

Penerapan Mekanisme Transmisi Data ECG Berbasis Teknologi LoRa (Long Range)

Fadila Rafi Alifiandi¹, Eko Sakti Pramukantoro², Rakhmadhany Primananda³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹fadilarafia@student.ub.ac.id, ²ekosakti@ub.ac.id, ³rakhmadhany@ub.ac.id

Abstrak

Pada tahun 2016, tercatat penyakit kardiovaskular merupakan penyebab kematian nomor 1 paling banyak di dunia. Hal tersebut terjadi karena deteksi penyakit kardiovaskular yang sering terlambat. Penerapan *Internet of Things* (IoT) pada pemantauan *electrocardiogram* (ECG) dinilai dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut. Saat ini, telah dikembangkan sistem pemantauan ECG dengan arsitektur IoT. Sistem tersebut terdiri dari *node* sensor ECG dengan teknologi WiFi sebagai media pengiriman data yang diperoleh ke *cloud* sebagai penyimpanan datanya. Namun, WiFi dinilai kurang tepat untuk digunakan pada pengaplikasian IoT karena besarnya *frame overhead* yang digunakan dan tingginya konsumsi dayanya. Oleh karena itu, dirancang sebuah mekanisme transmisi data ECG berbasis teknologi LoRa yang dinilai lebih tepat karena ukuran *frame overhead* yang kecil dan hemat daya. Sehingga penelitian ini menghasilkan sebuah mekanisme dimana *node* sensor mampu merekam dan mengirimkan data ECG ke LoRa *gateway* dan LoRa *gateway* mampu meneruskan tersebut ke aplikasi pada *cloud*. Namun, penerapan mekanisme tersebut menghasilkan rata-rata *end-to-end delay* 25,5 detik untuk pengiriman hasil satu siklus perekaman data ECG dari *node* sensor ke aplikasi. Sehingga, mekanisme pengiriman data ECG yang diterapkan masih belum memenuhi kebutuhan pada pengiriman data ECG untuk keperluan pemantauan yang bersifat *non-critical*, yaitu *delay* pengiriman maksimum 4 detik.

Kata kunci: LoRa, ECG, Internet of Things

Abstract

In 2016, cardiovascular disease was the number one cause of death in the world. It was happened because cardiovascular disease was often detected late. The application of Internet of Things (IoT) in electrocardiogram (ECG) monitoring is considered as a solution to that problem. At this moment, an ECG monitoring system has been developed using IoT architecture. That system consists of ECG sensor nodes that use WiFi to transmit ECG data to the data storage on the cloud. However, WiFi is considered unsuitable to be used in IoT applications because of its large frame overhead and high power consumption. Therefore, a mechanism for transmitting ECG data based on LoRa technology, which is considered suitable because of its small frame overhead and low power consumption, is designed. This research produced a mechanism where sensor nodes are able to record and send ECG data to the LoRa gateway and LoRa gateway is able to forward received ECG data to the application on the cloud. However, the applied ECG data transmission mechanism in this research resulted 25,5 seconds end-to-end delay. So, it didn't fulfill the requirement in ECG data transmission for non-critical monitoring uses, the unfulfilled requirement is 4 seconds maximum delay.

Keywords: LoRa, ECG, Internet of Things

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2016, tercatat bahwa penyebab kematian nomor 1 paling banyak di dunia adalah penyakit kardiovaskular (World Heart Federation, 2016). Hal tersebut terjadi karena

deteksi penyakit kardiovaskular yang sering terlambat. Pendeteksian penyakit kardiovaskular dapat dilakukan dengan pemeriksaan *electrocardiogram* (ECG). Saat ini, ECG masih sering diperiksa secara konvensional dimana pemeriksaan dilakukan secara langsung di

rumah sakit oleh tenaga ahli. Hal ini tentu menimbulkan risiko keterlambatan penanganan apabila sewaktu-waktu timbul gejala penyakit kardiovaskular pada pasien di saat tenaga ahli sedang tidak tersedia. *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi yang dinilai dapat mengatasi masalah tersebut (Nogueira dan Carnaz, 2019). IoT adalah sebuah arsitektur jaringan yang tersusun atas perangkat dan benda yang terbenam dengan elektronik, perangkat lunak, sensor, dan konektifitas ke jaringan (Dimitrov, 2016).

Secara umum, persamaan yang menggambarkan lingkungan IoT adalah “lingkungan IoT = Internet + *Wireless Sensor Network* (WSN)” (H., A. dan M., 2015). WSN adalah sebuah jaringan yang di dalamnya terdapat beberapa *node* sensor data. Pada WSN, satu *node* sensor terdiri dari sebuah antarmuka sensor, unit pemrosesan, *transceiver*, dan sumber daya listrik.

Pemantauan ECG yang dilakukan dengan menggunakan arsitektur IoT pernah diterapkan oleh Yang et al. (2016). Penelitian tersebut menghasilkan sistem yang memanfaatkan *node* pemantau dengan WiFi sebagai media pengiriman data yang diperoleh menuju ke *cloud* dimana data ECG akan disimpan. Namun, media transmisi WiFi dinilai kurang tepat untuk digunakan pada pengaplikasian IoT dikarenakan *frame overhead*-nya yang besar dan kebutuhan konsumsi dayanya yang tinggi (Salman dan Jain, 2017). Sehingga diperlukan teknologi media transmisi yang lebih tepat untuk menerapkan arsitektur IoT pada pemantauan ECG.

