

IMPLEMENTASI *RECURRENT NEURAL NETWORK* UNTUK DETEKSI DETAK JANTUNG BERDASARKAN VIDEO *REAL TIME*

Bagas Oxy Exa Andriyansyah¹, Ifani Hariyanti²

Sistem Informasi, Universitas Adhirajasa Reswara Sanjaya¹

Email: bagasandriansyah25@gmail.com

Sistem Informasi, Universitas Adhirajasa Reswara Sanjaya²

Email: ifani@ars.ac.id

Abstrak

Detak Jantung merupakan suara debaran jantung yang dihasilkan akibat aliran darah melewati jantung. Jantung merupakan organ vital sehingga, metode untuk mendeteksinya pun beraneka ragam. Mulai dari metode konvensional seperti menggunakan stetoskop, tensimeter digital, aplikasi google fit serta aplikasi dengan media berupa jari telah dibuat guna mendeteksi detak jantung. Walaupun sudah ada beberapa metode pengukuran detak jantung saat ini tetapi alat serta aplikasi tersebut masih memiliki keterbatasan seperti halnya baterai, usia alat, serta membutuhkan media seperti jam tangan dengan sensor detak jantung untuk penerapan aplikasinya, dan detak jantung tidak dapat terbaca apabila ujung jari dalam keadaan basah atau sidik jari rusak. Saat ini, era teknologi multimedia semakin berkembang. Perancangan metode deteksi detak jantung pun dapat diterapkan pada pengolahan citra digital wajah. Pada penelitian penelitian ini, akan dilakukan pengembangan lebih lanjut mengenai ekstraksi detak jantung manusia menggunakan pengolahan citra digital wajah. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan penelitian yang sudah ada sebelumnya. Model deteksi wajah yang digunakan adalah RNN (*Recurrent neural network*) dengan mengamati ROI (*Region of Interest*) dari kulit wajah seseorang. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah aplikasi untuk mendeteksi detak jantung berdasarkan video *real time* dengan menggunakan bahasa pemrograman python. Untuk kedepannya orang dapat mengukur detak jantung hanya dengan merekam wajah selama beberapa detik pada kamera laptop dan secara *real time*.

Kata Kunci: Detak Jantung, Aplikasi, Pengolahan Citra Digital Wajah, *Recurrent neural network* (RNN).

Abstract

Heartbeat is the sound of the beating heart produced by the flow of blood through the heart. The heart is a vital organ so there are various methods for detecting it. Starting from conventional methods such as using a stethoscope, digital sphygmomanometer, google fit application and applications with media in the form of fingers have been made to detect heart rate. Although there are already several methods of measuring heart rate at this time, these tools and applications still have limitations such as battery life, tool age, and requires media such as a watch with a heart rate sensor for application implementation, and the heart rate cannot be read when the fingertip is in a state. wet or fingerprint is damaged. Currently, the era of multimedia technology is growing. The design of the heart rate detection method can also be applied to facial digital image processing. In this final project, further development will be carried out regarding the extraction of human heartbeats using facial digital image processing. This study was conducted to overcome the limitations of previous research. The face detection model used is RNN by observing the ROI of a person's facial skin. The results obtained from this study are an application to detect heart rate based on real time video using the python programming language. It is hoped that in the future people will be able to measure heart rate just by recording faces for a few seconds on a laptop camera and in real time.

Keywords: Heartbeat, Application, Facial Digital Image Processing, *Recurrent neural network* (RNN).

