

Portable Medical Device untuk Aplikasi Pelayanan Kesehatan Ibu dan Anak Berbasis IoT

Trie Maya Kadarina
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Mercu Buana
Jakarta, Indonesia
trie.maya@mercubuana.ac.id

Abstrak— Dalam makalah ini dijelaskan perancangan dan realisasi *portable medical device* untuk aplikasi pelayanan kesehatan ibu dan anak (KIA) berbasis *Internet of Things*. Pelayanan kesehatan berbasis IoT memungkinkan dokter dan paramedis melakukan pemantauan jarak jauh secara *real time* dan pendeteksian dini terhadap kondisi darurat untuk segera ditangani. Sistem ini diharapkan dapat membantu meningkatkan kualitas pelayanan KIA dan menurunkan angka kematian ibu dan anak yang masih cukup tinggi di Indonesia. Dalam penelitian ini diimplementasikan sebuah *portable medical device* yang berfungsi untuk mengambil, mengolah, merekam dan menganalisa data besaran fisiologis vital pasien yaitu: nilai denyut jantung dan kadar saturasi oksigen dalam darah (SpO_2). Kemudian data tersebut dikirim ke *cloud* untuk dianalisis lebih lanjut oleh dokter spesialis melalui *mobile device* atau paramedis di fasilitas kesehatan kesehatan (puskesmas/klinik atau rumah sakit) melalui PC. *Portable medical device* ini terdiri dari modul sensor dan Raspberry Pi. Modul sensor direalisasikan menggunakan IC Max 30102 dan Arduino Uno yang berfungsi untuk mengambil dan mengolah data denyut jantung dan SpO_2 dengan metoda *pulse oximetry*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul sensor telah mampu mengambil data denyut jantung dan SpO_2 dengan baik. Selain itu, telah dapat dilakukan *fog computing* berupa analisa keadaan tidak normal pasien oleh Raspberry Pi sebelum dikirim ke *cloud*.

Kata Kunci— *arduino, fog computing, internet of things, kesehatan ibu dan anak, portable medical device, pulse oximetry, raspberry pi*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan Angka Kematian Ibu (AKI) tertinggi di Asia Tenggara. Berdasarkan *Voluntary National Review* [1]. Dari setiap 100.000 kelahiran hidup di Indonesia, terdapat 305 ibu yang meninggal dunia pada saat melahirkan bayi yang dikandungnya. Demikian pula dengan angka kematian bayi dan balita di Indonesia masih cukup tinggi. Berdasarkan laporan Survei Demografi Kesehatan Indonesia pada tahun 2012, angka kematian bayi mencapai 32 per 1000 kelahiran hidup dan angka kematian anak di bawah umur 5 tahun mencapai 40 per 1000 kelahiran hidup. Terdapat beberapa tantangan untuk menurunkan angka kematian ibu dan anak diantaranya dengan menambah ketersediaan fasilitas pelayanan kesehatan yang memadai, peralatan kedokteran dan rumah sakit. Kementerian Kesehatan memiliki strategi untuk meningkatkan sumber daya sistem dengan meningkatkan penggunaan teknologi informasi dan komunikasi [2].

Sejumlah aplikasi layanan teknologi informasi dan komunikasi inovatif telah dikembangkan seperti sistem *e-health, m-health, dan telehealth* untuk aplikasi pelayanan kesehatan tertentu dan/atau penyakit tertentu. Diperlukan pengembangan lebih lanjut berdasarkan beberapa alasan, diantaranya: perkembangan teknologi TIK yang relatif cepat, peningkatan kualitas dan pengembangan berbagai jenis infrastruktur telekomunikasi yang cepat, peningkatan keakraban pengguna untuk menerapkan berbagai sistem *e-health*, dan berkembang pesatnya berbagai macam aplikasi teknologi baru untuk kesehatan [3].

Aplikasi yang kini berkembang pesat dalam sistem *telehealth* adalah teknologi berbasis *Internet of Things (IoT)*. Aplikasi ini memungkinkan sebuah perangkat terhubung langsung dengan data dan dengan siapa pun. Seperti yang diuraikan [4], alasan mengapa IoT berperan penting dalam kesehatan diantaranya :

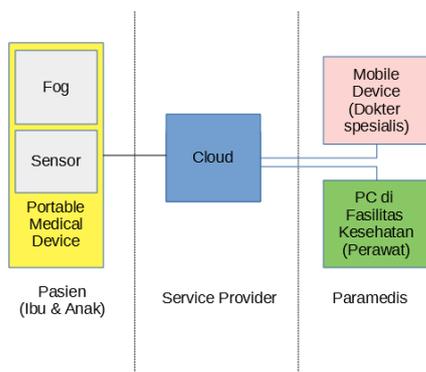
- Kemampuannya untuk mengambil data pasien secara kontinyu (*real time*) dapat membantu pelayanan pencegahan terhadap kondisi gawat darurat (*preventive care*).
- Dokter dapat melakukan diagnosis dini terhadap komplikasi akut dan pemantauan kesehatan terhadap pasien yang sedang diterapi dapat dilakukan setiap waktu. Pemasukan data secara otomatis dapat mengurangi resiko kesalahan yang disebabkan oleh manusia dan data dapat diperoleh secara otomatis jika diperlukan oleh dokter.

