

## SISTEM MONITORING FREKUENSI DENYUT NADI PADA PELARI MENGUNAKAN METODE *PHOTOPLETHYSMOGRAPHIC*

Asih Setiarini<sup>\*1</sup>, Mahatma Widya Laksana<sup>2</sup>, Basuki Winarno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung

<sup>2,3</sup>Politeknik Negeri Madiun, Madiun

Email: <sup>1</sup>asih.s3009@gmail.com, <sup>2</sup>mahalakswi@gmail.com, <sup>3</sup>basuki@pnm.ac.id

\*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 10 Juli 2021, diterima untuk diterbitkan: 17 November 2021)

### Abstrak

Lari merupakan olahraga yang efektif untuk membakar kalori. Namun, olahraga ini mempunyai dampak negatif bagi pelari yang mampu memicu serangan jantung sehingga dibutuhkan alat kesehatan untuk mendeteksi frekuensi denyut nadi saat berlari. Tujuan penelitian ini merancang sistem monitoring frekuensi denyut nadi secara real time pada pelari dengan menggunakan *easily plugin pulse sensor* berbasis *photoplethysmographic*. Sensor tersebut terdiri atas transmitter dan receiver infrared yang dipasang pada ujung jari tengah yang mana melalui jaringan kulit mampu mendeteksi volume darah. Fitur buzzer digunakan sebagai alarm jika denyut jantung mencapai 170 Beat Per Minute (BPM). Alat ini juga dilengkapi dengan aplikasi Android yang memudahkan pihak lain memonitoring keadaan denyut nadi pelari. Bluetooth HC-05 sebagai modul komunikasi data antara Arduino dan Android. Alat yang dirancang memiliki error maksimum sebesar 0,73% berdasarkan data percobaan dari 5 partisipan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring frekuensi denyut nadi secara real time mampu mendeteksi serangan jantung saat berlari dan adanya fitur data logger digunakan untuk rekap medis keadaan frekuensi denyut jantung saat berlari tanpa menggunakan aplikasi smartphone Android.

**Kata kunci:** *easily plugin pulse sensor, beat per minute (BPM), photoplethysmographic, monitoring*

## ***RUNNER HEART BEAT MONITORING SYSTEM USING PHOTOPLETHYSMOGRAPHIC METHOD***

### Abstract

*Running is the most popular workout around the world, because the most accessible, the cheapest and organized sport. However, running is dangerous in people suffering from heart disease. Hence, the medical device to detect heart failure for runners is required. In this paper, a monitoring system and data logger for detecting heart pulse by using easily plugin pulse sensor heart beat and its implementation for runners is newly proposed. The proposed method of sensor to detect the heart beat by using Photoplethysmograph principle. The sensor consists of transmitter and receiver infrared through to skin tissue to detect the blood volume. Different to previous work, the proposed device can be real time to monitor runners while running and have alarm when their heart beat reach 170 BPM. This device is also equipped with an Android application that facilitate other parties to monitor the runner's heart beat. By using OMRON HEM-7203 as comparison devices, the rate error of measurement result is 0,086% within 5 participans. The proposed device is suitable for heart pulse monitoring system for runners in real time to reduce the heart attack while running.*

**Keywords:** *easily plugin pulse sensor, beat per minute (BPM), photoplethysmographic, monitoring*

### 1. PENDAHULUAN

Olahraga yang dilakukan secara teratur menjadi salah satu alternatif dalam menjaga kesehatan dan meningkatkan kebugaran tubuh. Lari merupakan olahraga yang terbilang murah dan bermanfaat untuk menjaga tubuh kita agar tetap sehat, menjaga kestabilan metabolisme, dan lebih cepat membakar

kalori sehingga mampu mengurangi kolesterol yang menyumbat pada pembuluh jantung. Ironisnya banyak kasus kematian olahragawan saat melakukan olahraga lari yang diakibatkan oleh serangan jantung. Seperti kasus kematian pelari marathon asal Jepang Atsushi Ono saat melakukan lari marathon di Bali (Aditya Mardiasuti, 2019), pelari electric marathon Jakarta meninggal saat melakukan lari marathon di

kilometer ketiga (Damianus Andreas, 2018) dan masih banyak kasus pelari yang meninggal saat melakukan olahraga lari. Bagi pelari yang tidak mengetahui kondisi kesehatan jantungnya berpotensi mengalami serangan jantung akibat frekuensi denyut nadi yang tidak beraturan.