Saat ini, teknologi yang dapat mengatasi keterbatasan-keterbatasan tersebut telah dikembangkan. Teknologi tersebut adalah LoRa (*Long Range*). LoRa merupakan media pengiriman data yang memiliki *frame overhead* kecil yang hanya terdiri dari *preamble*, *header* (opsional), dan CRC (opsional) dan hemat daya karena tergolong protokol LPWAN (Yi et al., 2016). LoRa menggunakan frekuensi 915 MHz (Semtech, 2018). Frekuensi tersebut termasuk kedalam frekuensi *sub-GHz* sehingga memiliki kemampuan penetrasi yang baik ke objek yang menghalangi rambatan sinyal seperti tembok karena kemampuan penetrasi dari sinyal semakin baik apabila frekuensinya semakin rendah (de Jong, Camire dan Rogers, 2011). Selain memiliki kemampuan penetrasi yang baik, teknologi LoRa juga tahan terhadap adanya interferensi dan juga tahan terhadap multipath/fading (Sonnenberg, 2019; Semtech,

2015). Teknologi ini merupakan teknologi yang dikembangkan untuk mendukung komunikasi jarak jauh yang hemat daya yang dapat menjangkau perangkat yang sampai dengan 30 mil atau 48 km jauhnya (Semtech, 2018).

Apabila dibandingkan, WiFi menggunakan *frame overhead* berukuran 34 *bytes* dan mengonsumsi daya sebesar 400 mA saat transmisi dan 20 mA saat *standby*, sedangkan LoRa menggunakan *frame overhead* yang hanya berukuran 2-7 *bytes* dan mengonsumsi daya sebesar 28-44 mA saat transmisi dan 1,4 mA saat *standby* (Sarkar dan Member, 2011; Islam, Islam dan Almutairi, 2019; Yi et al., 2016). Berdasarkan perbandingan tersebut, LoRa merupakan teknologi yang dinilai lebih tepat untuk digunakan sebagai media pengiriman pada pengaplikasian arsitektur IoT dibandingkan dengan WiFi. Namun untuk pengiriman data menuju ke aplikasi *cloud*, dibutuhkan sebuah *gateway* karena LoRa bersifat *non-IP-based* sehingga tidak dapat digunakan untuk mengakses internet. Alasan tersebut lah yang menjadi dasar juga dirancangnya sebuah LoRa *gateway* untuk menerima data dari *node* sensor lalu meneruskannya sampai ke *cloud*.

Didasari oleh latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya pada subbab ini, fokus dari penelitian ini adalah merancang dan menerapkan sebuah mekanisme transmisi data ECG dari *node* sensor menuju ke LoRa *gateway* menggunakan LoRa dan meneruskannya ke aplikasi pada *cloud* menggunakan WiFi. Aplikasi yang digunakan adalah aplikasi pada *cloud* yang sudah dikembangkan oleh Pramukantoro et al. (2017). Data yang dikirim dari *node* sensor terdiri dari topik, ID sensor, dan data ECG. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung layanan pemantauan ECG pengguna kapanpun yang hasilnya dapat diakses darimanapun.

2. DASAR TEORI

2.1 *Internet of Things* (IoT)

IoT merupakan sebuah istilah yang mendeskripsikan sistem yang terdiri dari manusia, perangkat, dan layanan yang saling terhubung satu sama lain. Sehingga IoT memungkinkan manusia dan benda untuk dapat terhubung kapanpun, dimanapun, dengan apapun dan siapapun, serta dengan jaringan dan layanan apapun (Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Georgakopoulos, 2014). Arsitektur

pada sistem IoT terdiri dari sensor/aktuator, *gateway*, dan aplikasi.

IoT memiliki potensi untuk diaplikasikan pada berbagai macam sektor, namun saat ini masih sedikit yang mengaplikasikannya. Banyak domain dan lingkungan yang dapat ditingkatkan kualitasnya apabila diaplikasikan IoT. Beberapa domain tersebut adalah domain transportasi dan logistik, domain kesehatan, domain lingkungan cerdas, dan domain personal dan sosial (Atzori, Iera dan Morabito, 2010).

2.2. Node Sensor

Node sensor merupakan sebuah *node* yang berperan untuk merekam data sensorik, melakukan sedikit pemrosesan terhadap data tersebut, dan berkomunikasi dengan *node* lainnya dalam jaringan IoT. *node* sensor pada IoT dibangun berbasis *microcontroller* (MCU) yang hanya terdiri dari *transceiver* radio, memori eksternal, sensor, dan baterai (Karray et al., 2014).

Masing-masing komponen pada *node* sensor memiliki fungsi yang berbeda-beda. MCU berfungsi untuk menjalankan proses, memproses data, dan mengatur fungsionalitas-fungsionalitas dari *node* sensor. *Transceiver* radio berfungsi untuk berkomunikasi dan mentransmisikan data sensorik ke *node* lain. Memori eksternal berfungsi untuk menyimpan data-data terkait aplikasi dan menyimpan program yang dijalankan. Sensor berfungsi untuk merekam data sensorik dari lingkungan dimana *node* sensor diaplikasikan. Dan yang terakhir adalah baterai yang berfungsi sebagai penyedia sumber daya agar *node* sensor dapat beroperasi.

2.3. IoT Gateway

IoT *gateway* merupakan sebuah perangkat yang menjembatani komunikasi antara domain sensorik dan domain aplikasi. Sehingga, *gateway* termasuk ke dalam salah satu komponen paling penting di dalam pengaplikasian konsep IoT (Chen, Jia dan Li, 2011). Dikarenakan perannya yang merupakan sebuah jembatan komunikasi, *gateway* pada IoT harus memiliki beberapa fitur utama, yaitu: antarmuka komunikasi yang beragam; kemampuan untuk mengkonversikan protokol; dan kemampuan untuk mengelola dan dapat dikelola.