Kemampuan tersebut memberikan peningkatan dalam banyak aplikasi medis seperti pemantauan kesehatan jarak jauh (*remote health monitoring*), program *fitnes*, penyakit kronik dan pelayanan orang tua (*elderly care*). Pelayanan kesehatan berbasis *IoT* diharapkan dapat mengurangi biaya dan mampu meningkatkan kualitas hidup [5]. Teknologi berbasis *IoT* dapat menjadi solusi bagi pemerintah Indonesia dalam menurunkan angka kematian ibu dan anak.

Dalam upaya membantu pemerintah menurunkan angka kematian ibu, bayi dan balita telah dirancang oleh Kadarina dan Rinto sebuah sistem untuk meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan ibu dan anak (KIA) [6]. Dengan sistem ini memungkinkan terjadinya pertukaran informasi kedokteran secara cepat dan tepat untuk keperluan pemantauan kesehatan

jarak jauh secara *real time*. Dengan demikian dokter/paramedis dapat melakukan pemantauan kesehatan dari mana pun dan di mana pun. Pendeteksian dini terhadap suatu kondisi gawat darurat dapat dilakukan sehingga pasien yang mengalami keadaan kritis dapat segera ditangani.

Dalam makalah ini diuraikan perancangan sebuah portable medical device untuk aplikasi pelayanan kesehatan ibu dan anak berbasis IoT seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1. Portable medical device ini menggunakan mini pc (Raspberry Pi) yang mampu melakukan fog computing terhadap sinyal pengukuran yang diterima dari sensor. Kemudian data yang telah dianalisis tersebut dikirim ke cloud melalui WiFi untuk dianalisis lebih lanjut oleh dokter spesialis melalui mobile device atau paramedis di fasilitas kesehatan (puskesmas, klinik atau rumah sakit) melalui PC.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Secara Umum

Beberapa parameter penting yang perlu dipantau dalam pendeteksian suatu penyakit dan keadaan gawat darurat pada ibu hamil diantaranya adalah: tekanan darah, denyut jantung dan EKG, denyut jantung janin, kontraksi rahim dan level glukosa darah. Sedangkan pada anak diantaranya adalah: kadar saturasi oksigen dalam darah, denyut jantung, temperatur, dan laju pernafasan (*respiration rate*). Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada pemantauan terhadap 2 parameter yang paling vital yaitu: kadar saturasi oksigen dalam darah (SpO_2) dan denyut jantung. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk :

- Menghasilkan prototipe *portable medical device* yang mampu mengambil data dari sensor pengukuran saturasi oksigen darah dan denyut jantung.
- Menghasilkan aplikasi *fog computing* untuk mengolah dan menganalisa data dari sensor sebelum dikirim ke *cloud*.

II. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian terkait tentang aplikasi *internet of things* dalam bidang kesehatan telah banyak dikembangkan di berbagai negara. Islam et al melakukan studi lengkap terhadap penelitian terkini dan beberapa permasalahan yang harus diatasi untuk mengembangkan solusi IoT untuk kesehatan [4]. Mereka mengklasifikasikan studi jaringan kesehatan berbasis IoT dalam tiga bagian utama. Mereka pun memberikan hasil survei terhadap layanan dan aplikasi pelayanan kesehatan berbasis IoT dan memberikan wawasan yang luas mengenai masalah keamanan dan masalah privasi seputar solusi.

Jaringan IoT untuk pelayanan kesehatan memiliki tiga bagian utama. Pertama, topologi jaringan yang mengacu pada susunan elemen yang berbeda dalam jaringan. Kedua, arsitektur jaringan yang mengacu pada petunjuk untuk spesifikasi elemen fisik, pengaturan fungsionalnya, serta teknik dan prinsip kerjanya. Bagian terakhir adalah *platform* yang mengacu pada model *platform* jaringan dan *platform* komputasi. Nugraha et al telah melakukan analisis terhadap efisiensi komputasi di *cloud* dan jaringan nirkabel pada IoT [7].

Catarinucci et al telah berhasil merealisasikan *Smart Hospital System*, suatu *smart architecture* untuk *automatic monitoring* dan *tracking* yang memungkinkan pengambilan data secara *real time* kondisi lingkungan dan parameter fisiologis pasien melalui *ultra-low-power Hybrid Sensing Network (HSN)* yang terdiri dari node 6LoWPAN mengintegrasikan fungsi UHF RFID [8].

