

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM TELEMEDICINE UNTUK MONITORING KELAINAN DETAK JANTUNG DENGAN NOTIFIKASI REALTIME

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TELEMEDICINE SYSTEM FOR MONITORING HEART RATE DISORDERS WITH REALTIME NOTIFICATIONS

Deny Kurniawan¹, Favian Dewanta, Ph.D.², Sussi, S.Si, M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹dekakrens@student.telkomuniversity.ac.id, ²favian@telkomuniversity.co.id,

³sussiss@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Implementasi monitoring kesehatan yang dapat diakses dari jarak jauh berbasis *Internet of Things* (IoT) masih tergolong rendah, terlebih lagi dengan kondisi pandemi menjadikan monitoring kesehatan susah untuk dilakukan. Untuk itu perlu adanya sistem *telemedicine* yang memungkinkan untuk monitoring kesehatan secara mandiri dan hasilnya dapat dikonsultasikan ke dokter.

Elektrokardiogram (EKG) yang dibenamkan dalam sistem *Telemedicine* memungkinkan pengguna untuk melakukan perekaman detak jantung secara mandiri. Alat ini menggunakan sensor AD8232 sebagai sensor detak jantung dan ESP32 sebagai mikrokontroler untuk pemrosesan datanya. Data yang diperoleh dikirim ke *smartphone* melalui koneksi *Bluetooth Low Energy* (BLE). Untuk menjamin keamanan data, sistem ini sudah dilengkapi enkripsi AES 256 bit dengan kunci statis.

Tingkat akurasi alat untuk merekam detak jantung mencapai 98,94% dibandingkan dengan alat tensimeter digital omron yang juga memiliki fungsi untuk mendeteksi detak jantung. Dengan komunikasi BLE alat ini memiliki *delay* sebesar 16,29ms untuk data yang terenkripsi dan 16,19ms untuk data yang tidak dienkripsi. *Throughput* pada data yang dienkripsi sebesar 3439,47Bytes/s dan pada data yang tidak dienkripsi sebesar 2485,58Bytes/s yang menjadikan alat ini tidak terdapat *packet loss*. Alat ini mampu bertahan 6,5jam dari kondisi baterai terisi penuh.

Kata kunci : *Telemedicine, Internet of Things, Aritmia, Elektrokardiogram, Enkripsi AES*

Abstract

The number of implementations of health monitoring that can be accessed remotely based on Internet of Things (IoT) are still relatively low, especially with pandemic conditions making health monitoring difficult. For this reason a telemedicine system is needed which allows us to do self check up and the result can be consulted with a doctor.

An electrocardiogram (ECG) embedded in the telemedicine system allows the users to record heart rate by themselves. This device uses the AD8232 sensor as a heart rate sensor and the ESP32 as a microcontroller for data processing. The data obtained are sent to the smartphone via Bluetooth Low Energy (BLE) connection. To ensure the data are secure, this system is equipped with AES 256 bit encryption with a static key.

The accuracy of the device for recording heart rate reaches 98.94% with respect to the Omron digital tensimeter which also has a heart rate monitoring capability. With the BLE communication, this device has a delay of 16.29ms for the encrypted data and 16.19ms for the unencrypted data. Throughput on encrypted data is 3439.46Bytes/s and on unencrypted data is 2485.58Bytes/s which make this device does not have packet loss. This device also can last up to 6.5hours from a fully charged battery.

Keywords: *Telemedicine, Internet of Things, Arrhythmia, Electrocardiogram, AES Encryption*

1. Pendahuluan

Penyakit jantung merupakan penyakit yang paling banyak mengancam masyarakat Indonesia bahkan di dunia. Penyakit ini menjadi penyebab kematian ke-2 setelah stroke[1]. Ditambah dengan

adanya pandemi *Coronavirus* 2019 (COVID-19) semakin memperburuk kondisi penderita penyakit jantung. Selain itu COVID-19 juga membatasi interaksi antar manusia, sehingga akan mempersulit penderita dalam melakukan perawatan.

Tugas akhir ini akan mengimplementasikan sistem *telemedicine* untuk monitoring detak jantung, sehingga akan mempermudah penderita dalam melakukan perawatan dan konsultasi. Sistem ini menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan keamanan berupa enkripsi AES. Pengujian dilakukan dengan meninjau tingkat akurasi alat dan juga performa sistem yang berupa *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan daya tahan baterai.