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang padat penduduk, dalam hal ini Indonesia mencatat banyak terjadinya kematian dan kelahiran setiap hari (Abdillah, 2018). Kematian yang dialami di Indonesia beraneka ragam usia dan beraneka ragam penyebab, tentunya salah satunya kematian yang disebabkan (Annisa et al., 2018). Penyakit yang menyebabkan kematian tentunya tidak sedikit, untuk mengurangi jumlah kematian disebabkan penyakit maka masyarakat Indonesia perlu menjaga Kesehatan tubuh. Salah satu cara dalam menjaga kesehatan tubuh tentunya rutin melakukan cek kesehatan ke layanan kesehatan. Hal tersebut dapat membantu masyarakat mendeteksi sejak awal jika terdapat penyakit dalam tubuh, salah satu pengecekan yang paling utama adalah deteksi detak jantung. Deteksi detak jantung biasanya dilakukan oleh ahli menggunakan alat-alat yang disediakan di rumah sakit, oleh sebab itu pasien perlu mendatangi rumah sakit atau klinik untuk sekedar melakukan deteksi detak jantung. Jantung adalah organ tubuh bagian dalam yang berperan memompa sistem peredaran darah. Penyakit jantung, juga dikenal sebagai penyakit jantung koroner, merupakan suatu kondisi dimana jantung tidak dapat melakukan tugasnya dengan baik (Samosir et al., 2021). Prediksi penyakit jantung memakai tata cara kedokteran konvensional lumayan susah sebab minimnya perlengkapan pengecekan canggih, minimnya pakar kedokteran pada bidangnya, rumit, serta memakan waktu. Dunia kesehatan bisa dikatakan lelet mengadopsi teknologi pc sebab dalam sejarahnya, dunia kesehatan diawali dari dunia medis, tidak memakai alat-alat teknologi computer (Junaedi & Barsasella, 2018). Permasalahan yang ada adalah, tidak semua masyarakat mempunyai kesadaran dalam melakukan deteksi detak jantung, atau tidak banyak kesempatan bagi masyarakat dalam melakukan deteksi detak jantung, maka perlunya sebuah alat dalam melakukan diterima oleh pihak desa 6 bulan terakhir sejumlah 15 laporan. Selain itu untuk penyampaian informasi desa deteksi detak jantung yang dapat digunakan tanpa harus datang ke klinik atau rumah sakit, salah satunya dapat dibuat menggunakan teknologi Artificial Intelligence.

Artificial Intelligence (AI) sudah banyak digunakan dalam membantu bidang kesehatan salah satunya dalam hal deteksi. Pada penelitian ini, bermaksud melakukan pembuatan Artificial Intelligence yang dapat melakukan deteksi detak jantung berdasarkan video real time. Penelitian sebelumnya mengenai deteksi detak jantung menggunakan video pernah dilakukan menggunakan RNN Detection dan menghasilkan akurasi baik pada proses *training* yaitu sebesar 76%, akurasi tersebut dianggap belum maksimal dan masih bisa ditingkatkan kembali (Wang et al., 2018).

Penelitian ini melakukan studi lanjut dari penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan metode RNN, akan tetapi mengganti metode RNN menggunakan metode *Recurrent Neural Network* (RNN). RNN merupakan metode yang sudah banyak digunakan dalam rangkaian gambar-gambar (frame) pada pengenalan aktivitas video. Seperti pada penelitian yang digunakan dalam mendeteksi anomali efisiensi berdasarkan video dengan hasil yang baik (Murugesan & Thilagamani, 2020), selain itu juga pernah dilakukan dalam sistem pengendali lampu merah dengan akurasi sebesar 87% (Ma'ali & A, 2019).

Pada penelitian ini mengambil *dataset* wajah sebanyak 200 data wajah yang berbeda untuk proses *training*. Adapun output yang dihasilkan adalah *heart bit rate* yang terdeteksi ketika *user* merekam wajah dan sistem akan menghitung frekuensi wajah untuk menghasilkan *heart bit rate* (ukuran detak jantung). Selanjutnya output akan dibandingkan dengan alat ukur manual untuk menguji keakuratan dari sistem yang dibuat. Berdasarkan pemaparan tersebut.

Berikut ini merupakan beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini untuk dijadikan rujukan, tinjauan studi yang digunakan diantaranya:

Penelitian pertama yaitu penelitian yang melakukan deteksi detak jantung dengan arduino. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sensor AD8232 sebagai sensor detak jantung yang diubah dalam bentuk denyut per menit (bpm) dan sensor DS18B20 sebagai pendeteksi suhu tubuh dalam derajat celcius (OC). Penelitian ini bersifat fundamental dan bermanfaat dalam mengurangi beban tenaga medis, mencegah terjadinya kesalahan diagnostik terutama dalam pemeriksaan detak jantung dan suhu tubuh. Hasil dari desain yang diusulkan menunjukkan bahwa pendeteksi detak jantung dan sensor suhu tubuh bekerja dengan baik (Sollu Suryani, 2018).

Penelitian lain yaitu perancangan dan pembuatan aplikasi untuk monitoring detak jantung melalui *finger test* berbasis mikrokontroler arduino. Melalui alat ini, akan dapat dilakukan deteksi detak

jantung menggunakan *pulse* sensor melalui *finger test* dan hasilnya dapat dipantau melalui sebuah aplikasi yang dapat diakses menggunakan komputer (Sari, 2020).