Konsep *fog computing* dalam aplikasi IoT kesehatan dijelaskan rinci oleh Dubey et al [9]. *Fog computing* adalah lapisan menengah yang berorientasi pada layanan di IoT, menyediakan antarmuka antara sensor dan *cloud server* untuk memfasilitasi konektivitas, transfer data, dan basis data lokal. Keistimewaan dari *fog computing* adalah komputasi node yang *low power*, cerdas, *wireless*, dan *embedded* dan dapat melakukan pengkondisian sinyal serta analisis data terhadap data mentah yang dikumpulkan dari sensor medis. Selain itu memberikan cara yang efisien untuk melayani aplikasi *telehealth*. Mereka menerapkan dan menguji sistem *fog computing* menggunakan *Intel Edison* dan *Raspberry Pi* yang memungkinkan akuisisi, komputasi, penyimpanan dan komunikasi berbagai data medis seperti data *pathological speech* dari seseorang yang mengalami gangguan bicara, sinyal *Phonocardiogram (PCG)* untuk estimasi denyut nadi, dan deteksi Q, R, S dari sinyal *elektrokardiogram (EKG)*.

Ditemukan pula sejumlah penelitian pengembangan aplikasi IoT untuk kesehatan menggunakan *Raspberry Pi* dengan konfigurasi jaringan yang bervariasi diantaranya yang telah dilakukan Deshmukh et al [10], Holley et al [11], Kumar et al [12], Kale et al [13], Maksimović et al [14], Rani et al [15] dan Sagar et al [16]. Mereka membangun sebuah perangkat yang mendukung aplikasi IoT kesehatan dan membangun jaringan yang dapat mengirimkan data dari sensor medis ke server sehingga data tersebut dapat di lihat dan di analisa oleh paramedis di PC atau *mobile device*.

Beberapa peneliti seperti Kale et al [13] dan Nikolaevskiy [17] telah melakukan penelitian dari segi keamanan. Penelitian-penelitian terkait di atas menunjukkan bahwa aplikasi IoT dapat menjadi solusi bagi kebutuhan penanganan kesehatan, mulai dari monitoring, pengecekan, dan analisa data untuk deteksi dini. Kadarina dan Rinto telah melakukan perancangan awal pengembangan sistem berbasis IoT untuk mendukung program kesehatan ibu dan anak di Indonesia [6]. Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian Kadarina dan Rinto [6]. Fokus penelitian ini adalah dalam pengembangan prototip *portable medical device* dimulai dengan pengukuran dua besaran vital yaitu denyut jantung dan saturasi darah (SpO₂) pasien dalam hal ini ibu dan anak.

III. PERANCANGAN SISTEM

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai diagram blok sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak *portable medical device* ini.

Diagram Blok Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras *portable medical device* yang dirancang terdiri dari modul sensor pengukuran denyut jantung dan saturasi darah (SpO₂) dan Raspberry Pi. Modul sensor direalisasikan menggunakan IC MAX30102 dan Arduino Uno. Diagram blok sistem adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 2. Modul sensor berfungsi untuk mengambil data dari pengukuran saturasi oksigen darah dan denyut jantung dengan metode *pulse oximetry*. Data tersebut kemudian diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno untuk selanjutnya di kirim ke *cloud* melalui Raspberry Pi untuk dapat dianalisis lebih lanjut oleh dokter spesialis melalui *mobile device* atau paramedis di fasilitas kesehatan (puskesmas, klinik atau rumah sakit) melalui PC. Dipilih Raspberry Pi atas pertimbangan untuk dapat melakukan komputasi *fog* berupa analisis kondisi pasien untuk keperluan deteksi dini, keperluan penyimpanan data sementara dan untuk memudahkan pengembangan lebih lanjut yaitu penambahan aplikasi pengukuran besaran fisiologis lain pada pengembangan *portable medical device* yaitu: temperatur, laju pernafasan (*respiration rate*), tekanan darah, sinyal EKG, denyut jantung janin, kontraksi rahim, dan level glukosa darah.

B. Perancangan Perangkat Keras

Spesifikasi perangkat keras pada sistem ini adalah sebagai berikut :

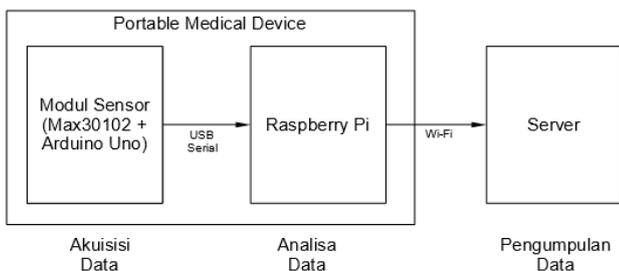
- IC MAX30102 (*High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor*)
 - Pembuat: Maxim Integrated
 - Terdiri dari: 2 buah *Internal led* yaitu LED IR dan RED, *photodetector*, *optical element*, dan *low-noise electronic* dengan *ambient light rejection*
 - Tegangan kerja: 1.8V (5V pada *breakout board*)
 - Protokol komunikasi: I²C
- Mikrokontroler Arduino
 - Tipe: Uno R
 - Sistem: 32-bit
 - Tegangan kerja: 5V
 - Antarmuka komunikasi: USB Serial, GPIO, I²C
- Raspberry Pi
 - Tipe: 3B
 - Antarmuka komunikasi: USB Serial, Wi-Fi
 - Sistem Operasi: Raspbian OS