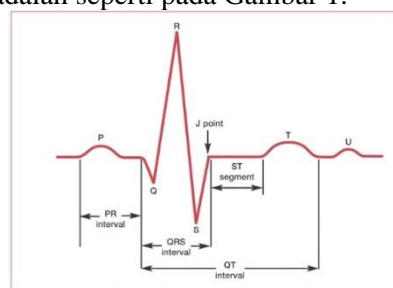
2.4. LoRa

LoRa merupakan singkatan dari *Long Range*. LoRa adalah sebuah teknik modulasi *spread spectrum* yang berdasarkan teknologi *chirp spread spectrum* (CSS) (Semtech, 2018). Teknologi LoRa dikembangkan karena tingginya permintaan akan perangkat jaringan nirkabel yang memiliki konektivitas jarak jauh, hemat daya, dan berbiaya rendah.

Hematnya penggunaan daya pada perangkat LoRa disebabkan oleh model komunikasi yang digunakan, yaitu komunikasi *asynchronous* yang artinya suatu *node* hanya akan melakukan komunikasi apabila ada data yang akan dikirimkan layaknya metode ALOHA (Devalal dan Karthikeyan, 2018).

2.5. Electrocardiogram (ECG)

Electrocardiogram (ECG) merupakan sebuah tes yang mengukur aktifitas kelistrikan pada detak jantung. Dalam satu kali jantung berdetak, sebuah impuls listrik bergerak melewati jantung. Impuls tersebutlah yang membuat otot jantung memompa darah (American Heart Association, 2015). ECG dilakukan dengan cara menempelkan sensor dalam bentuk elektroda langsung ke kulit pada dada dan/atau bagian tubuh lainnya. Sinyal-sinyal yang ditangkap lalu direkam dan dianalisis oleh dokter. Contoh dari tampilan ECG adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh Gelombang ECG
Sumber: (Ashley dan Niebauer, 2004)

ECG dilakukan untuk melihat apakah jantung seseorang berdetak terlalu cepat, terlalu lambat, atau normal. ECG juga dapat dilakukan untuk mendiagnosa apakah seseorang sedang terkena serangan jantung, memiliki kelainan pada jantung, atau masalah pada jantungnya. Namun, untuk dapat mendiagnosa kondisi jantung pasien, data hasil pemeriksaan ECG harus dianalisis oleh pihak yang ahli pada bidang kardiologi. Data ECG hanya dapat dianalisis apabila perekamannya dilakukan minimal dengan frekuensi 100 Hz (Kwon, Jeong dan Kim, 2018). Selain itu, data ECG juga mulai

dapat dianalisis apabila perekamannya telah dilakukan selama 10 detik atau lebih (Hodgart dan Macfarlane, 2004). Untuk kondisi *non-critical*, *delay* yang masih dapat ditoleransi pada pengiriman data ECG adalah sampai dengan 4 detik. Sedangkan apabila kondisinya *critical*, *delay* yang masih dapat ditoleransi adalah hanya sampai dengan 3 detik (Alesanco dan García, 2010)

2.6. WEMOS LOLIN D32 (ESP32)

ESP32 adalah sebuah *chip* MCU yang terintegrasi dengan WiFi dan Bluetooth yang dirancang dengan teknologi *ultra-low-power* 40 nm milik Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). ESP32 dirancang untuk digunakan pada aplikasi *mobile* (bergerak), *wearable electronic* (elektronik yang dapat dikenakan), dan IoT. Perangkat ini juga sudah memenuhi berbagai karakteristik dari *chip* hemat daya, seperti *clock gating* yang baik, memiliki beberapa mode daya, dan penskalaan daya dinamis (Espressif Systems, 2019b).

WEMOS LOLIN D32 merupakan MCU berbasis ESP32 yang diproduksi oleh WEMOS Electronics. Modul ESP32 yang digunakan oleh perangkat ini bertipe ESP32-WROOM-32. Perangkat ini secara *default* telah dipasang *firmware* Micropython namun dapat di-*flash* ulang dengan *firmware* Arduino apabila diinginkan (WEMOS Electronics, 2018).

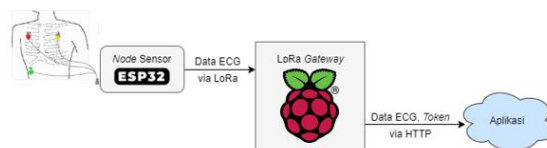
2.7. Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry Pi merupakan sebuah komputer berbiaya rendah yang memiliki ukuran layaknya sebuah kartu kredit dan dapat disambungkan dengan layar komputer, *keyboard*, dan *mouse*. Perangkat ini mampu melakukan hal apapun yang dapat dilakukan oleh komputer *desktop*. Ditambah lagi, perangkat ini mampu berinteraksi dengan lingkungan di sekitarnya, dan sudah pernah digunakan dalam berbagai macam proyek digital, mulai dari proyek musik sampai proyek stasiun cuaca (Saville, 2019).

Raspberry Pi 3 model B+ adalah produk terbaru dari Raspberry Pi generasi ketiga. Perangkat ini diperkasai dengan prosesor *quad core* 64-bit 1.4 GHz, modul *Wireless LAN* (WLAN) *dual-band* yaitu 2.4 GHz dan 5 GHz, modul Bluetooth 4.2 atau *Bluetooth Low Energy* (BLE), *Ethernet*, dan *PoE* (*Power over Ethernet*). Modul WLAN yang digunakan sudah melalui uji sertifikasi *modular compliance* (Raspberry Pi Foundation, 2016).

3. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang dibuat terdiri dari *node* sensor ECG dengan antarmuka LoRa, LoRa *gateway* dengan antarmuka LoRa dan WiFi, dan aplikasi pada *cloud* yang dikembangkan oleh Pramukantoro et al. (2017). Fungsionalitas dari sistem yang dibuat dimulai pengiriman data ECG oleh *node* sensor menuju ke LoRa *gateway* menggunakan LoRa lalu diteruskan oleh LoRa *gateway* dengan menyertakan token terautentikasi ke aplikasi pada *cloud* dengan menggunakan protokol HTTP. Gambaran umum sistem diilustrasikan melalui Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran umum sistem

3.2. Lingkungan Penelitian

Lingkungan penelitian terbagi menjadi lingkungan perangkat keras dan lingkungan perangkat lunak. Lingkungan penelitian pada penelitian ini dijabarkan melalui Tabel 1 dan Tabel 2.

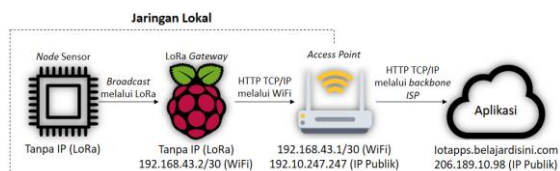
Tabel 1. Lingkungan Perangkat Keras

Perangkat	Jumlah	Keterangan
WEMOS LOLIN D32	1	Mikrokontroler sebagai <i>node</i> sensor dan memiliki fungsi untuk mengambil data dari modul sensor lalu mengirimkannya ke LoRa <i>gateway</i> via LoRa.
AD8232	1	Modul yang berfungsi untuk merekam data ECG dari pengguna.
HopeRF RFM95W	2	Modul yang berfungsi untuk mentransmisikan atau menerima data menggunakan LoRa. 1 buah untuk dipasang pada <i>node</i> sensor dan 1 buah untuk dipasang pada LoRa <i>gateway</i> .
Raspberry Pi model 3B+	1	Komputer kecil yang bertindak sebagai LoRa <i>gateway</i> untuk menerima data ECG dari <i>node</i> sensor melalui LoRa lalu meneruskannya menuju ke aplikasi pada <i>cloud</i> .
MicroSD card 32GB	1	Media penyimpanan untuk Raspberry Pi.
Powerbank 10000mAh	2	Sumber tenaga masing-masing untuk mikrokontroler dan Raspberry Pi.
Laptop ASUS X450JB	1	Perangkat yang digunakan untuk memprogram dan mengontrol <i>node</i> sensor dan Raspberry Pi.

Tabel 2. Lingkungan Perangkat Lunak

Perangkat	Keterangan
Micropython	Firmware yang terpasang pada <i>node</i> sensor.
uPyCraft	Integrated Development Environment (IDE) yang digunakan untuk memprogram <i>node</i> sensor.
Raspbian	Sistem operasi yang terpasang pada Raspberry Pi.
Thonny	IDE yang digunakan untuk memprogram Raspberry Pi.
Python 3.7.3	Bahasa pemrograman yang digunakan untuk memprogram <i>node</i> sensor dan LoRa gateway.
Windows 10 64-bit	Sistem operasi yang terpasang pada laptop.

3.3. Perancangan Arsitektur Jaringan



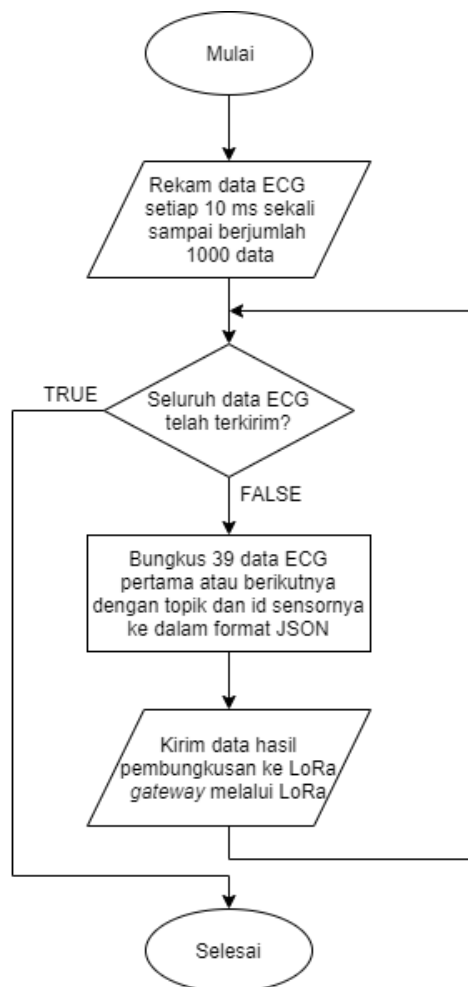
Gambar 3. Arsitektur jaringan sistem

Gambar 3 mengilustrasikan arsitektur jaringan sistem dimana terdapat sebuah jaringan lokal yang terdiri dari *node* sensor, LoRa gateway, dan *access point* pada arsitektur jaringan yang digunakan. *Node* sensor tidak memiliki satupun alamat IP karena antarmuka yang digunakan hanya LoRa. Begitu pula pada LoRa gateway, perangkat tersebut juga tidak memiliki alamat IP untuk antarmuka LoRa-nya. Pada LoRa gateway, yang memiliki alamat IP hanyalah antarmuka WiFi, yaitu 192.168.43.2 dengan netmask /29. Pada *access point* terdapat 2 antarmuka komunikasi, yaitu antarmuka WiFi dengan alamat IP 192.168.43.1 dengan netmask /29 dan antarmuka untuk tersambung ke internet melalui backbone ISP dengan alamat IP 192.10.247.247. Dan aplikasi yang berada pada cloud memiliki nama domain iotapps.belajardisini.com dengan alamat IP 206.189.94.98.