Frekuensi denyut nadi dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu aktivitas, ion kalsium, kadar CO<sub>2</sub>, acetylcolin, adrenalin, atropin dan nikotin, morphin, suhu tubuh, berat badan, dan usia. Aktivitas yang tinggi menyebabkan denyut nadi lebih cepat. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan perempuan normal dengan berat badan 55 kg adalah 75 BPM, laki-laki perokok dengan berat badan 48 kg memiliki denyut nadi 109 BPM. Nikotin juga berpengaruh dalam kerja jantung, nikotin dapat memacu kerja jantung. Laki-laki yang berlari selama 10 menit dengan berat 45 kg memiliki denyut nadi 121 BPM. Menurut Kay (1998) jenis kelamin juga mempengaruhi frekuensi denyut nadi seseorang. Jenis kelamin laki-laki akan mempunyai denyut nadi yang lebih tinggi daripada denyut nadi perempuan. Denyut nadi yang dimiliki oleh laki-laki normal dengan berat badan 89 kg sebesar 80 BPM dan laki-laki dengan berat badan 53 kg memiliki denyut nadi 91 BPM, sedangkan perempuan dengan berat badan 39 kg yang sedang melakukan olahraga naik turun tangga memiliki denyut nadi sebesar 114 BPM, serta perempuan dengan berat badan 66 kg memiliki denyut nadi sebesar 115/menit. Sydo et. al (2014) juga telah melakukan penelitian pada sejumlah orang yang berusia 40-89 tahun bahwa terdapat perbedaan frekuensi denyut nadi bagi perempuan dan laki-laki saat melakukan aktivitas olahraga dengan menggunakan formula  $221-0.95xumur$  bagi pria dan  $210-0.79xumur$  bagi perempuan. Berdasarkan usia, frekuensi denyut nadi istirahat anak-anak lebih cepat dibandingkan orang dewasa, anak-anak memiliki frekuensi denyut nadi istirahat rata-rata 80-140 BPM sedangkan orang dewasa 60-100 BPM (Sandi, 2016).

Namun bagi yang memiliki masalah pada kesehatan jantung, maka akan mengalami ketidak teraturan frekuensi denyut nadi, yaitu keadaan denyut nadi yang menurun drastis (bradikardia), meningkat (takikardia), atau berhenti sesaat (Albert, 2017), (Page & Joglar, 2016). Keadaan irama jantung yang tidak menentu ini disebut dengan aritmia jantung. Bradikardia merupakan frekuensi denyut nadi yang kurang dari 60 BPM, sedangkan takikardia adalah peningkatan frekuensi denyut nadi sampai melebihi 120 BPM (Sandi, 2016). Takikardia mampu menyebabkan palpitasi serta sesak nafas dan untuk kasus yang ekstrim dapat terjadi kegagalan sirkulasi darah. Hal tersebut membutuhkan pemantauan dan pemeriksaan terhadap jantung secara berkala. Pemantauan secara menyeluruh keadaan detak jantung pelari dapat meminimalisir serangan jantung mendadak pada pelari. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat yang dapat memonitoring frekuensi

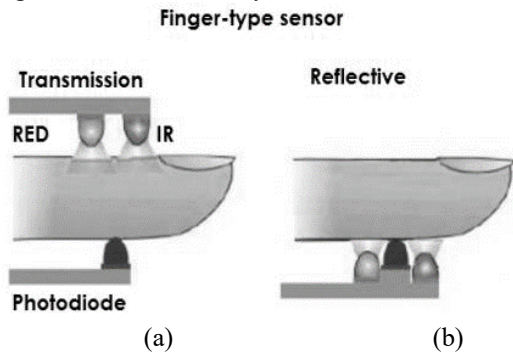
denyut nadi secara kontinyu saat melakukan olah raga lari.

Banyak peneliti mengembangkan metode pengukuran denyut nadi yaitu dengan menggunakan *Electrocardiograph* (ECG) (Ravish, et al., 2014), pengukuran denyut jantung secara *real-time* dengan menggunakan komputer yang berdasarkan dari struktur perulangan pada kurva QRS (Rashima & Dipali, 2015), dengan menggunakan metode *Photoplethysmographic* (Amerald, et al., 2015), (Ates & Polat, 2012), PPG untuk pendeteksian dini irama jantung yang mampu mencegah terjadinya stroke (Pereira, T., et. Al, 2020), dan Yossef, A., et. al, 2020 juga mengembangkan PPG untuk memonitoring denyut jantung bayi sehingga bisa mendeteksi posisi bayi berada. Sinyal biomedis ECG dan *Photoplethysmographic* dapat memberikan informasi perihal kesehatan organ manusia (Maulana & Putri, 2018) terutama perihal kesehatan jantung manusia. Pada penelitian ini menggunakan prinsip *photopethysmographic* untuk mendeteksi frekuensi denyut nadi. *Photoplethysmography* (PPG) merupakan teknik pengukuran *non-invasive* berbasis cahaya yang digunakan untuk memonitoring aktivitas cardiovascular berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh fluktuasi darah pada jaringan sehingga mampu memberikan informasi frekuensi denyut nadi. Gambar 1 menunjukkan dua model sensor PPG (a) cahaya yang dipancarkan dari *light emitting diode* (LED) diterima oleh *photodiode* (PD) yang ditempatkan secara berlawanan. Sedangkan pada Gambar 1 (b) cahaya yang dipancarkan oleh LED menyebar melalui jaringan pada jari manusia dan PD menangkap refleksi cahaya yang menyebar melalui jaringan.

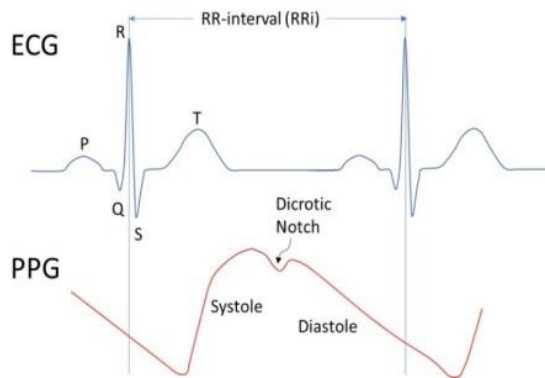
Intensitas cahaya yang diterima oleh PD dipengaruhi oleh volume darah, gerakan pada dinding pembuluh darah, dan orientasi sel darah merah. Semakin besar volume di dalam pembuluh maka semakin menghambat penyebaran cahaya yang mengakibatkan semakin kecil intensitas cahaya yang diterima oleh PD. Perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh PD maka menghasilkan sebuah sinyal yang kemudian disebut dengan sinyal PPG. Gambar 2 menunjukkan pola sinyal PPG. Gelombang pada sinyal PPG merepresentasikan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh PD. PPG mampu mengukur elektrokardiogram (EKG) dengan akurasi 99%, bahkan saat bersepeda pada kecepatan hingga 24 kmph.