2. Dasar Teori

2.1 Elektrokardiogram (EKG)

Elektrokardiografi merupakan proses perekaman aktifitas listrik pada jantung yang diambil dengan menggunakan sensor yang diletakan pada permukaan kulit pada bagian tubuh tertentu. Elektrokardiografi dapat terjadi karena jantung bekerja berdasarkan kontraksi sel otot jantung yang dibagi menjadi dua, yaitu sel kontraktil dan sel otoritmik. Sel kontraktil akan melakukan kerja secara mekanis, sedangkan sel otoritmik akan mencetuskan potensial untuk sel kontraktil agar dapat bekerja[1]. Potensial listrik yang ditimbulkan oleh kedua sel ini akan merambat ke permukaan kulit, sehingga dapat dideteksi. Hasil dari elektrokardiografi merupakan keelektrokardiogram (EKG) yang merupakan hasil perekaman aktifitas listrik pada jantung[2].

Untuk mengubah sinyal detak jantung menjadi sinyal elektrik dapat menggunakan sensor AD8232 yang merupakan sensor dengan pengkondisi sinyal yang sudah terintegrasi dan dikhususkan untuk EKG[3]. Untuk menghitung detak jantung dapat menggunakan pendeteksian puncak gelombang R pada hasil EKG. Hal ini karena gelombang R memiliki puncak tertinggi dari puncak gelombang lainnya, sehingga akan sangat mudah untuk dideteksi[4].

$$\text{Heart rate} = \frac{60000\text{ms}}{R-R_{\text{interval}}} \quad (1)$$

Pada persamaan 1 merupakan rumus untuk menghitung detak jantung per menit yang dihitung dalam satuan *millisecond*.

2.2 Gangguan Irama Jantung (Aritmia)

Gangguan irama jantung atau yang biasa disebut aritmia merupakan abnormalitas pada proses pembentukan dan konduksi impuls yang akan menimbulkan ketidakteraturan irama detak jantung. Pada kondisi normal, jantung akan berdenyut diantara 50 hingga 100 *beat per minutes* (bpm). Selain pada rentang tersebut maka irama detak jantung dikatakan kurang stabil. Ada dua jenis gangguan irama detak jantung:

1. Bradikardia, merupakan irama detak jantung yang lambat dengan kecepatan kurang dari 50bpm.
2. Takikardia, merupakan irama detak jantung yang sangat cepat dengan kecepatan lebih dari 100bpm.

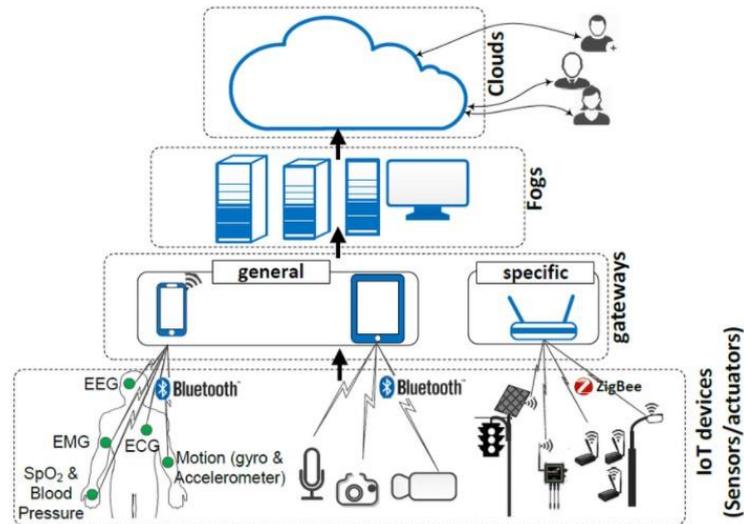
Kondisi tersebut merupakan kondisi seseorang dalam keadaan normal, tidak sedang olahraga maupun melakukan aktivitas lainnya[5].

2.3 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan setiap mesin dapat berinteraksi dengan mesin lainnya[6]. Berdasarkan kecenderungan teknologi, IoT dapat dikategorikan menjadi tiga kategori:

1. Kontrol dan monitoring
Sistem mengambil data dari performa perangkat, penggunaan daya, dan kondisi lingkungan. Selanjutnya membuat otomatisasi dan pengaturan untuk menjaga performa sistem.
2. Big Data dan Bisnis Analisis
Perangkat IoT dan mesin yang dilengkapi dengan sensor dan aktuator akan menghasilkan data untuk membuat suatu keputusan. Perangkat IoT juga memungkinkan untuk mengambil data yang luas terkait dengan kesehatan seseorang, sehingga dapat digunakan untuk analisis.