IC MAX30102 dikoneksikan dengan Arduino Uno dengan konfigurasi hubungan pin seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Koneksi MAX30102 dengan Arduino Uno

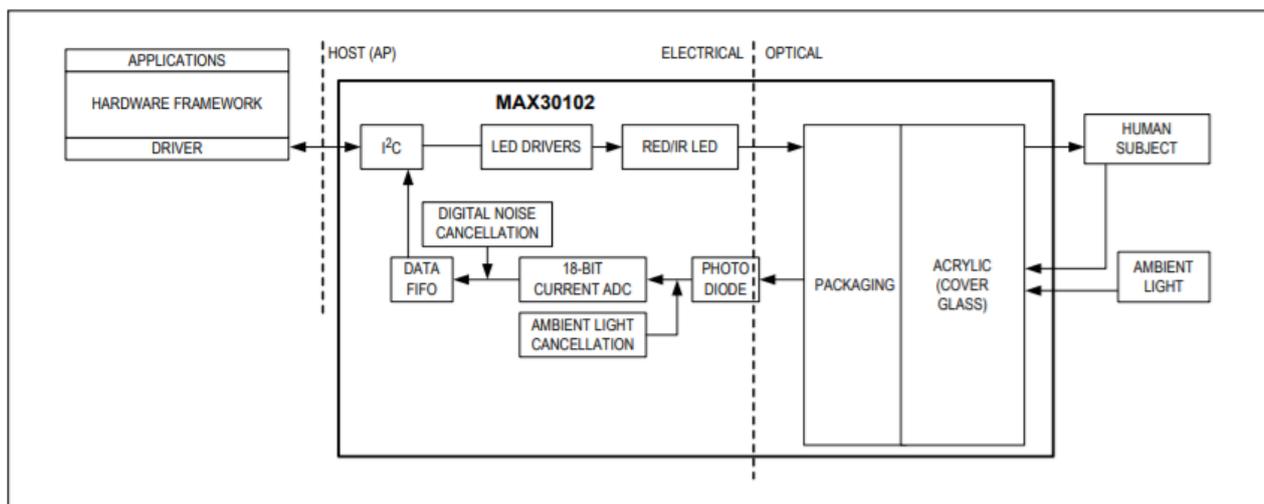
No.	Pin MAX30102	Pin Arduino Uno
1.	Vin	5V
2.	GND	GND
3.	SDA	SDA (A4)
4.	SCL	SCL (A5)
5.	INT	D10

Kemudian rangkaian Arduino Uno dihubungkan dengan Raspberry Pi melalui port serial USB.