Dalam penelitian ini merancang sistem monitoring frekuensi denyut nadi pelari secara *real time* yang relatif lebih murah dibandingkan dengan *smart watch* yang ada dipasaran dan alat ini memiliki kelebihan adanya fitur *data logger* dan aplikasi Android yang mampu menampilkan data denyut nadi secara real time dalam bentuk grafik yang dapat disimpan, sehingga mampu menampilkan data denyut nadi saat berlari yang nantinya digunakan untuk peninjauan kesehatan jantung bagi pelari

tersebut. Sistem ini menggunakan *Easy Plugin Pulse Sensor Heart Beat* sebagai pendeteksi detak jantung yang dipasang pada jari. Sensor tersebut menggunakan metode *photoplethysmograph* untuk pengukuran frekuensi denyut nadi.



Gambar 1. Dua model sensor PPG



Gambar 2. Pola sinyal PPG dan ECG yang bersesuaian

Desain alat dibuat praktis dan mudah untuk digunakan oleh pelari dan adanya fitur *alarm* bisa memudahkan pelari memantau frekuensi denyut nadi jika melebihi *set point* denyut nadi yang telah ditentukan. Selain itu, dilengkapi dengan aplikasi Android untuk memudahkan pemantauan keadaan denyut nadi pelari secara *real time* oleh pelatih. Sistem *data logger* dapat digunakan untuk memantau *history* keadaan frekuensi denyut jantung selama berlari atau melakukan aktivitas olahraga lain tanpa terhubung dengan aplikasi Android. Perancangan alat ini bertujuan agar dapat memantau frekuensi denyut nadi secara *real time* sehingga mampu mendeteksi lebih dini serangan jantung mendadak pada pelari. Adanya fitur data logger juga menjadi inovasi dalam pembuatan alat ini karena pada smartwatch yang ada dipasaran mampu memonitoring frekuensi denyut nadi setiap waktu jika terhubung dengan aplikasi smartphone Android.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan tahapan sebagai berikut: Melakukan observasi terhadap permasalahan yang ada dengan cara membaca literatur berupa jurnal, prosiding, majalah, dan *website*. Mengidentifikasi

masalah yang akan diteliti dengan membuat kerangka teoritik, sehingga didapatkan hipotesis dari penelitian. Melakukan rancangan penelitian yang dibagi menjadi dua, yaitu: perancangan perangkat keras (*hardware*) dan aplikasi monitoring dengan menggunakan Android (*software*). Melakukan penggabungan sistem antara perangkat keras dan lunak. Melakukan pengujian terhadap masing-masing sub sistem dan sistem keseluruhan. Kemudian pengumpulan data pengujian serta melakukan analisis data pengujian sehingga didapatkan suatu kesimpulan

### 2.1. Studi Literatur

Kajian terkait dalam penelitian ini yaitu observasi masalah yang ada, sehingga menjadi latar belakang dalam melakukan penelitian ini. Serangan jantung pada pelari saat melakukan olahraga lari menjadi latar belakang dalam pembuatan sistem monitoring denyut nadi pelari. Studi literatur dengan membaca jurnal, artikel pada website maupun prosiding agar mampu menemukan keterbaruan dalam penelitian. Keterbaruan pada penelitian ini adalah menyediakan sistem *data logger* untuk menyimpan hasil rekap denyut nadi pelari saat melakukan lari dan membuat perangkat monitoring denyut nadi yang relatif lebih murah dibandingkan dengan perangkat monitoring denyut nadi saat lari yang ada dipasaran seperti smart watch. Ukuran alat yang lebih kecil dan sensor deteksi denyut nadi yang lebih stabil dengan gerakan menjadi pengembangan selanjutnya untuk penelitian ini. Langkah selanjutnya dalam studi literatur adalah penentuan spesifikasi alat.

### 2.2. Perancangan Alat

Prinsip kerja sistem monitoring denyut nadi pelari dengan menggunakan metode PPG berbasis Android di tunjukkan dalam Gambar 3. Dalam Gambar 3(a) menunjukkan bahwa *Easy Plugin Pulse Sensor Heart Beat* merupakan komponen utama dalam pembuatan desain perangkat keras ini dengan menggunakan metode PPG. Transmisi dan reflektansi merupakan dua jenis metode PPG. *Easy plugin pulse heart beat sensor* menggunakan pendekatan *reflectance* yang ditunjukkan dalam Gambar 1 (b). Sensor pulse tersebut digunakan untuk membaca volume darah pada ujung jari. Perubahan volume darah sinkron dengan perubahan denyut nadi, sehingga teknik ini bisa digunakan untuk menghitung denyut nadi dan mengubahnya ke dalam bentuk sinyal PPG berdasarkan informasi sistolik dan diastolik. *Easy Pulse sensor* membaca volume darah dengan prinsip PPG dan mengeluarkan output tegangan yang akan diproses oleh *driver sensor*. Keluaran dari *driver sensor* sebagai masukan *pin analog input* pada Arduino Nano seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3(b). Arduino Nano 328