3. Pertukaran Informasi
Pertukaran informasi dan kolaborasi pada IoT dapat terjadi antara manusia dengan manusia, manusia dengan benda, dan antar perangkat.



Gambar 2. Penerapan IoT[7].

2.4 Advanced Encryption Standard (AES)

Advanced Encryption Standard (AES) merupakan algoritma kriptografi dengan pertukaran kunci simetris berjenis *block cipher* yang setiap blok memiliki panjang kunci 128bit[8]. Kunci simetris merupakan jenis pertukaran kunci dengan menggunakan sebuah kunci yang sama pada proses enkripsi dan dekripsinya. AES digunakan untuk mengenkripsi data yang masih berupa *plain text*, sedangkan data setelah dienkripsi disebut *cipher text*[9].

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat keras yang memiliki *Central processing Unit (CPU)*, *Random Access Memory (RAM)*, dan *Flash Memory* yang sudah terintegrasi dalam sebuah paket kecil yang terintegrasi. Sebagai antarmuka chip, mikrokontroler dilengkapi dengan beberapa pin *General Purpose Input/Output (GPIO)* dan juga beberapa pin untuk menuliskan program kedalam *Flash Memory* nya. Selain perangkatnya yang ringkas, mikrokontroler juga memiliki keterbatasan yaitu kemampuan pemrosesan yang rendah.

ESP32 merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang sudah dibekali dengan WiFi dan juga Bluetooth dalam sebuah chip kecil terintegrasi. Mikrokontroler ESP32 didesain untuk mendapatkan efisiensi daya dan performa radio yang baik[10].

3. Pembahasan

3.1. Desain Sistem



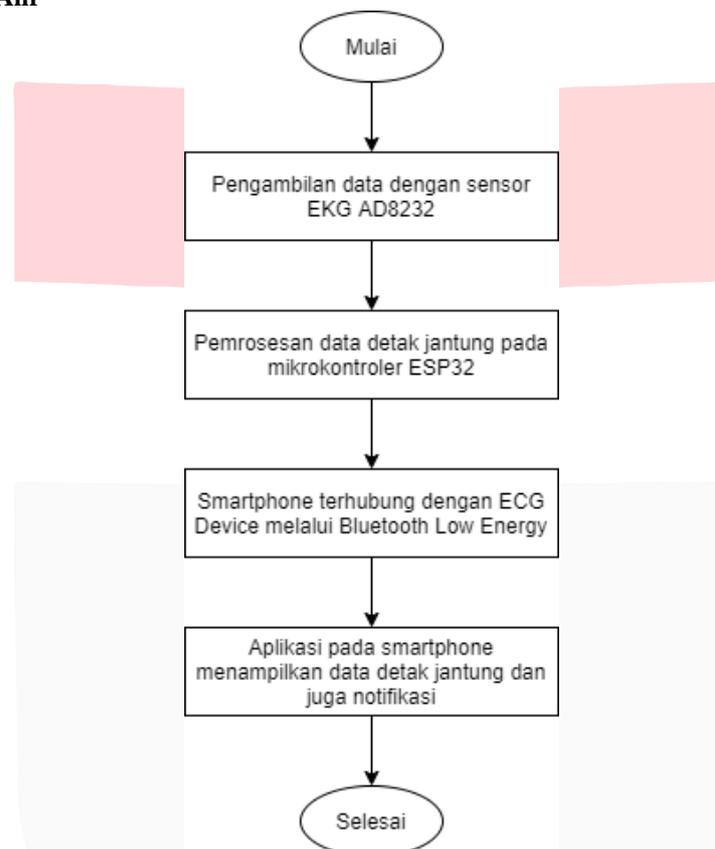
Gambar 4. Desain Sistem

Pada gambar 4 menunjukkan desain sistem monitoring detak jantung untuk mendeteksi adanya kelainan detak jantung dengan notifikasi berupa *alert* yang akan muncul pada aplikasi. Data detak

jantung yang diperoleh dari sensor EKG AD8232 yang berupa sinyal analog akan diubah menjadi sinyal digital pada mikrokontroler ESP32. Pada mikrokontroler ESP32 akan dilakukan proses penghitungan detak jantung dalam satuan *beat per minutes* (bpm) dengan menggunakan perhitungan perhitungan puncak R-R pada gelombang detak jantung, klasifikasi detak jantung dan juga enkripsi data untuk dikirimkan ke *smartphone* melalui BLE.

