum bisa berdiri sendiri, sehingga bergantung pada PC untuk sumber tegangan dan proses pengolahan data suara.
6. Ukuran *software* pengolahan suara jantung yang terhitung masih terlalu besar.
7. Kurangnya data latih dan data uji untuk kategori suara jantung *murmur*.

Penelitian Lanjutan

Karena keterbatasan waktu, ilmu, dan dana pembuatan proyek akhir ini terdapat banyak kekurangan, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut. Saran membangun dibutuhkan untuk menyempurnakan alat ini, antara lain sebagai berikut:

1. Membuat alat menjadi satu kesatuan menggunakan mini PC yang terpasang didalam alat serta display olahan data yang langsung dari satu alat tersebut.
2. Membuat alat menjadi *real time* untuk proses pengolahan data suara jantung.
3. Menggunakan stetoskop yang lebih baik kualitasnya agar hasil perekaman menjadi lebih baik lagi.
4. Membuat indikator pada alat mulai dari indikator rekam hingga proses pengolahan selesai.
5. Menggabungkan alat perekam suara jantung dengan EKG untuk proses pengolahan data yang lebih tajam.

6. Pengkategorian suara dapat ditambah berdasarkan penyakit jantung yang diderita.
7. Alat ini sebaiknya diuji coba lagi dengan berbagai kondisi pengujian seperti:
 - a) Diuji terhadap rentang usia dari mulai anak kecil hingga orang dewasa.
 - b) Seberapa besar perbandingan unjuk kerja sistem cerdas ini jika dibandingkan dengan alat-alat serupa yang ada dipasaran.
8. Sebaiknya dibuat rangkaian tambahan pada *hardware* untuk filter *band pass*, dan notch filter.
9. Perlu ditambahkan *port headset* untuk langsung mendengar hasil perekaman suara jantung.
10. Perlunya dipikirkan lebih lanjut, sistem yang telah dirancang agar dapat diaplikasikan untuk kebutuhan dokter dalam mendiagnosa penyakit jantung pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- Adafruit. 2018. *MAX9814*.
<https://www.adafruit.com/product/1713>.
Diakses tanggal 26 Maret 2018.
- Britannica. 2018. *Encyclopedia Britannica*.
www.Britannica.com. Diakses tanggal 21 Desember 2018.
- Dr. Raymond. 2007. *Stethographics*.
www.stethographics.com/main/physiology_hs_introduction.html. Diakses tanggal 25 Juli 2018.
- Rich, Elaine dan Knight, Kevin. 1991. *Artificial Intelligence*. New York: MacGraw-Hill.
- Simon H.A, Langley P, Bradshaw G, dan Zytkow J. 1987. *Scientific Discovery : computational explorations of the creative processes*. Massachusetts : MIT press.
- V Rajaraman. 2014. "John MC Carthy – Father of Artificial Intelligence".
www.ias.ac.in/article/fulltext/resp/019/03/0198-0207. Diakses tanggal 15 Desember 2018.