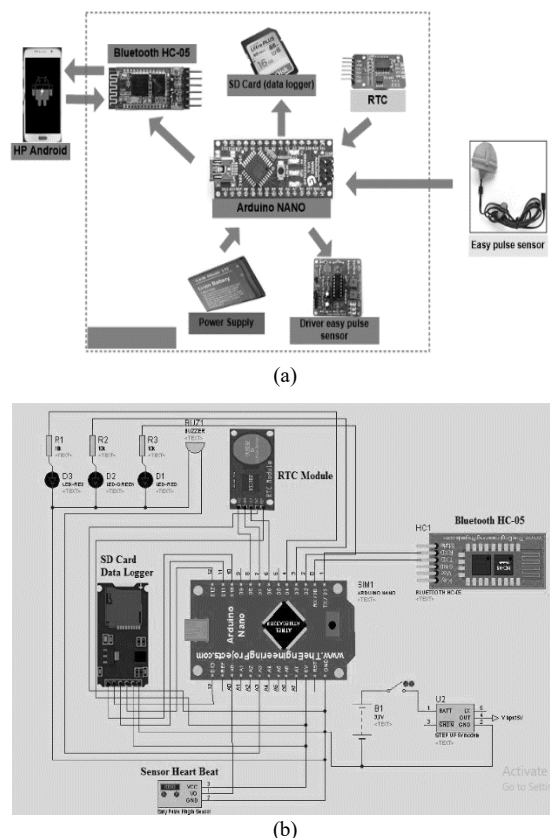
mengolah tegangan keluaran sensor dan mengubah ke dalam bentuk BPM. Konversi dari sinyal PPG ke BPM akan dijelaskan pada sub bab 2.4. Selain sebagai pengolah data keluaran sensor, pemilihan Arduino Nano 328 untuk mengurangi dimensi alat. Penelitian ini juga menggunakan modul *Real Time Clock* (RTC) untuk mengirim informasi data waktu pada Arduino sehingga sistem dapat memberikan informasi denyut nadi secara real time. Data BPM digabung dengan *Real Time Clock* dikirim ke data logger dan perangkat android setiap 1 detik, jika BPM tidak terdeteksi, maka akan ditampilkan data BPM terakhir. Pada komunikasi dengan perangkat android, sistem ini menggunakan komunikasi serial *wireless* dengan modul Bluetooth HC-05. Pada saat pengiriman data terdapat indikator *buzzer* yang menyarankan pengguna beristirahat atau menghentikan olahraga lari ketika BPM melebihi dari set point yang telah ditentukan. Menurut Sydo, et. al (2014), frekuensi denyut nadi saat beraktivitas olahraga sebesar 220-0.95usia, sehingga untuk menghindari kenaikan drastic frekuensi denyut nadi pelari, pada penelitian ini menggunakan *set point* denyut nadi adalah 170 BPM. Buzzer akan aktif jika frekuensi denyut nadi lebih besar daripada 170 BPM selama 5 detik. *SD card data logger* sangat berguna ketika koneksi antara sistem dengan perangkat android terputus, sehingga data yang hilang masih tetap tersimpan di *data logger*. Bluetooth digunakan sebagai komunikasi serial untuk mengirim data dari sensor ke Android. Modul *SD card data logger* sebagai penyimpan kumpulan data frekuensi denyut nadi dari keluaran sensor. Setelah itu, data akan dikirim melalui Bluetooth pada perangkat Android dan disimpan pada *SD Card Data Logger* untuk mengetahui *history* atau rekam medis frekuensi denyut jantung selama berlari. Gambar 4 menunjukkan penempatan perangkat keras pada tubuh manusia. Perancangan perangkat keras terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang dipasang pada lengan dan jari telunjuk pelari, sedangkan bagian yang lain merupakan handphone Android yang terpasang aplikasi monitoring yang digunakan oleh pelatih atau keluarga untuk memantau keadaan jantung pelari saat melakukan lari.

### 2.3. Perancangan Aplikasi Android

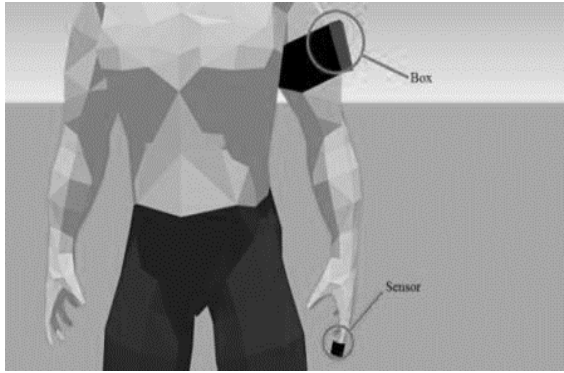
Desain aplikasi sistem monitoring dan data logger yang terpasang pada perangkat *smartphone* Android menggunakan software MIT App Inventor. *App Inventor* merupakan aplikasi perangkat lunak untuk sistem operasi Android. *App Inventor* menggunakan antar muka grafis yang memungkinkan pengguna untuk *drag-and-drop* sebuah objek visual untuk menciptakan aplikasi yang dapat berjalan pada sistem Spesifikasi OS Android yang mampu menggunakan aplikasi ini minimal Android versi 4.1 *Jelly Bean*. Aplikasi ini terdiri atas tiga menu yaitu menu utama, menu hasil yang menampilkan data grafik frekuensi denyut nadi dan menu history yaitu