Untuk alur transmisi datanya, dimulai dari *node* sensor yang mengirimkan data ECG, id sensor, dan topik ke LoRa gateway dengan cara melakukan broadcast melalui LoRa. Lalu data ECG yang diterima oleh LoRa gateway akan dibaca dan diteruskan ke *access point* menggunakan protokol HTTP melalui WiFi. Setelah itu, data yang diterima oleh *access point* akan diteruskan ke aplikasi melalui backbone ISP.

4. IMPLEMENTASI

4.1. Implementasi Node Sensor



Gambar 4. Flow diagram fungsionalitas *node* sensor

Node sensor yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sebuah modul sensor ECG AD8232, sebuah mikrokontroler ESP32, dan sebuah modul LoRa RFM95w. *Node* sensor memiliki fungsionalitas yang terdiri dari tiga fungsi utama, yaitu merekam data ECG dari pengguna, membungkus data tersebut dengan id dan sesuai dengan topiknya, dan mengirimkan data yang sudah dibungkus ke LoRa gateway melalui LoRa.

Fungsionalitas *node* sensor dimulai dari perekaman data ECG dari pengguna. Dalam sekali siklus perekaman, *node* sensor akan mengumpulkan seribu data ECG yang direkam setiap 10 ms sekali sehingga akan menghasilkan 10 detik data ECG pengguna yang akan disimpan dalam bentuk list. Setiap data ECG direpresentasikan dengan angka 0-4095 karena pin ADC yang digunakan pada ESP32 hanya memiliki resolusi 12 bit. Perekaman data

dilakukan setiap 10 ms sekali sampai seribu data dilakukan agar data ECG yang diperoleh nantinya akan membentuk 10 detik data ECG dengan frekuensi 100 Hz agar dapat dianalisis. Lalu, dilakukan pemeriksaan apakah seluruh data ECG yang direkam telah terkirim atau belum. Apabila belum, *node* sensor akan memasuki langkah ketiga yaitu, data yang berhasil dikumpulkan tersebut dibungkus dengan topik beserta id sensornya dan diformat ke dalam format JSON. Gambar 5 menguraikan hasil pembungkusan data dan pengubahan format data mejadi JSON.

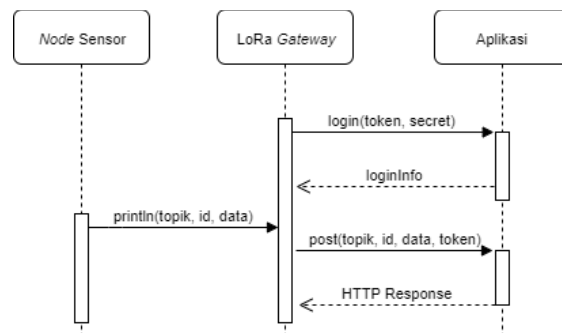
```
[
  (topik:String),
  (idSensor:String),
  (data:List)
]
```

Gambar 5. Format pembungkusan data

Namun, dikarenakan ukuran maksimum *payload* LoRa yang terbatas hanya 255 bytes dan harus ditambahkannya topik dan id sensor pada *payload* tersebut, *node* sensor hanya mampu mengirimkan 39 data hasil rekaman ECG dalam sekali pengiriman. Oleh karena itu, data ECG yang dibungkus hanya berjumlah 39 untuk sekali pengiriman. Keempat, data yang telah dibungkus dan telah berformat JSON dikirim ke LoRa gateway melalui LoRa. Setelah itu, *node* sensor akan memeriksa kembali apakah data hasil perekaman ECG sudah dikirim seluruhnya atau belum. Apabila sudah, maka *node* sensor telah menyelesaikan satu siklus fungsionalitasnya.

4.2. Implementasi LoRa Gateway

LoRa gateway pada penelitian ini terdiri dari sebuah Raspberry Pi 3 Type B+ dan sebuah modul LoRa RFM95w. Dalam penelitian ini, LoRa gateway bekerja sebagai perangkat yang menjembatani *node* sensor dan aplikasi pada *cloud* untuk transmisi data. Sehingga, komponen-komponen penyusun LoRa gateway harus dapat menerima data ECG yang dikirimkan oleh *node* sensor dan meneruskannya ke aplikasi pada *cloud*. Oleh karena itu, LoRa gateway memiliki dua antarmuka komunikasi. Yang pertama adalah antarmuka LoRa sebagai media untuk menerima data dari *node* sensor. Dan yang kedua adalah antarmuka WiFi yang digunakan untuk mengunggah data dari *node* sensor menuju ke aplikasi yang berada pada *cloud*.



Gambar 6. Sequence diagram fungsionalitas LoRa gateway

Pada penelitian ini, LoRa gateway memiliki fungsionalitas yang terdiri dari dua fungsi utama, yaitu penerimaan data ECG dari *node* sensor yang dikirimkan melalui LoRa dan pengunggahan data ECG tersebut ke aplikasi yang berada pada *cloud*. Fungsionalitas LoRa gateway dimulai dengan proses autentikasi ke aplikasi dengan cara melakukan *login* yang mengirimkan *token* dan *secret key*-nya. Proses *login* tersebut akan menghasilkan sebuah *token* baru yang terautentikasi oleh aplikasi. Setelah itu, apabila LoRa gateway menerima paket data ECG yang dikirimkan oleh *node* sensor, paket yang diterima akan dibaca dan diunggah ke aplikasi dengan menyertakan *token* milik LoRa gateway yang telah terautentikasi pada tahap pertama. Lalu, aplikasi pada *cloud* nantinya akan mengirimkan pesan balasan dalam bentuk HTTP *Response* yang mengandung informasi terkait keberhasilan pengunggahan data ke aplikasi.