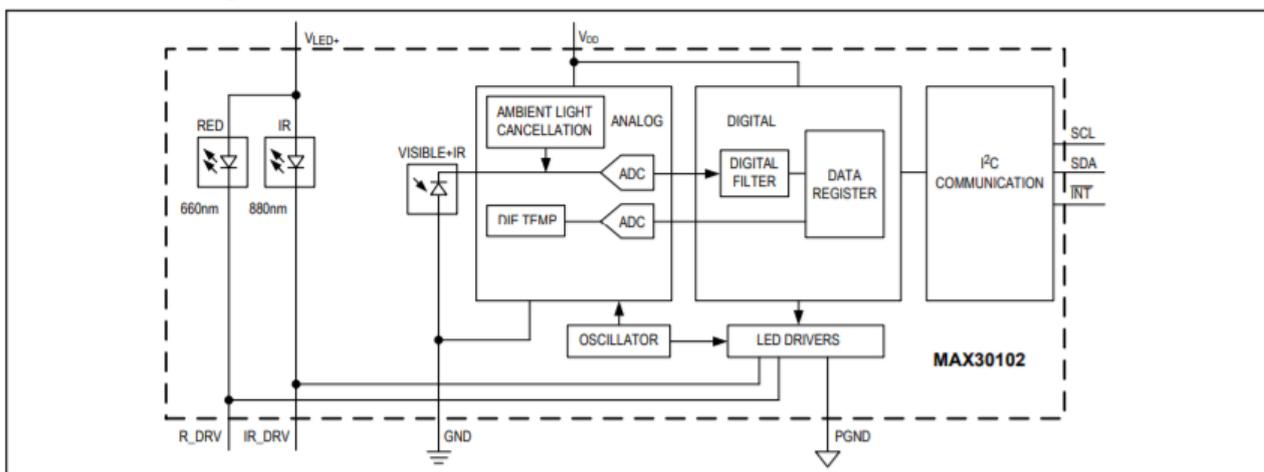


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pengambilan data denyut jantung dan kadar saturasi oksigen dalam darah (SpO_2) dilakukan dengan metode *pulse oximetry* menggunakan MAX30102 yang memiliki blok diagram sistem dan diagram fungsional seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dan 4 [18]. Sensor ini terdiri dari dua lampu LED yang memancarkan dalam spektrum merah (*RED*) (650nm) dan inframerah/IR (950nm). Sensor ini ditempatkan di jari atau daun telinga, pada dasarnya di mana saja di mana kulit tidak terlalu tebal sehingga kedua frekuensi cahaya dapat dengan mudah menembus jaringan. Setelah keduanya bersinar melalui jari, penyerapan diukur dengan fotodiode dari sinar yang dipantulkan. Jumlahnya akan bergantung pada jumlah oksigen yang dalam darah.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem MAX30102 [18]

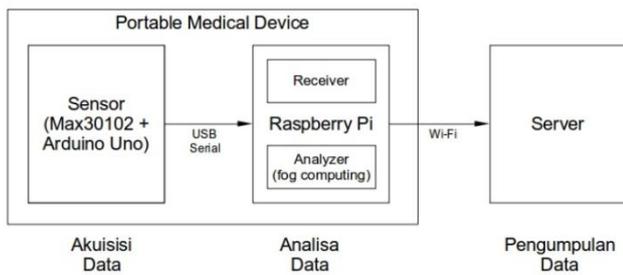


Gambar 4 Diagram Blok Fungsional MAX30102 [18]

Hemoglobin yang lebih kaya akan oksigen menyerap lebih banyak cahaya inframerah, sedangkan yang tidak memiliki oksigen akan menyerap cahaya merah. Rasio antara cahaya merah dan IR akan berbeda. Dari rasio ini dapat ditentukan kadar oksigen di dalam hemoglobin. Untuk mendeteksi pulsa/denyut jantung hanya diperlukan pembacaan IR. Perhitungan nilai denyut jantung dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Kedua nilai pembacaan sensor yaitu RED dan IR disimpan di *buffer* FIFO. *Buffer* FIFO dapat menyimpan hingga 16 pengukuran, dimana setiap sampel berukuran 4 *byte*. Dua *byte* pertama adalah untuk pengukuran IR dan dua *byte* terakhir adalah untuk pengukuran RED.

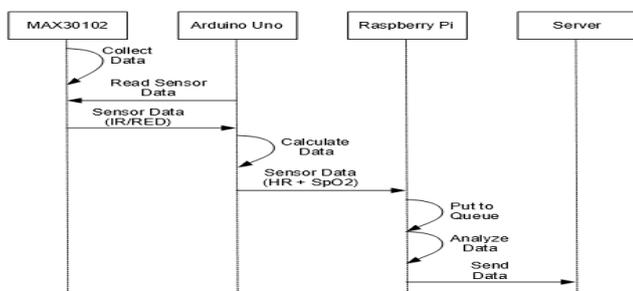
C. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang terdiri dari modul perangkat lunak pada Arduino Uno dan modul perangkat lunak pada Raspberry Pi. Modul perangkat lunak pada Raspberry Pi terdiri dari dua buah program yaitu program *receiver* dan *analyzer* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Diagram Blok Sistem : Modul Perangkat Lunak

Proses akuisisi data dilakukan oleh modul sensor. Gambar 6 menunjukkan diagram *sequence* yang memperlihatkan urutan proses pengolahan data yang terjadi dari sensor ke server. Data dari dari sensor MAX30102 yang berupa nilai hasil pengukuran sensor *photodetector* (*phothodiode*) dari pantulan LED IR dan RED, oleh mikrokontroler Arduino Uno diolah menjadi nilai denyut jantung dalam bpm (bit per menit) dan nilai SpO₂ dalam persen. Kemudian data tersebut dikirim ke Raspberry Pi untuk dianalisis.



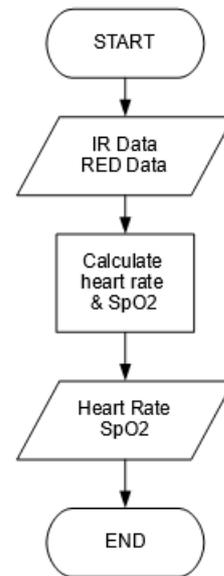
Gambar 6 Diagram *Sequence*

Program *receiver* berfungsi untuk menerima data denyut jantung dan SpO₂ dari Arduino Uno dan memasukan dalam antrian pengolahan pada Raspberry Pi. Program *analyzer* mengambil data dari antrian (*queue*) dan melakukan analisis dengan cara membandingkannya terhadap tabel referensi nilai normal denyut jantung dan SpO₂ berdasarkan usia pasien sesuai dengan acuan pada *PALS* (*Pediatric Advaced Life Support*) *Guidelines* [19]. Selanjutnya, hasil analisis dikirim ke server.