menampilkan rekam medis dari keadaan jantung berdasarkan frekuensi denyut nadi yang ditunjukkan dalam Gambar 5 sampai dengan Gambar 7 secara berurutan. Menu utama merupakan menu register yang berisi informasi username untuk pelari yang akan dipantau frekuensi denyut nadi Gambar 6 menu untuk menampilkan frekuensi denyut nadi (BPM) dalam bentuk informasi grafis. Keterangan menu kedua ini sebagai berikut; (1) digunakan untuk menemukan koneksi *bluetooth* pada alat yang akan dikomunikasikan secara serial *dengan smartphone*, (2) merupakan tombol untuk menghubungkan *bluetooth* setelah pencarian perangkat, (3) Canvas dalam menu ini digunakan untuk memunculkan grafik BPM, (4) bagian ini akan menampilkan jumlah detak nadi yang terbaca oleh sensor, (5) tombol ON dalam menu ini berfungsi sebagai indikator bluetooth aktif, (6) label (Silakan Lari/Berhenti Lari) digunakan untuk memberikan pesan peringatan pada pelari, (7) tombol *power off* dalam menu ini berfungsi untuk keluar dari aplikasi, dan (8) history dalam menu ini berfungsi untuk menampilkan rekam denyut nadi pengguna. Rekam denyut nadi pelari yang melakukan olahraga lari ditunjukkan dalam Gambar 7 yang merupakan menu data logger.

Gambar 8 menunjukkan diagram alir dari aplikasi sistem monitoring dan *data logger* frekuensi denyut nadi pada pelari. Prinsip kerja dari aplikasi ini dimulai dengan memasukkan nama pengguna yang



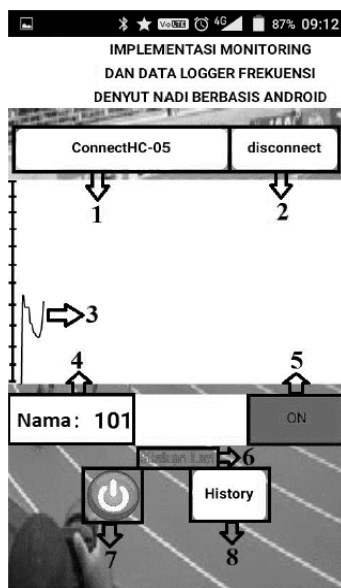
Gambar 3. (a) Diagram blok sistem; (b) Konfigurasi Pin



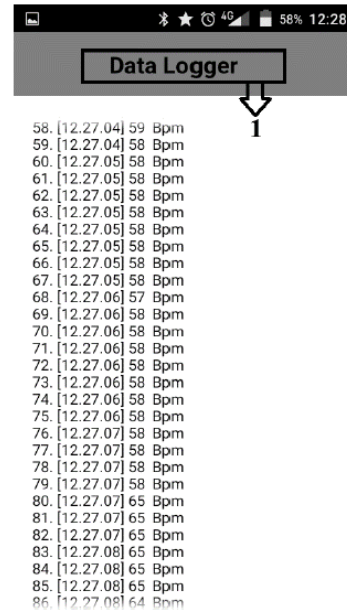
Gambar 4. Aplikasi Alat



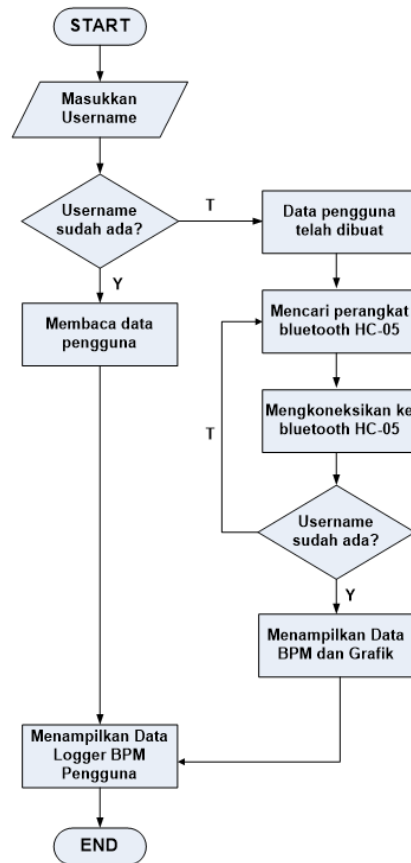
Gambar 5. Perancangan Menu Utama Aplikasi Android Sistem Monitoring



Gambar 6. Menu BPM



Gambar 7. Menu Data Logger



Gambar 8. Diagram alir sistem

akan dibuat, jika nama pengguna sudah ada maka aplikasi akan membaca data pengguna yang sudah ada, namun jika tidak maka membuat data pengguna baru. Kemudian melakukan pencarian perangkat bluetooth HC-05 dan menekan tombol *connect bluetooth* maka hardware akan mengirim data BPM dan menampilkan grafik denyut nadi pengguna pada



smartphone Android. Jika tombol *history* ditekan maka akan menampilkan data logger pengguna.