5. Pengujian dan Pembahasan

5.1. Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsionalitas sistem menguji apakah fungsionalitas-fungsionalitas yang harus dapat dijalankan oleh sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini menentukan apakah sistem mampu mengerjakan fungsinya dengan baik atau tidak. Pengujian ini dilakukan pada dua komponen sistem, yaitu *node* sensor dan LoRa gateway.

Hasil dari pengujian fungsionalitas sistem yang diperoleh dari pelaksanaan pengujian pada *node* sensor dan LoRa gateway adalah valid untuk seluruh kasus uji yang dilakukan. Tabel 3 menunjukkan masing-masing pengujian yang dilakukan beserta hasil yang direpresentasikan dengan validitasnya.

Tabel 3. Hasil pengujian fungsional

Kasus Uji	Validitas
Kemampuan <i>node</i> sensor merekam data ECG dari pengguna	Valid
Kemampuan <i>node</i> sensor membungkus data ECG dengan topik yang sesuai beserta id sensornya dalam format JSON	Valid
Kemampuan <i>node</i> sensor mengirimkan data ECG, topik, dan id sensor yang telah dibungkus dalam format JSON ke LoRa <i>gateway</i> melalui LoRa	Valid
Kemampuan LoRa <i>gateway</i> menerima data JSON yang berisi data ECG, topik, dan id sensor yang telah dikirimkan oleh <i>node</i> sensor melalui LoRa	Valid
Kemampuan LoRa <i>gateway</i> mengautentikasikan <i>token</i> miliknya ke aplikasi pada <i>cloud</i> dengan menggunakan protokol HTTP	Valid
Kemampuan LoRa <i>gateway</i> meneruskan data ECG beserta id sensor sesuai dengan topiknya ke aplikasi pada <i>cloud</i> menggunakan protokol HTTP	Valid

5.2. Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian kinerja sistem menguji parameter-parameter kinerja pada sistem yang diimplementasikan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari kinerja sistem.

5.2.1. Pengujian Delay Pengiriman Data ECG dari Node Sensor ke LoRa Gateway melalui LoRa

Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan satu paket data ECG sekunder (39 data) ke LoRa *gateway* menggunakan LoRa dan merekam *log* waktu pengiriman dari *node* sensor dan penerimaan pada LoRa. Pengiriman data dilakukan dengan interval 5 detik. Pengujian dilakukan 8 kali dengan jarak antara *node* sensor dengan LoRa *gateway* sebagai pembeda. Nilai *delay* pengiriman data melalui LoRa diperoleh dari penyesuaian waktu sampainya data pada LoRa *gateway* dengan waktu terkirimnya data dari *node* sensor.

Tabel 4. Hasil pengujian *delay* pengiriman data melalui LoRa

Jarak	Delay pengiriman data melalui LoRa (detik)		
	Rata-rata	Nilai tertinggi	Nilai terendah
100 m	0,299736	0,620823	0,216548
200 m	0,306194	0,971474	0,228347
300 m	0,334344	0,596061	0,220704
400 m	0,376512	0,993208	0,310993
500 m	0,432373	0,956751	0,24418
600 m	0,462563	1,191328	0,253237
700 m	0,424275	0,850788	0,340275
800 m	0,467536	1,170082	0,303888

Dari hasil pengujian *delay* yang diuraikan pada Tabel 4, transmisi data yang dilakukan oleh *node* sensor ke LoRa *gateway* menggunakan LoRa sampai dengan jarak 800 meter masih menghasilkan *delay* rata-rata di bawah 0,5 detik. Namun, terkadang dapat terjadi lonjakan *delay* tergantung dari kondisi lingkungan operasionalnya seperti yang ditunjukkan pada nilai maksimum *delay* transmisi pada jarak 600 meter dan 800 meter.

5.2.2. Pengujian End-to-End Delay Pengiriman Data ECG dari Node Sensor sampai ke Aplikasi pada Cloud

Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan satu paket data ECG sekunder (39 data) ke LoRa *gateway* menggunakan LoRa dan LoRa *gateway* meneruskannya ke aplikasi pada *cloud*. Pada saat itu, LoRa *gateway* akan merekam *log* waktu mulainya pengiriman serta waktu sampainya data pada aplikasi. Pengiriman paket dilakukan sebanyak 60 kali dengan interval 5 detik. Pengujian dilakukan 8 kali dengan jarak antara *node* sensor dan LoRa *gateway* sebagai pembeda. Nilai *end-to-end delay* diperoleh dari penyesuaian waktu sampainya data pada aplikasi dengan waktu pengiriman data oleh *node* sensor.

Tabel 5. Hasil pengujian *end-to-end delay*

Jarak	End-to-end delay (detik)		
	Rata-rata	Nilai tertinggi	Nilai terendah
100 m	0,652137	3,136983	0,216548
200 m	0,585722	1,782869	0,228347
300 m	0,56162	1,094786	0,220704
400 m	0,696592	1,593183	0,310993
500 m	1,009045	2,980854	0,24418
600 m	0,70166	1,72405	0,253237
700 m	0,855856	3,681862	0,340275
800 m	0,724532	3,905741	0,303888

Dari hasil pengujian *end-to-end delay* yang diuraikan pada Tabel 5, transmisi data *end-to-end* menggunakan LoRa sampai dengan jarak 800 meter masih menghasilkan *delay* rata-rata sampai 1,01 detik. Namun, terkadang dapat terjadi lonjakan *delay* tergantung dari kondisi lingkungan operasionalnya seperti yang ditunjukkan pada nilai maksimum *end-to-end delay* pada jarak 800 meter.