Modul perangkat lunak Arduino Uno diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman C. Menggunakan *library* RD117_ARDUINO dari MaximIntegratedRefDesTeam [20]. *Library* ini memiliki beberapa *header file*:

- max30102.h (modul driver MAX30102)
- SoftI2CMaster.h (modul untuk komunikasi I2C di Arduino)
- algorithm.h (modul untuk perhitungan denyut jantung (*heart rate*) dan level SpO₂)

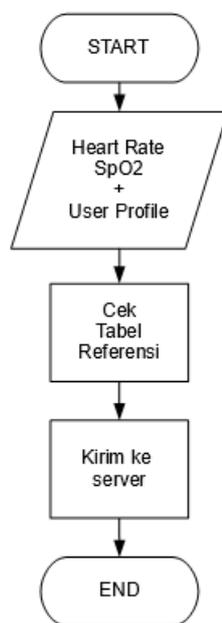
Gambar 7 menunjukkan diagram alir program perhitungan denyut jantung dan SpO₂ pada modul perangkat lunak Arduino Uno.



Gambar 7 Diagram Alir Program Perhitungan Denyut Jantung dan SpO₂ pada Arduino Uno

Modul perangkat lunak pada Raspberry Pi direalisasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman Phyton. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, modul ini terdiri dari dua buah program utama yaitu program *receiver* dan *analyzer*. Program *receiver* menerima data dari mikrokontroler melalui

serial USB dan meletakkannya pada antrian menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Data yang disimpan pada antrian ini dapat langsung dikirim ke server dan juga dapat diambil oleh program *analyzer* untuk dianalisis. Program *analyzer* berfungsi untuk melakukan *edge analysis (fog computing)* dengan algoritma seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 berikut. Nilai denyut jantung (*heart rate*) dan level SpO₂ dibaca dari antrian. Data *user profile* yaitu usia pasien didapatkan dari database pada Raspberry Pi. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan nilai denyut jantung dan level SpO₂ dengan tabel referensi. Proses selanjutnya adalah mengirimkan data analisis tersebut ke server.



Gambar 8 Diagram Alir Analisis *Fog Computing*

Database pada Raspberry Pi direalisasikan dengan menggunakan MySQL server. Berdasarkan acuan nilai normal *pediatric vital sign* pada *PALS Guidelines* [19], dibuat tabel database: tabel *user profile* dan tabel referensi denyut jantung seperti yang diperlihatkan pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2 *User Profile*

No.	Field Name	Type Data	Keterangan
1.	user_id	INT	Primary Key
2.	nama	VARCHAR(100)	
3.	tanggal_lahir	DATE	
4.	status	TINYINT	

Tabel 3 Referensi Denyut Jantung

No.	Field Name	Type Data	Keterangan
1.	ref_id	INT	Primary Key
2.	mulai_umur	INT	
3.	sampai_umur	INT	
4.	awake_rate_bawah	INT	
5.	awake_rate_atas	INT	
6.	sleeping_rate_bawah	INT	
7.	sleeping_rate_atas	INT	

Untuk nilai SpO₂ dibandingkan dengan sebuah nilai referensi sesuai acuan *PALS Guidelines* yaitu <92% dinyatakan tidak normal [19].

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Prototipe *portable medical device* yang telah direalisasikan (gambar 10) diuji terhadap jari orang dewasa seperti pada gambar 11.



Gambar 10 *Portable Medical Device* yang direalisasikan



Gambar 11 Pengujian *Portable Medical Device*

Pengujian sistem dilakukan dengan cara menguji keluaran dari setiap modul *portable medical device* yaitu keluaran dari modul sensor pada Arduino Uno, modul *receiver* dan modul *analyzer* pada Raspberry Pi. Dilakukan juga pengujian di *server*. Gambar 12 menunjukkan keluaran dari modul sensor yang dibaca dari data log mikrokontroler Arduino Uno. Terlihat bahwa modul sensor telah dapat membaca data RED dan IR dari buffer FIFO MAX30102 menggunakan protokol komunikasi I²C. Nilai denyut jantung (*heart rate*/HR) dan SpO₂ telah berhasil diolah oleh mikrokontroler.

```
File Edit Tabs Help
red=20379, ir=50406, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20436, ir=50568, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22152, ir=55618, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22123, ir=55513, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22066, ir=55348, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22005, ir=55148, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=21855, ir=54672, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=21312, ir=53044, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20760, ir=51445, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20537, ir=50811, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20357, ir=50308, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20325, ir=50229, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20379, ir=50406, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20436, ir=50568, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22152, ir=55618, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22123, ir=55513, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22066, ir=55348, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=22005, ir=55148, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=21855, ir=54672, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=21312, ir=53044, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20760, ir=51445, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20537, ir=50811, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20357, ir=50308, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
red=20325, ir=50229, HR=93, HRvalid=1, SP02=90, SP02Valid=1
```