#### 2.4. Perhitungan Denyut Nadi dengan Menggunakan Metode PPG

Dalam Gambar 2 menunjukkan perbedaan grafik antara ECG dan PPG, namun memiliki R-R interval yang sama, sehingga sinyal PPG dapat dikonversi ke dalam BPM. Secara garis besar, menghitung denyut nadi membutuhkan *thresholding* sinyal untuk mengetahui waktu antara yang disebut dengan *inter beat interval* (IBI). Ketika sinyal turun melewati *set point* maka *counter* akan berjalan, kemudian jika sinyal melewati *set point* lagi, maka *counter* akan berhenti. Sehingga didapatkan data *counter* sebagai periode sinyal denyut nadi. Selanjutnya, IBI yang didapat merupakan variabel untuk menghitung BPM yang ditunjukkan dalam persamaan (1).

$$\text{BPM (Beat Per Minute)} = \frac{60000\text{ms}}{\text{IBI}} \quad (1)$$

*Easy plugin pulse heart beat sensor* mampu merespon perubahan relatif dalam intensitas cahaya saat fase sistolik dan diastolik, jika jumlah cahaya pada sensor tetap konstan, maka sinyal akan tetap pada nilai 512 (nilai tengah ADC) yang menjadi nilai ambang (*threshold*) untuk menentukan waktu ambang atau biasa disebut dengan IBI (*inter beat interval*). Jika cahaya menurun, maka cahaya dari LED pada sensor akan dipantulkan kembali ke sensor, kemudian berubah selama setiap pulsa.

Sensor ini dirancang untuk mengukur IBI dengan menentukan waktu antara ketika sinyal memotong 50% dari amplitudo gelombang sampai sinyal PPG mengalami kenaikan. BPM diperoleh rata-rata 10 kali IBI sebelumnya. Selanjutnya menentukan waktu sampling, menentukan nilai BPM akan menghabiskan waktu yang lama jika dihitung selama satu menit, maka pada penelitian ini akan menghitung BPM setiap 2 ms. Setiap 2 ms mengambil pembacaan analog dari sensor. Untuk membuat program Arduino diperlukan *sampleCounter* variabel untuk melacak waktu, sedangkan variabel *N* digunakan untuk menghindari *noise* dan *lastBeatTime* variabel digunakan untuk menghitung IBI. Berikut adalah *listing program* Arduino untuk pembacaan denyut nadi setiap 2 ms dengan frekuensi sampling 500 Hz;

```
sampleCounter += 2;
int N = sampleCounter - lastBeatTime;
```

Pada penelitian ini, untuk menghindari *noise* saat frekuensi tinggi dan pembacaan salah pada takik dikroitik maka nilai *N* sebesar 250 ms dan batas atas frekuensi denyut nadi sesuai dengan anjuran pihak medis adalah 170 BPM. Ketika gelombang naik melebihi nilai ambang dan telah melewati 3/5 dari IBI

maka beat terbentuk. Kemudian menghitung waktu beat terakhir untuk mendapatkan IBI. BPM berasal dari rata-rata 10 kali nilai IBI sebelumnya dan dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

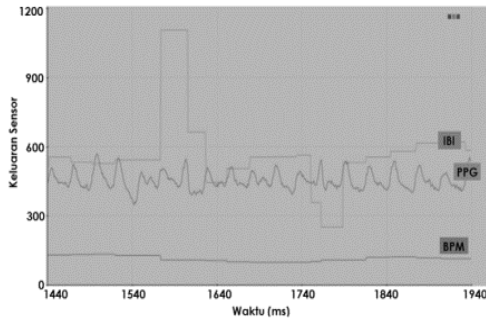
#### 3.1. Hasil Pengujian

Pengujian perangkat keras pada *data logger* Monitoring Frekuensi Denyut Nadi Pelari meliputi pengujian *sensor easy plugin pulse heart beat*, pengujian koneksi Bluetooth HC-05, dan pengujian sub-sistem serta pengujian sistem keseluruhan. Sedangkan pengujian pada aplikasi Android meliputi pengujian menu utama, pengujian data grafik pada aplikasi Android, dan *data history*.

Sensor *easy plugin pulse heart beat* merupakan bagian yang penting dalam alat ini karena berfungsi untuk mengukur detak jantung dengan menggunakan metode PPG (*Photoplethysmograph*), yaitu mendeteksi volume darah pada ujung jari tangan. Langkah pengujian sensor *easy plugin pulse heart beat* adalah dengan memberikan perintah program untuk mengetahui sensor bisa berkerja atau tidak. Gambar 9 menunjukkan hasil dari pengujian sensor berupa sinyal *Photoplethysmograph*. Berdasarkan Gambar 9, BPM (*Beat Per Minute*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1), *Photoplethysmograph* (PPG) merupakan hasil pembacaan sensor terhadap volume darah, sedangkan IBI (*InterBeat Interval*) merupakan jarak antara puncak dengan satuan waktu (ms).

Pengujian koneksi modul Bluetooth HC-05 untuk mengetahui komunikasi antara Arduino dengan smartphone melalui Bluetooth (Indartono, K. & Jahir, A., 2018). Langkah pertama adalah dengan mengaktifkan *bluetooth* pada *smartphone*. Smartphone akan melakukan pemindaian pemindaian koneksi, apabila smartphone Android telah menemukan koneksi bluetooth yang dicari dalam modul Bluetooth HC-05 maka akan dilakukan pemasangan atau penyandingan antara smartphone dengan modul Bluetooth HC-05.