5.2.3. Pengujian End-to-End Delay Pengiriman Hasil Satu Siklus Perekaman Data ECG dari Node Sensor sampai ke Aplikasi

Pengujian dilakukan dengan cara

mengirimkan data ECG sekunder yang berjumlah 1000 data ke LoRa gateway menggunakan LoRa dan LoRa gateway meneruskannya ke aplikasi pada cloud. Pada saat itu, log waktu mulainya pengiriman data pertama serta waktu sampainya data terakhir pada aplikasi akan direkam menggunakan Network Time Protocol dan disimpan dalam format file .csv. Pengujian dilakukan 60 kali dengan menggunakan data yang sama pada jarak 100 meter. Untuk memperoleh nilai end-to-end delay, operasi pengurangan dilakukan antara waktu penerimaan data terakhir pada aplikasi dan waktu mulainya pengiriman data pertama oleh node sensor.

Tabel 6. Hasil pengujian end-to-end delay pengiriman hasil satu siklus perekaman data ECG

Jumlah Pengujian	End-to-end delay (detik)		
	Rata-rata	Nilai tertinggi	Nilai terendah
60	25,577779	26,68955	25,3399

Dari hasil pengujian yang telah disajikan pada Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa dari 60 kali dilakukannya pengujian, rata-rata end-to-end delay yang diperoleh adalah 25,577779 detik dengan end-to-end delay tertinggi sebesar 26,68955 detik dan end-to-end delay terendah sebesar 25,3399. Hal yang mempengaruhi end-to-end delay tersebut adalah waktu yang dihabiskan untuk pembagian data, proses pengiriman datanya, dan end-to-end delay per paketnya.

5.2.4. Pengujian Packet Delivery Ratio yang Dikirimkan oleh Node Sensor melalui LoRa

Pengujian yang dilakukan adalah mengirimkan satu paket data ECG sekunder (39 data) ke LoRa gateway menggunakan LoRa dan menghitung jumlah paket yang berhasil diterima di LoRa gateway. Perhitungan jumlah paket yang masuk ke LoRa gateway dilakukan dengan menghitung jumlah log waktu paket yang direkam pada saat menguji delay transmisi dan delay end-to-end. Pengiriman data dilakukan sebanyak 60 kali dengan interval 5 detik. Pengujian dilakukan 8 kali dengan jarak antara node sensor dan LoRa gateway sebagai pembeda. Nilai PDR didapat dengan cara membagi jumlah paket yang masuk ke LoRa gateway dengan jumlah paket yang telah dikirimkan oleh node sensor dan dikalikan dengan 100.

Tabel 7. Hasil pengujian Packet Delivery Ratio

Jarak	Jumlah paket dikirim	Jumlah paket masuk	Packet Delivery Ratio (PDR)
100 m	60	60	100%
200 m	60	59	98,22%
300 m	60	60	100%
400 m	60	60	100%
500 m	60	60	100%
600 m	60	58	96,67%
700 m	60	60	100%
800 m	60	60	100%

Dari hasil pengujian PDR yang diuraikan pada Tabel 7, transmisi data menggunakan LoRa sampai dengan jarak 800 meter masih menghasilkan PDR di atas 95%. Sedangkan, PDR yang paling kecil didapat dari pengujian pada jarak 600 meter. Hal ini dapat terjadi karena pengujian dilakukan pada kondisi line-of-sight sehingga memungkinkan rambatan sinyal LoRa di udara tidak terhambat oleh objek-objek tertentu yang berpotensi mengganggu rambatan sinyal.

6. Kesimpulan

Mekanisme transmisi data ECG dari node sensor sampai ke aplikasi pada cloud melalui LoRa gateway telah berhasil diimplementasikan. Pengiriman data ECG dari node sensor menuju ke LoRa gateway dilakukan menggunakan media transmisi LoRa. Lalu, penerusan data ke aplikasi dilakukan dengan mengirimkan request HTTP post yang memuat id sensor dan data ECG dari node sensor beserta token yang sudah terautentikasi ke aplikasi dengan topik yang sesuai menggunakan media transmisi WiFi. Hasil dari penerapan tersebut menghasilkan rata-rata delay transmisi pada LoRa di bawah 0,5 detik, rata-rata end-to-end delay pengiriman per paket di bawah 1,01 detik, rata-rata end-to-end delay pengiriman per siklus di kisaran 25,5 detik, dan PDR di atas 95%. Berdasarkan hasil pengujian kinerja yang diperoleh, didapatkan kesimpulan bahwa mekanisme pengiriman data ECG yang diterapkan pada penelitian ini masih belum dapat memenuhi salah satu kebutuhan yang harus dipenuhi untuk keperluan pemantauan ECG, yaitu nilai 4 detik sebagai delay maksimum yang masih dapat ditoleransi pada pengiriman datanya. Sedangkan nilai end-to-end delay yang dihasilkan pada pengiriman satu siklus data ECG pada penelitian ini masih berada di atas angka tersebut, yaitu rata-rata sebesar 25,5 detik.