Selanjutnya apabila algoritma pada mikrokontroler mendeteksi adanya kelainan detak jantung, maka mikrokontroler akan mengirimkan peringatan ke aplikasi, sehingga aplikasi akan menampilkan notifikasi kepada pengguna berupa *alert*.

3.2. Diagram Alir



Gambar 5. Diagram Alir Sistem *Telemedicine* Monitoring Detak Jantung

Pada gambar 5 menunjukkan proses kerja pada mikrokontroler yang diawali dengan inialisasi Bluetooth, selanjutnya melakukan pendeteksian puncak gelombang R untuk dapat dihitung detak jantungnya. Tahapan selanjutnya yaitu mengklasifikasi detak jantung, apabila detak jantung turun dibawah 50bpm maka detak jantung terlalu lemah, sehingga akan memunculkan pesan *Bardycardia*, apabila detak jantung lebih dari 100bpm detak jantung terlalu cepat, sehingga akan memunculkan pesan *Tachycardia*, dan selain dua kondisi tersebut maka detak jantung dalam keadaan normal. Selanjutnya data tersebut dienkripsi dengan algoritma enkripsi AES 256bit beserta sinyal detak jantungnya untuk dapat dikirim ke *smartphone* melalui BLE.

3.3. Desain Perangkat Keras

Sebagai implementasi dari perangkat lunak yang dibuat dalam penelitian ini maka dibutuhkan perangkat keras yang memiliki kapabilitas untuk memenuhi keperluan dalam penelitian.

Perangkat Keras	Spesifikasi yang Dibutuhkan
Mikrokontroler	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Analog to Digital Converter (ADC)</i> • Pin Analog • Pin Digital • Konektivitas <i>Bluetooth Low Energy</i> • Konektivitas WiFi • Konsumsi Daya Rendah
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Pembacaan <i>Heart Rate</i> • Konsumsi Daya Rendah • <i>Low Pass Filter</i>
Baterai	<ul style="list-style-type: none"> • Tegangan lebih dari 3,3volt • Dapat diisi ulang

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras yang Dibutuhkan

Kebutuhan perangkat keras yang akan digunakan dalam sistem monitoring detak jantung ini berupa sensor EKG AD8232 dan juga mikrokontroler ESP32 yang telah memenuhi spesifikasi minimum yang dibutuhkan sistem monitoring detak jantung ini

3.4. Skenario Pengujian

3.4.1 Akurasi Alat

Untuk melakukan pengujian tingkat akurasi penulis membandingkan data detak jantung yang diperoleh dari alat dalam satuan bpm dengan data detak jantung dari alat tensimeter digital yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi detak jantung. Penilaian akurasi menggunakan *Root Mean Square Error (RMSE)*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai akurasi dapat menggunakan persamaan 3.

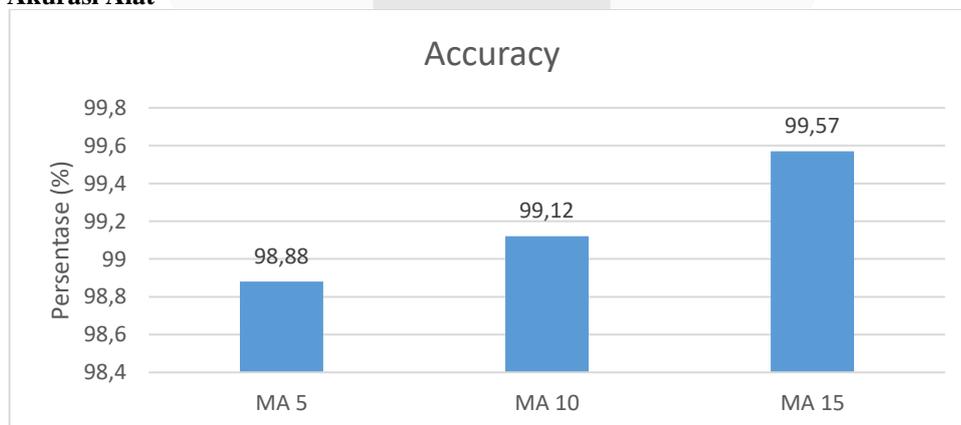
$$Accuracy = 100 - RMSE \quad (3)$$

3.4.2 Performansi Sistem

Pengujian performansi sistem bertujuan untuk mengetahui seberapa bagus sistem untuk dapat menjalankan fungsi-fungsinya. Adapun parameter yang diuji berupa *delay*, *throughput* dan *packet loss*.