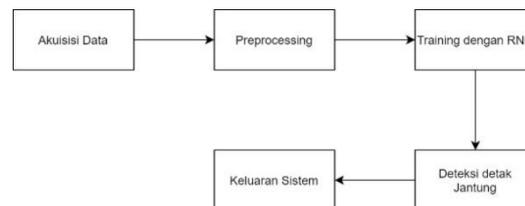
Penelitian lain mengevaluasi beberapa metode yang didefinisikan dalam literatur, dari tahun 2008 hingga saat ini, untuk deteksi jarak jauh HR menggunakan rekaman wajah manusia. Pipa pemrosesan SDM umum dibagi menjadi tiga tahap: pemrosesan video wajah, ekstraksi sinyal pulsa *Volume* darah wajah (BVP), dan komputasi SDM. Pendekatan yang disajikan dalam makalah diklasifikasikan dan dikelompokkan menurut setiap tahap. Pada setiap tahap, algoritma dianalisis dan dibandingkan berdasarkan kinerjanya menggunakan database publik MAhnOB-HCI. Hasil yang ditemukan dalam artikel ini terbatas pada dataset MAhnOB-HCI. Hasil menunjukkan bahwa area kulit wajah yang diekstraksi mengandung lebih banyak informasi BVP. Pemisahan sumber buta dan metode deteksi puncak lebih kuat dengan gerakan kepala untuk memperkirakan HR (Wang et al., 2018).

Penelitian lain melakukan klasifikasi penyakit tuberkulosis berdasarkan chest x-ray dengan menggunakan Elman RNN untuk mengetahui seseorang normal atau terdeteksi tuberkulosis. Model terbaik dari hasil klasifikasi terletak pada sudut orientasi 45 dengan node hidden *layer* 20 dan 50 pada learning rate 0.5 diperoleh *accuracy* sebesar 95.4773%, *sensitivity* sebesar 97.9591%, *specificity* sebesar 97.9591% (Jumhuriyah et al., 2021).

Penelitian lain yaitu sistem deteksi detak jantung menggunakan web. Tahapan penggunaan alat ini dimulai pada pulse sensor yang berfungsi untuk mendeteksi detak jantung manusia dapat diletakkan pada jari, dimana selanjutnya data yang diterima akan diproses dan diolah melalui Arduino dan hasil detak jantung akan dikirim dalam bentuk gelombang melalui modul ESP8266. Data yang dihasilkan yaitu *Beat per minute* (BPM), hasil rata-rata yang di dapat dalam bentuk grafik dan angka serta dapat menampilkan waktu selama pemakaian berlangsung dan alat membaca detak jantung dan akan di tampilkan ke web yang dapat diakses kapan saja (Hutabarat et al., 2019)

Dari hasil penelitian-penelitian sebelumnya mengenai aplikasi pengaduan dengan penelitian ini memiliki beberapa perbedaan diantaranya, penelitian sebelumnya menggunakan metode dan alat yang berbeda.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Model sistem yang dirancang adalah ekstraksi detak jantung menggunakan citra digital wajah dengan algoritma BSS (*Blind Separation Signal*) dengan objek deteksi menggunakan RNN. Saat sistem dijalankan webcam laptop akan menyala, kemudian objek wajah terdeteksi menggunakan RNN (*Recurrent neural network*), didapatkan ROI (*Region of Interest*) wajah dari *library facial landmark*, selanjutnya melakukan *signal separation* menggunakan BSS (*Blind Separation Signal*), penyaringan sinyal dengan menggunakan *wide and narrow band signal* agar sinyal yang dihasilkan lebih jernih, dilanjutkan dengan deteksi puncak sinyal (sebagai tanda *heartbeat*) hingga mendapatkan keluaran nilai detak jantung. Tahapan - tahapan secara umum yang ada pada penelitian penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.

2.1 Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan suatu alat yang memiliki fungsi untuk melakukan analisis perbandingan hasil klasifikasi yang dilakukan oleh sistem (model) dengan hasil klasifikasi sebenarnya dan biasa digunakan untuk perhitungan akurasi, *recall*, *precision*, dan *error rate*. Pada Penelitian ini *confusion matrix* digunakan untuk performansi deteksi objek menggunakan RNN. Berikut tabel yang sering digunakan untuk menggambarkan kinerja model klasifikasi atau disebut tabel *confusion matrix*.