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat dipertimbangkan untuk kelanjutan dari penelitian ini agar lebih sempurna. Pertama, dapat dilakukan pengembangan lebih lanjut pada mekanisme pengiriman data ECG yang diterapkan pada penelitian ini. Hal tersebut perlu dipertimbangkan karena mekanisme yang dihasilkan pada penelitian ini masih belum mampu memenuhi salah satu kebutuhan untuk diterapkan pada pemantauan ECG pengguna yaitu *delay* yang dihasilkan masih berada di atas *delay* maksimum yang dapat ditoleransi. Kedua, dapat dikembangkan algoritma keamanan data saat transmisi data dilakukan karena mekanisme pengiriman data pada penelitian ini tidak mengandung mekanisme pengamanan sama sekali. Ketiga, dapat dilakukan analisis perbandingan performa penggunaan media transmisi LoRa pada bidang *monitoring* kesehatan dengan media transmisi lain seperti Zigbee, BLE, 6LowPAN, atau media transmisi lainnya yang dinilai tepat digunakan pada IoT.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Alesanco, Á. dan García, J., 2010. Clinical assessment of wireless ECG transmission in real-time cardiac telemonitoring. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(5), hal.1144–1152.
- Ali, Z.H., Ali, H.A. dan Badawy, M.M., 2015. Internet of Things (IoT): Definitions, Challenges and Recent Research Directions. *International Journal of Computer Applications*, 128(1), hal.37–47.
- American Heart Association, 2015. *Electrocardiogram (ECG or EKG) | American Heart Association*. *Heart.org*. Tersedia pada: <<https://www.heart.org/en/health-topics/heart-attack/diagnosing-a-heart-attack/electrocardiogram-ecg-or-ekg>>.
- Atzori, L., Iera, A. dan Morabito, G., 2010. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, [daring] 54(15), hal.2787–2805. Tersedia pada: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>>.
- Ashley, E.A. dan Niebauer, J., 2004. *Conquering the ECG*. In: *Cardiology Explained*. London: Remedica.
- Chen, H., Jia, X. dan Li, H., 2011. A Brief Introduction to IoT Gateway. *Proceeding of ICCTA2011*, 7, hal.5–8.
- Devalal, S. dan Karthikeyan, A., 2018. LoRa technology-an overview. *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, (Iceca), hal.284–290.
- Dimitrov, D. V., 2016. Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare. *22(3)*, hal.156–163.
- Espressif Systems, 2019a. ESP32-WROOM-32.
- Espressif Systems, 2019b. ESP32 Series Datasheet. *Espressif Systems*, [daring] hal.1–61. Tersedia pada: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>.
- Hodgart, E. dan Macfarlane, P.W., 2004. 10 Second heart rate variability. *Computers in Cardiology*, 31, hal.217–220.
- Islam, M.S., Islam, M.T. dan Almutairi, A.F., 2019. applied sciences Monitoring of the Human Body Signal through the Internet of Things (IoT) Based LoRa Wireless Network System.
- de Jong, Y.L.C., Camire, D. dan Rogers, D. V., 2011. 700 AND 2 , 500 MHz PERTAINING TO MACROCELLULAR COVERAGE. hal.1–32.
- Karray, F., Jmal, M.W., Abid, M., Bensaleh, M.S. dan Obeid, A.M., 2014. A review on wireless sensor node architectures. *2014 9th International Symposium on Reconfigurable and Communication-Centric Systems-on-Chip, ReCoSoC 2014*, (May).
- Kwon, O., Jeong, J. dan Kim, H. Bin, 2018. ECG Sampling Frequency for HRV Analysis. *Healthcare Informatics Research*, [daring] 24(3), hal.198–206. Tersedia pada: <www.e-hir.org>.
- Nogueira, V. dan Carnaz, G., 2019. An Overview of IoT and Healthcare. (February).
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Georgakopoulos, D., 2014. Context aware computing for the internet of things: A survey. *Communications Surveys Tutorials*. *Ieee*, 16(1), hal.414 – 454.
- Pramukantoro, E.S., Luckies, M. dan Bakhtiar, F.A., 2019. Bridging IoT infrastructure

- and cloud application using cellular-based internet gateway device. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(3), hal.1439.
- Pramukantoro, E.S., Yahya, W., Arganata, G., Bhawiyuga, A. dan Basuki, A., 2017. Topic Based IoT Data Storage Framework for Heterogeneous Sensor Data. In: *11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA)*. Lombok: IEEE.
- Raspberry Pi Foundation, 2016. Raspberry Pi 3 Model B+ Datasheet. *Datasheet*, [daring] hal.5. Tersedia pada: <<https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>>.
- Salman, T. dan Jain, R., 2017. Advanced Computing and Communications , Vol . 1 , No . 1 , March 2017 . 1(1).
- Sarkar, N.I. dan Member, S., 2011. The Impact of Transmission Overheads on IEEE 802 . 11 Throughput: Analysis and Simulation. (May), hal.49–55.
- Saville, R., 2019. *What is a Raspberry Pi?* [daring] Raspberrypi.Org. Tersedia pada: <<https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberrypi/>> <<http://www.raspberrypi.org>> [Diakses 15 Des 2019].
- Semtech, 2015. LoRa™Modulation Basics Semtech. AN1200.22(May), hal.1–26.
- Semtech, 2018. *What is LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech*. Tersedia pada: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>.
- Sonnenberg, J., 2019. *The LoRa Protocol*.
- WEMOS Electronics, 2018. *D32 [WEMOS Electronics]*. [daring] Tersedia pada: <<https://wiki.wemos.cc/products:d32:d32>>.
- World Heart Federation, 2016. The World's Most Common Cause Of Death. Cardiovascular Diseases CVDs Global Facts and Figures. hal.863.
- Yi, J., Clausen, T.H., Townsley, W.M. dan Systems, C., 2016. A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. (September).