4. Hasil Pengujian

4.1. Akurasi Alat



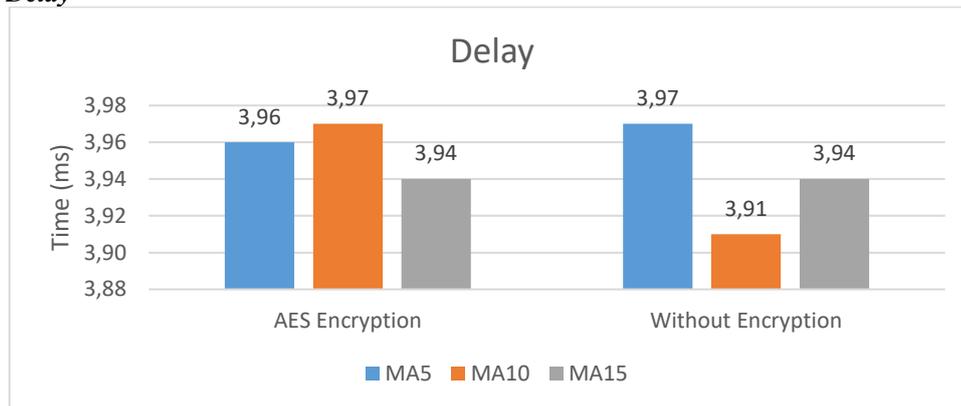
Gambar 6. Grafik Akurasi Alat

Berdasarkan gambar 6 menunjukkan terjadinya peningkatan akurasi alat dari *moving average* 5 hingga *moving average* 15. Hal ini terjadi karena semakin besar nilai *moving average* nya maka data yang diambil semakin banyak, sehingga dapat meningkatkan akurasi alat. Namun

apabila data yang diambil terlalu banyak juga memiliki dampak negatif, yaitu sistem menjadi lambat untuk beradaptasi dengan suatu perubahan nilai.

Selain dengan mengubah *moving average*, tingkat akurasi yang tinggi hanya bisa dicapai apabila pasien dalam keadaan diam dan tenang. Apabila saat diperiksa pasien melakukan banyak pergerakan maka akan sangat mempengaruhi hasil pengukuran. Hal tersebut terjadi karena sensor AD8232 mendeteksi detak jantung berdasarkan aktivitas kelistrikan otot jantung. Sedangkan pergerakan anggota badan seperti lengan, leher, dan kaki disebabkan oleh gerakan otot yang akan menginterferensi kelistrikan yang ditimbulkan oleh otot-otot jantung.

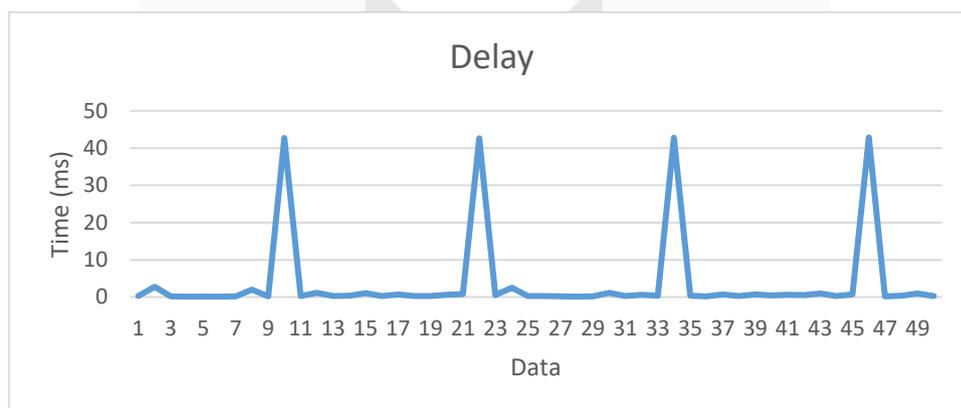
4.2. Delay



Gambar 7. Diagram Variasi Delay

Pada gambar 7 menunjukkan beberapa skenario pengujian *delay*. Penulis melakukan pengujian *delay* pada masing-masing *moving average* dan pada data yang dienkripsi maupun yang tidak dienkripsi. Pada pengujian *moving average delay* yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini terjadi karena data yang dimasukkan kedalam *moving average* berjalan berdasarkan sistem *First-In-First-Out* (FIFO), sehingga tidak membebani mikrokontroler.