Tabel 1. Confusion Matrix

Class		Actual Class	
		Positif	Negatif
Predicated Class	Positif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Confusion Matrix memiliki beberapa istilah diantaranya *True Positive* (TP) yaitu jumlah data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem, *True Negative* (TN) yaitu jumlah data negatif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem, *False Positive* (FP) yaitu jumlah data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem, *False Negative* (FN) yaitu jumlah data negatif namun terklasifikasi salah oleh sistem. Pada penelitian ini sistem harus mendeteksi wajah manusia dengan benar.

1. Jika diawali dengan True, maka prediksinya benar. Baik itu *positive* ataupun *negative*
2. Jika diawali dengan False, maka prediksinya salah. Baik itu *positive* diprediksi *negative* ataupun sebaliknya
3. *True Positive* (TP), Gambar ada wajah manusia dan sistem memprediksi ada wajah manusia
4. *True Negative* (TN), Gambar tidak ada wajah dan sistem memprediksi tidak ada wajah manusia
5. *False Positive* (FP), Gambar tidak ada wajah manusia dan sistem memprediksi ada wajah manusia.
6. *False Negative* (FN), Gambar ada wajah manusia dan sistem memprediksi tidak ada wajah manusia.

Berikut rumus yang digunakan pada parameter pengujian dengan metode *confusion matrix*:

1. Akurasi

Akurasi merupakan parameter yang memberikan informasi tentang tingkat kedekatan antara nilai prediksi dan nilai aktual. Akurasi dapat ditentukan dengan confusion matrix seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

2. Presisi

Presisi merupakan tingkat ketepatan antara informasi yang diminta oleh pengguna dengan jawaban yang diberikan oleh sistem yang telah dirancang, dimana semakin besar nilai *False Positive* (FP) maka nilai presisi akan semakin rendah begitupun sebaliknya. Presisi dapat ditentukan dengan confusion matrix seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\%$$

3. Recall

Recall merupakan tingkat keberhasilan sistem yang telah dirancang dalam menemukan kembali sebuah informasi. Semakin besar nilai recall maka sistem dikatakan dapat mengkategorikan kelas objek dengan tepat. *Recall* dapat ditentukan dengan *confusion matrix* seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\%$$

4. F1 Score

F1 Score merupakan perbandingan rata-rata nilai presisi dan recall. Nilai tertinggi *F1 Score* sebesar 1 dan nilai terendah sebesar 0. Performa sistem dikatakan baik apabila nilai *F1 Score* mendekati 1. *F1 Score* dapat ditentukan dengan *confusion matrix* seperti pada persamaan berikut:

$$\text{F1 Score} = 2 \times \frac{\text{Recall} \times \text{Presisi}}{\text{Recall} + \text{Presisi}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Latih



Gambar 2. Contoh Data Latih

Data latih adalah kumpulan sampel citra yang digunakan untuk mempelajari objek yang berada dalam citra dan disesuaikan dengan *parameter training*. pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi objek dengan RNN. Data latih dibuat dalam satu kelas, yaitu wajah manusia. Data latih diambil dari beberapa sumber, mulai dari diambil langsung di lapangan hingga mengambil di internet dengan jumlah training data sebanyak 100 citra dan validasi data sebanyak 100 citra.

3.2 Data Uji



Gambar 3. Contoh Data Uji

Data uji adalah kumpulan data citra yang digunakan untuk menilai kinerja sistem yang sudah terlatih. Pada penelitian ini yang tidak berkaitan dengan data latih dan validasi, data uji digunakan untuk mengukur kinerja dari sistem objek deteksi menggunakan RNN. Data uji diambil dari berbagai macam sumber yang tersedia di internet. Total data yang diujikan berjumlah 100 citra