Pengujian selanjutnya adalah dengan mengirim data angka BPM kepada perangkat Android. Kekurangan dari komunikasi *Bluetooth* ini adalah jarak maksimal 100 m. Sehingga aplikasi Android ini hanya bisa digunakan untuk memantau pelari yang menggunakan alat tersebut maksimal pada jarak 100 m. Jarak tersebut masih dapat dijangkau jika pelari melakukan olahraga di lapangan lari. Hasil pengujian model Bluetooth HC-05 ditunjukkan dalam Gambar 10 (b).

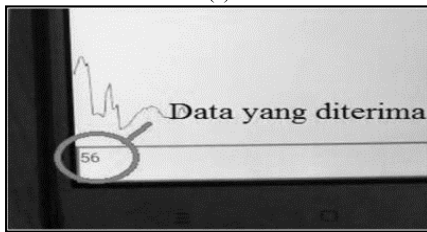


Gambar 9. Hasil dari pengujian sensor *Easy Plugin Pulse Sensor Heart Beat* berupa sinyal *Photoplethysmograph*

```
// the setup function runs once when you press reset or power
void setup() {
  // initialize digital pin 13 as an output.
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  Serial.print("56");
}
```

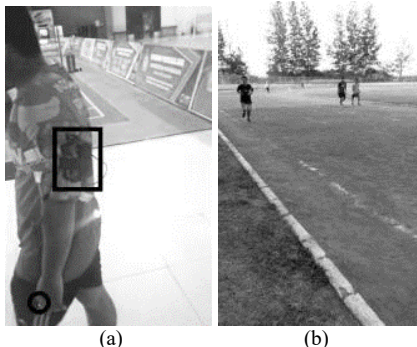
(a)



(b)

Gambar 10. (a) *Listing program* pengujian Bluetooth HC-05 (b) Hasil pengujian Bluetooth HC-05

Pengujian pada keseluruhan sistem dilakukan sesuai dengan keadaan sebenarnya. Terdapat lima partisipan yang akan dipantau frekuensi denyut nadinya. Kelima partisipan tersebut diambil data frekuensi denyut nadi sebelum lari dan setelah lari. Kelima partisipan adalah laki-laki dengan umur 20-25 tahun, alat ditempatkan pada lengan kiri dan sensor ditempatkan pada telunjuk kiri, serta pengukuran dilakukan saat berlari sedangkan untuk pengukuran dengan menggunakan OMRON HEM-7203 dilakukan saat berdiri di lengan bagian kiri. Penempatan alat dan sensor pada pelari ditunjukkan dalam Gambar 11 (a). Tabel 1 merupakan hasil pengujian keseluruhan sistem perangkat keras. Hasil dari pengujian ini kemudian dibandingkan dengan alat medis pengukur frekuensi denyut nadi OMRON HEM-7203.



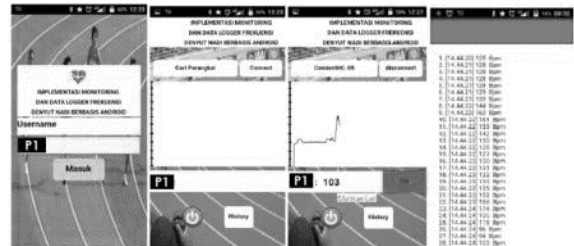
(a)

(b)

Gambar 11. (a) Pemasangan sensor (b) pengujian alat pada pelari

Gambar 11 (a) menunjukkan *Box* terpasang pada bagian lengan atas dan sensor pada jari. Gambar 8 (b) menunjukkan pengujian alat ketika digunakan oleh pelari.

Pengujian aplikasi Android meliputi pengujian menu utama aplikasi, yang mana terdapat menu *username* dan masuk, dilakukan proses memasukkan *username* untuk membuat akun pengguna baru atau membaca data pengguna. Pada pengujian Menu kedua aplikasi terdapat menu cari perangkat, *connect bluetooth*, BPM pengguna, grafik, indikator on/off *bluetooth*, *notice*, *button close application*, *history*. Hasil pengujian menu-menu pada aplikasi Android ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Pengujian Aplikasi Android pada (a) menu utama (b), (c) menu data grafik bpm pelari (d) menu history data logger bpm pelari

### 3.2. Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian berdasarkan data hasil pengujian perangkat keras dan aplikasi Android yang telah dijelaskan sebelumnya adalah sistem perangkat keras dan aplikasi Android telah berhasil diujicobakan. Hasil pengujian sensor *Easy Plugin Pulse Sensor Heart Beat* ditunjukkan pada Gambar 6. Dari hasil pengujian sensor tersebut dapat dinyatakan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik karena dapat menampilkan BPM, IBI dan Sinyal *Photoplethysmograph*. Gambar 7 (b) menunjukkan bahwa *Bluetooth HC-05* dapat mengirim data ke android berupa angka yang telah diprogram pada Gambar 7 (a). Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem perangkat keras telah berhasil diujicobakan pada pelari yaitu mampu memonitoring denyut nadi secara *real time*. Terdapat perbedaan antara frekuensi denyut nadi sebelum dan sesudah berlari. Hanya saja dalam pengujian ini frekuensi denyut nadi partisipan masih dibatas normal sehingga buzzer untuk indikator frekuensi denyut nadi di atas 170 bpm tidak berbunyi.

Gambar 12 (c) dan (d) menunjukkan data BPM pengguna berhasil ditampilkan dalam bentuk grafik, jika  $BPM < 170$  maka ada pemberitahuan "silahkan lari" dan jika  $BPM > 170$  maka ada pemberitahuan "silahkan berhenti." Hasil pengujian menu-menu yang terdapat pada aplikasi Android ditunjukkan dalam Gambar 12.