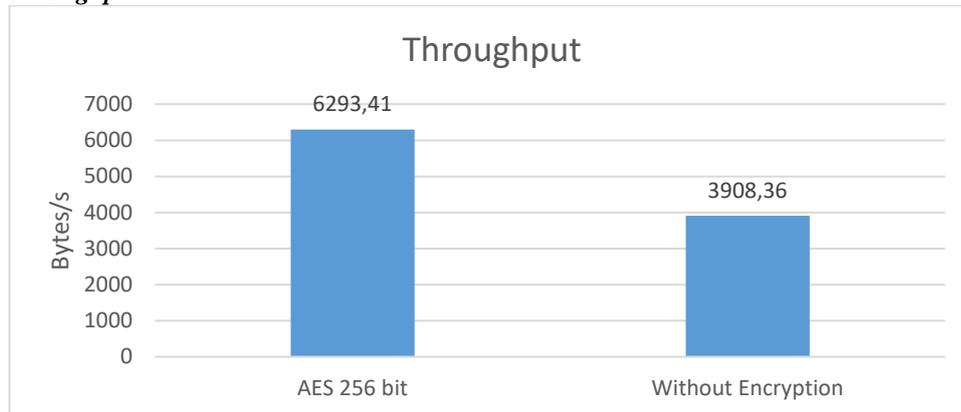
Sedangkan pada skenario pengujian dengan data yang dienkripsi dan tidak dienkripsi juga tidak terdapat perbedaan *delay* yang signifikan. Hasil yang tidak jauh berbeda ini disebabkan karena pada kedua skenario percobaan mikrokontroler tetap melakukan enkripsi walaupun data yang dikirim berupa data yang dienkripsi maupun data tanpa enkripsi hanya saja panjang data yang dikirimkan sedikit berbeda. Sedangkan pada maksimum *delay* terjadi cukup signifikan dibandingkan rata-rata *delay*.



Gambaar 8. Pola Delay

Pada semua skenario percobaan penulis menemukan pola *delay* yang teratur seperti pada gambar 8. Pada sistem yang dibuat memiliki lonjakan *delay* dengan rata-rata nilai maksimum *delay* nya sebesar 43,01 ms. Nilai maksimum ini dimungkinkan karena adanya *buffer* pada Bluetooth, karena dari data *delay* tersebut nilai maksimum yang terjadi memiliki pola yang cukup jelas. Namun hal tersebut masih bisa ditoleransi karena belum dianggap mengganggu proses pengiriman data dan notifikasi pada *smartphone*.