3.3 Akuisisi Data

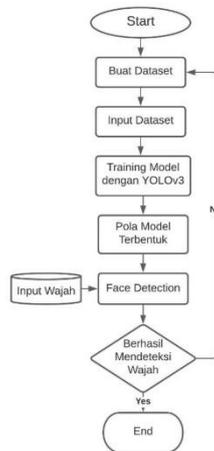
Penelitian ini diawali dengan akuisisi data yaitu proses untuk mendapatkan pengetahuan dan data dari hasil penelitian dari beberapa sumber yang hasil akhirnya akan menjadi sebuah aplikasi yang mampu mendeteksi detak jantung dari citra wajah secara *real time*. Pada akuisisi data ditentukan objek deteksi menggunakan metode RNN dengan 1 kelas yaitu wajah. Penelitian ini menggunakan kamera laptop sebagai uji coba sistem detak jantung secara *real time*. Hal yang diperhatikan adalah ekstraksi detak jantung dari variasi warna kulit wajah yang disebabkan oleh perubahan volume pada pembuluh darah akibat dari aktivitas detak jantung. Secara teknis pengambilan data dilakukan dengan meletakkan wajah didepan webcam laptop 720p HD dengan jarak 30-50 cm dengan pencahayaan yang cukup. Hasil cahaya menyebabkan perubahan warna pada *webcam* tampak jelas ketika volume pembuluh darah disekitar kulit wajah berubah. Perubahan warna tersebut adalah fitur untuk mengetahui informasi tentang PPG. Sebelum ke proses perhitungan detak jantung, terdapat kalibrasi yang dilakukan selama 40 detik, kemudian frekuensi pergerakan wajah terdeteksi, setelah 15 detik detak jantung akan muncul. Pengolahan data dilakukan melalui uji sampel wajah dengan beberapa skenario pada sistem.

3.4 Preprocessing

Preprocessing bertujuan melakukan eliminasi data yang tidak sesuai agar lebih mudah diproses oleh sistem serta mengoptimasi citra yang diperoleh pada tahap akuisisi data. Pada tahap *preprocessing*

ini akan dilakukan proses *resizing* memperkecil ukuran sinyal. Dengan adanya tahapan ini, citra masukan diharapkan memiliki kualitas yang lebih baik.

3.5 Proses Training dengan RNN



Gambar 4. Cara Kerja RNN Pada Sistem Deteksi Wajah

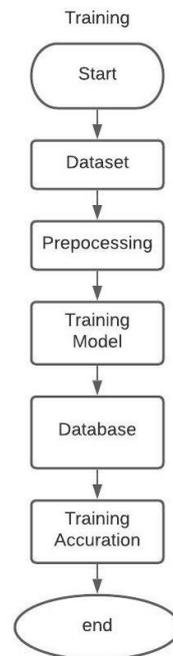
Dalam penelitian ini ekstraksi ciri yang digunakan pada klasifikasi wajah adalah metode RNN (*Recurrent neural network*). RNN menggunakan algoritma *convolutional neural network* (CNN) yang bekerja dengan penentuan layer secara berulang. Teknik ini membuat RNN menjadi algoritma deteksi objek *real-time* super cepat dengan kecepatan deteksi hingga 45 fps sehingga RNN dapat memilih ROI terbaik secara otomatis dan cepat. Proses *training* model RNN dilakukan di jupyter notebook. Berikut langkah-langkah yang dilakukan saat *training* menggunakan RNN:

- Proses *training* diawali dengan mengaktifkan GPU serta menghubungkan file google drive yang berisi dataset wajah dengan jupyter notebook.
- Kemudian *clone*, *configure* serta *compile darknet* dari github AlexeyAB menggunakan GPU.
- Selanjutnya *configure darknet network* untuk *training* RNN, *file cfg/ file* konfigurasi diubah menjadi ketentuan kelas 1 yaitu *batch* 64, *subdivisions* 16, *max batches* 2000, filter 18, steps menjadi 80% dan 90% dari 2000 yaitu 1600 dan 1800 serta *classes* 1 karena kelas yang dipakai hanya 1 yaitu wajah.
- Simpan file *cfg* pada folder drive yang sudah terhubung
- Ekstrak image *dataset*.
- Mulai *training* beberapa jam.
- Jika berhasil hasil *weights* dan model *training* akan tersimpan secara otomatis pada *file drive* yang terhubung.
- File yang dipakai untuk dijalankan pada sistem adalah *images.zip* yang merupakan *dataset*, *file cfg* dan *training last weights*

3.6 Perhitungan Detak Jantung

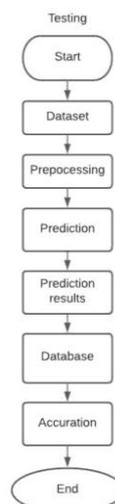
Setelah melakukan proses *training* dan *resizing* dengan RNN maka akan dijalankan proses perhitungan detak jantung dengan BSS (*blind separation signal*). *Separation signal* bertujuan untuk lebih memfokuskan daerahnya, yaitu hanya pada bagian wajahnya saja sehingga *background* atau hal lain selain wajah akan diabaikan. Selanjutnya sinyal akan di filter untuk meneruskan sinyal *input* serta meredam sinyal yang tidak diperlukan dengan menggunakan *wide and narrow band signal* agar sinyal yang dihasilkan lebih jelas dan jernih. Setelah itu dilakukan deteksi puncak sinyal guna melihat tanda detak jantung, dan hasil akhirnya adalah detak jantung manusia.