Gambar 12 Keluaran Modul Sensor pada Arduino Uno

Selanjutnya adalah pengujian keluaran modul *receiver* pada Raspberry Pi. Hasil pengujian modul ini diperlihatkan pada gambar 13. Program *receiver* berhasil menerima data dari Arduino Uno melalui port serial USB dan meletakkannya pada antrian menggunakan protokol MQTT.

```
File Edit Tabs Help
[pi@raspberrypi]$ python mqttpub.py
Rx: HR: 88 | SP02: 97 ;
Rx: HR: 88 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 97 | SP02: 98 ;
Rx: HR: 96 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 88 | SP02: 97 ;
Rx: HR: 98 | SP02: 97 ;
Rx: HR: 100 | SP02: 92 ;
Rx: HR: 95 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 84 | SP02: 98 ;
Rx: HR: 84 | SP02: 98 ;
Rx: HR: 87 | SP02: 92 ;
Rx: HR: 85 | SP02: 98 ;
Rx: HR: 83 | SP02: 98 ;
Rx: HR: 87 | SP02: 95 ;
Rx: HR: 97 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 85 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 80 | SP02: 92 ;
Rx: HR: 80 | SP02: 93 ;
Rx: HR: 92 | SP02: 96 ;
Rx: HR: 81 | SP02: 94 ;
Rx: HR: 90 | SP02: 96 ;
```

Gambar 13 Keluaran Modul Receiver pada Raspberry Pi

Hasil pengujian modul *analyzer* pada Raspberry Pi ditunjukkan pada gambar 14. Modul *analyzer* berhasil mengambil data dari antrian (*queue*) dan melakukan analisis dengan cara membandingkannya terhadap tabel referensi nilai normal denyut jantung berdasarkan usia pasien yang dimasukkan pada database Raspberry Pi. Sedangkan nilai SpO₂ dibandingkan dengan sebuah nilai referensi sesuai acuan *PALS Guidelines* yaitu <92% dinyatakan tidak normal [19].

```
File Edit Tabs Help
[pi@raspberrypi]$ python mqttsub.py
Connected to broker
HR:84|SP02:96
Sent:200 2018-06-22 09:48:42
HR:84 (RENDAH)
SP02:96 (NORMAL)
HR:85|SP02:96
Sent:200 2018-06-22 09:48:43
HR:85 (RENDAH)
SP02:96 (NORMAL)
HR:95|SP02:95
Sent:200 2018-06-22 09:48:44
HR:95 (RENDAH)
SP02:95 (NORMAL)
HR:85|SP02:92
Sent:200 2018-06-22 09:48:45
HR:85 (RENDAH)
SP02:92 (NORMAL)
HR:80|SP02:94
Sent:200 2018-06-22 09:48:46
HR:80 (RENDAH)
SP02:94 (NORMAL)
HR:90|SP02:95
Sent:200 2018-06-22 09:48:47
HR:90 (RENDAH)
SP02:95 (NORMAL)
```

Gambar 14 Keluaran Modul Analyzer pada Raspberry Pi

Hasil analisis *fog computing* yang dilakukan Raspberry Pi telah berhasil dikirim ke server seperti yang diperlihatkan pada gambar 15. Terlihat pada log web server, data nilai denyut jantung dan SpO₂ beserta hasil analisisnya dapat diterima di server.

```
File Edit Tabs Help
%20NORMAL&spo2=94&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:18 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=80&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=98&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:19 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=80&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=96&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:20 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=97&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=97&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:21 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=88&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=98&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:22 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=82&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=95&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:23 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=97&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=97&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:24 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=88&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=93&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:25 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=100&statushr=NORMAL&spo2=93&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:26 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=94&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=92&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:27 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=82&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=97&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
127.0.0.1 - - [22/Jun/2018:09:59:28 +0700] "GET /pmd/receive.php?hr=94&statushr=DI%20BAWAH" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
%20NORMAL&spo2=94&statusspo2=NORMAL HTTP/1.1" 200 203 "-" "python-requests/2.9.1"
```

Gambar 15. Keluaran Server

V. KESIMPULAN

Prototipe *portable medical device* yang mampu mengambil data dari sensor pengukuran denyut jantung dan kadar saturasi oksigen dalam darah (SpO_2) telah berhasil direalisasikan. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa semua modul pada *portable medical device* telah berfungsi dengan baik dalam mengambil, mengolah, merekam dan menganalisa data denyut jantung dan SpO_2 dari sensor ke server. Aplikasi *fog computing* berupa analisis keadaan normal atau tidak normalnya kondisi pasien telah berhasil diimplementasikan pada Raspberry Pi dengan membandingkan nilai yang diperoleh dari modul sensor dengan tabel referensi yang dimasukkan pada database Raspberry Pi.