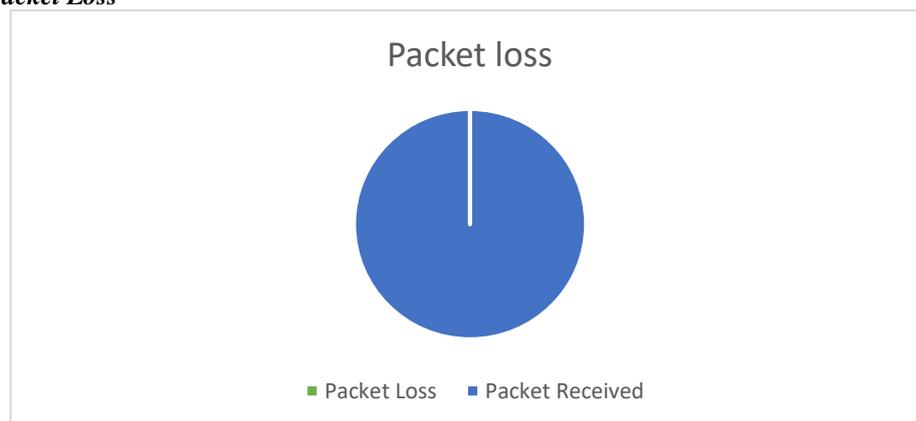
4.3. Throughput



Gambar 9. Diagram Variasi *Throughput*

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa *throughput* tertinggi terjadi pada pengiriman data yang dienkripsi yaitu sebesar 6293,41 Bytes/s. Hal ini terjadi karena data yang dienkripsi memiliki panjang paket sebesar 32 Byte, sedangkan data yang tidak dienkripsi hanya memiliki panjang paket 16 Byte. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa *throughput* data yang dienkripsi tidak tepat 2x lebih besar daripada data yang dikirimkan tanpa enkripsi. Hal ini terjadi karena pada skenario tanpa enkripsi memiliki total waktu pengiriman yang lebih singkat yaitu sebesar 2,04 detik, sedangkan pada skenario dengan enkripsi memerlukan waktu lebih lama, yaitu 2,54 detik.

4.4. Packet Loss



Gambar 10. Diagram *Packet Loss*

Pada gambar 10 diketahui bahwa seluruh paket yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 dapat diterima dengan baik oleh *smartphone* dalam keadaan paket dapat diterima 100%. Hal ini diakibatkan karena maksimal throughput dari sistem masih dibawah throughput standar dari BLE yang memiliki throughput sebesar 50kBps.

5. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis terhadap sistem yang dirancang, maka penulis dapat memperoleh kesimpulan. Berikut ini merupakan kesimpulan berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem.

1. Desain dan implementasi sistem *telemedicine* untuk monitoring detak jantung dapat diterapkan dengan baik dan dapat berjalan sesuai dengan konsep awal perencanaan.
2. Cara kerja monitoring detak jantung diawali dengan pengambilan data oleh sensor AD8232 yang selanjutnya data akan diolah dengan mikrokontroler ESP32 dan mengirimkan notifikasinya ke *smartphone*.
3. Tingkat akurasi pengukuran detak jantung cukup tinggi jika dibandingkan dengan tensimeter digital, namun pasien yang akan diukur detak jantungnya harus dalam keadaan tenang dan diam.

4. Hasil pengujian performansi sistem menunjukkan hasil yang memuaskan dengan *delay* yang kecil, dan juga *throughput* yang masih bisa ditangani oleh BLE, sehingga tidak terjadi *packet loss*. Dengan hasil performa sistem yang bagus juga dapat meningkatkan kelancaran sistem.
5. Daya tahan baterai yang cukup lama memberikan kemungkinan sistem untuk selalu siap dipakai tanpa harus sering mengisi baterai. Hal ini juga memungkinkan untuk digunakan dalam berbagai scenario penggunaan lainnya.

Referensi:

- [1] L. Irawati, "Aktifitas Listrik pada Otot Jantung," *J. Kesehat. Andalas*, vol. 4, no. 2, pp. 596–599, 2015, doi: 10.25077/jka.v4i2.306.
- [2] K. Wise, "Electrocardiography (ECG)," *Int. Encycl. Commun. Res. Methods*, pp. 1–15, 2017, doi: 10.1002/9781118901731.iecrm0078.
- [3] A. D. Inc, "Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End," p. 28, 2018.
- [4] M. Sejera *et al.*, "Detection of arrhythmia while asleep through the use of an electrocardiogram integrated with a microcontroller and an alarming device," *HNICEM 2017 - 9th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/HNICEM.2017.8269549.
- [5] T. Teijeiro, C. A. García, D. Castro, and P. Félix, "Arrhythmia classification from the abductive interpretation of short single-lead ECG records," *Comput. Cardiol. (2010)*, vol. 44, pp. 1–4, 2017, doi: 10.22489/CinC.2017.166-054.
- [6] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises," *Bus. Horiz.*, vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2015, doi: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- [7] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "Concept and Hardware Considerations for Product-Service System Achievement Concept and Hardware Considerations for Product-Service System Achievement in Internet of Things," no. April, pp. 19–22, 2019, doi: 10.1109/WITS.2019.8723755.
- [8] X. W. Wu, E. H. Yang, and J. Wang, "Lightweight security protocols for the Internet of Things," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, vol. 2017-October, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1109/PIMRC.2017.8292779.
- [9] B. K. S. Rajaram and N. Krishna Prakash, "Secure mqtt using aes for smart homes in iot network," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 5s, pp. 483–485, 2019.
- [10] Espressif System, "ESP32 Series Datasheet," *Espr. Syst.*, pp. 1–61, 2019.