3.7 Flowchart Latih dan Uji



Gambar 5. Flowchart Latih

Proses pelatihan pada sistem menggunakan citra latih. Proses ini bertujuan mengumpulkan sampel data dari beberapa wajah individu yang sudah ditetapkan pada akuisisi data, yang akan disimpan di dalam database sistem. Hasil keluaran dari sistem pelatihan digunakan sebagai referensi proses uji atau deteksi detak jantung dengan citra wajah.



Gambar 6. Flowchart Uji

Dalam perancangan prototipe Penelitian ini membutuhkan pengujian sistem aplikasi guna melihat performansi sistem ekstraksi detak jantung dengan citra wajah menggunakan algoritma BSS yang telah dibuat. Parameternya adalah tingkat akurasi, presisi, recall serta toleransi dari aplikasi yang di buat. Diharapkan aplikasi yang dibuat pada penelitian ini mendapatkan hasil yang optimal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian dengan judul Implementasi RNN (*Recurrent Neural Network*) Untuk Deteksi Detak Jantung Berdasarkan Video Real Time, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut, Penelitian ini berhasil membuat sistem deteksi detak jantung berdasarkan wajah melalui video *real-time* menggunakan AI (*Artificial Intelligence*) untuk memudahkan masyarakat dalam mendeteksi jantung dimana saja dan tingkat akurasi yang dihasilkan menggunakan metode RNN (*Recurrent Neural Network*) dan analisis perbandingan hasil klasifikasi *Confusion Matrix* dalam melakukan deteksi detak jantung tertinggi sebesar 91%.

Dan saran untuk pengembangan selanjutnya Dapat menggunakan metode lain untuk meningkatkan keakuratan sistem serta menjadi penelitian baru dan dapat diaplikasikan ke platform android ataupun ios.

5. REFERENSI

- Abdillah, F. (2018). *STUDI EKSPLORATORIS TERHADAP LAJU PENDUDUK*. IPDN.
- Annisa, Billhaq, M. S., & Rivai P, A. W. (2018). "Heartbeats Detector" (Pendeteksi Dan Pengukur Detak Jantung). *Jurnal Autocracy*, 5, 31–45. <https://doi.org/10.21009/autocracy.05.1.4>
- Hutabarat, N. K., Hulu, D. R., & Laia, Y. (2019). Deteksi Detak Jantung Berbasis Web. *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA)*, 3(1), 13–16. <https://doi.org/10.34012/jusikom.v3i1.554>
- Jumhuriyah, L., Matematika, P. S., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Sunan, N. (2021). *Klasifikasi penyakit tuberkulosis berdasarkan citra x-ray menggunakan metode elman recurrent neural network*.
- Junaedi, & Barsasella. (2018). *Teknologi informasi Kesehatan Aplikasi Komputer Dasar*.
- Ma'ali, A. M., & A, M. S. H. (2019). *Rancang Bangun Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Pengenalan Citra Digital Kendaraan Menggunakan Metode Faster R-Cnn*.
- Samosir, A., Hasibuan, M., Justino, W. E., & Hariyono, T. (2021). *Komparasi Algoritma Random Forest , Naïve Bayes dan K- Nearest Neighbor Dalam klasifikasi Data Penyakit Jantung*. 214–222.
- Sari, M. W. (2020). *Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Detak Jantung Melalui Finger Test Berbasis Arduino*.
- Sollu Suryani, T. (2018). Sistem Monitoring Detak Jantung dan Suhu Tubuh Menggunakan Arduino Monitoring System Heartbeat and Body Temperature Using Arduino. *Agustus*, 17(3), 323–332.
- Wang, C., Pun, T., & Chanel, G. (2018). A comparative survey of methods for remote heart rate detection from frontal face videos. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(MAY), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00033>