Untuk pengembangan lebih lanjut *portable medical device* ini dapat ditambahkan modul sensor pengukuran lainnya untuk keperluan aplikasi pelayanan kesehatan ibu dan anak, seperti: temperatur, laju pernafasan (*respiration rate*), tekanan darah, sinyal EKG, denyut jantung janin, kontraksi rahim, dan level glukosa darah. Apabila sistem ini akan diaplikasikan di industri kesehatan, diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan lebih memperhitungkan permasalahan akurasi sensor pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang mendukung penelitian ini khususnya pada Pusat Penelitian Universitas Mercu Buana atas dukungan dana untuk pengembangan sistem ini serta kepada dr Riyana Kadarsari SpOG dan dr. Agustina Kadaristiana, Msc. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim editorial Jurnal Teknologi Elektro yang telah menerbitkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ministry of National Development Planning, "Voluntary National Review (VNR)", Indonesian Ministry of National Development Planning, 2017.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 97 Tahun 2015, Peta Jalan Sistem Informasi Kesehatan Tahun 2015-2019, 2015

A. Ariani, A.P. Koesoema, and S. Soegijoko, "Innovative Healthcare Applications of ICT for Developing Countries," in *Innovative Healthcare Systems for the 21st Century*, Springer International Publishing, 2017, pp. 15-70.

D. Niewolny, "How the internet of things is revolutionizing healthcare," White paper, 2013, pp. 1-8.

S.M.R. Islam, D. Kwak, M.D.H. Kabir, M. Hossain, and K. Kwak, "The internet of things for health care: a comprehensive survey," *IEEE Access* 3, 2015, pp. 678-708.

Kadarina, T. M. and Priambodo, R. 2017. "Preliminary Design of Internet of Things (IoT) Application for Supporting Mother and Child Health Program in Indonesia", *International Conference on Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP 2017)*.

B. Nugraha, I. Ekasurya, G. Osman, and M. Alaydrus, "Analysis of Power Consumption Efficiency on Various IoT and Cloud-Based Wireless Health Monitoring Systems: A Survey," *International Journal of Information Technology and Computer Science*, May 2017.

L. Catarinucci, Danilo De Donno, Luca Mainetti, Luca Palano, Luigi Patrono, Maria Laura Stefanizzi, and Luciano Tarricone, "An IoT-Aware Architecture for Smart Healthcare Systems", *IEEE Internet of Things Journal*, 2015.

H. Dubey, Admir Monteiro, Constant, Mohammadreza Abtahi, Debanjan Borthakur, Leslie Mahler, Yan Sun, Qing Yang, Umer Akbar, and Kunal Mankodiya, *Fog Computing in Medical Internet-of-Things: Architecture, Implementation, and Applications*, Chapter in *Handbook of Large-Scale Distributed Computing in Smart Healthcare (2017)*, Springer International Publishing

P. P. Deshmukh, P. R. Indurkar, and D. M. Khatri, "Interfacing of Temperature Sensor with Raspberry- Pi based on IoT for Smart Health Care Kit," *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 4, Issue 6, June 2017

S. Holey and S. Bhosale, "Smart health care system using internet of things," *National Conference on "Internet of Things: Towards a Smart Future" & "Recent Trends in Electronics & Communication" (IOTTSF)*, 2016.

R. Kumar, M. P. Rajasekaran, "Raspberry Pi based patient health status observing method using Internet of Things," *International Conference on Current Research in Engineering Science and Technology (ICCREST)*, 2016.

S. S. Kale and D. S. Bhagwat, "Highly Secured IoT Based Health Care System for Elderly People using Body Sensor Network," *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, Vol. 5, Issue 10, October 2016.

M. Maksimović, V. Vujović, and B. Perišić, "A Custom Internet of Things Healthcare System," *10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2015)*, 2015

B. S. Rani and N. Venkatram, "Implementation of PHM System using IoT and Raspberry Pi", *International Journal of Control Theory and Applications*, Vol. 10, No. 35, 2017.

S. Sagar, D. Niranjana, V. Pandurang, and M. Dighe, "IoT Based HealthCare System Using Raspberry Pi", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 04, Issue 04, Apr 2017

I. Nikolaevskiy, D. Korzun, and A. Gurtov, "Security for Medical Sensor Networks in Mobile Health Systems," in *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM) 2014*, *IEEE 15th International Symposium on a*, pp. 1-6. *IEEE*, 2014.

Maxim Integrated, Data sheets MAX30102 : High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health, <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>

PALS Guidelines, <https://emergencymedicinescases.com/pals-guidelines/>, 2018

MaximIntegratedRefDesTeam, https://github.com/MaximIntegratedRefDesTeam/RD117_ARDUINO/, 2015