Untuk mengetahui tingkat keakurasian alat, maka frekuensi denyut nadi pelari ini juga dibandingkan dengan menggunakan alat pengukur frekuensi denyut nadi yang sudah tersertifikasi yaitu dengan menggunakan OMRON HEM-7203. Pemilihan alat pengukur denyut nadi OMRON HEM-

7203 merupakan alat yang direkomendasikan pihak medis serta telah diujikan keakuratan dengan pengukur denyut nadi analog, selain itu alat ini relatif lebih murah daripada menggunakan *smartwatch* untuk perbandingan BPM. Hasil perbandingan tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1. Perhitungan nilai error alat ditunjukkan dalam Persamaan (2). Gambar 13 menunjukkan perbandingan hasil pembacaan sensor dengan alat medis OMRON HEM-7203.

Tabel 1. Perbandingan Frekuensi Denyut Nadi Pelari Antara Alat yang Dirancang dengan OMRON HEM-7203

nama	hasil OMRON HEM-7203		hasil pengujian alat		error (%)
	sebelum lari	sesudah lari	sebelum lari	sesudah lari	
	Partisipan1	90	138	90	
Partisipan2	84	169	84	169	0
Partisipan3	79	140	79	140	0
Partisipan4	82	137	82	136	0.73
Partisipan5	90	148	90	148	0

$$\varepsilon = \left| \frac{\text{data acuan} - \text{data percobaan}}{\text{data acuan}} \times 100\% \right| \quad (2)$$

$$\varepsilon = \left| \frac{137 - 136}{137} \times 100\% \right|$$

$$= 0.73\%$$



Gambar 3. Perbandingan hasil pembacaan sensor dengan alat medis OMRON HEM-7203

Berdasarkan Tabel 1, sistem *monitoring* dan data *logger* frekuensi denyut nadi sudah layak digunakan secara umum karena hasil yang didapatkan sama dengan alat medis OMRON HEM-7203 hanya data denyut nadi setelah pada partisipan4 terdapat perbedaan sebesar 1 BPM. Kendala dalam pengujian alat adalah posisi sensor yang berada diujung jari sering bergeser karena hentakan dan pergerakan tangan ketika berlari karena kejadian tersebut sensor akan membaca ulang kembali denyut nadi dari awal. Saat sensor membaca data dari awal maka akan mengurangi tingkat keakuratan sistem.

#### 4. KESIMPULAN

Sistem monitoring frekuensi denyut nadi secara real time pada pelari menggunakan metode *photoplethysmographic* berbasis Arduino telah berhasil dirancang. Metode *photoplethysmographic* mampu memberikan hasil yang akurat walaupun pengujian dilakukan dalam keadaan bergerak. Sistem

ini dilengkapi dengan fitur *data logger* yang berfungsi sebagai rekap medis frekuensi denyut nadi saat berlari. Adanya fitur *alarm* untuk frekuensi denyut nadi di atas 170 BPM membuat alat ini mampu mendeteksi serangan jantung lebih dini. Aplikasi Android memudahkan pelatih untuk memantau frekuensi denyut nadi pelari. Sedangkan untuk kedepannya dalam pengembangan alat ini dilengkapi dengan *accelerometer* yang dapat mendeteksi kecepatan pelari, selain itu perlu dikembangkan sensor tekanan denyut jantung yang terintegrasi dengan rangkaian pengkondisi sinyal pada satu chip, sehingga dimensi dari alat dibuat lebih kecil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ANDREAS, D., 2018. Satu Pelari Electric Jakarta Marathon Tewas, Diduga Sakit Jantung. Tersedia di: <<https://tirto.id/c8KC>> [Diakses 1 April 2020]
- ALBERT, G.B., LINDA, M.E., FONS, S., RONALD, M.A., HELMA, H.D., LUKAS, D., 2017. Detecting Episodes of Brady and Tachycardia Using Photo-plethysmography at the Wrist in Free-living Conditions. *Computing in Cardiology*, 13, p.1-4.
- AMELARD, R., SCHARFENBERGER, C., KAZEMZADEH, F., KAYLEN, J.P., LIN, I.S., CLAUSI, D.A., WONG, A., 2015. Feasibility of Long-Distance Heart Rate Monitoring Using Transmittance Photoplethysmographic Imaging (PPGI). *Nature Scientific Reports*, 5, p.1-12.
- ATES, G., POLAT, K., 2012. Measuring of Oxygen Saturation Using Pulse Oximeter Based on Fuzzy Logic. *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings*, p.1-6.
- MARDIASTUTI, A., 2019. Diduga Serangan Jantung, Pelari Marathon asal Jepang Meninggal di Bali. Tersedia di: <<https://news.detik.com/berita/d-4698095/diduga-serangan-jantung-pelari-marathon-asal-jepang-meninggal-di-bali>> [Diakses 1 April 2020]
- MAULANA, R., PUTRI, R.R.M., 2018. Pengkondisian Sinyal Electromyography sebagai Identifikasi Jenis Gerakan Lengan Manusia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, 5(3), p. 297-304.
- INDARTONO, K., JAHIR, A., 2018. Prototype Sistem Keamanan Mobil dengan Menggunakan Quick Response Code Berbasis Android dan Arduino. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, 6(3), p. 235-244
- KAY, I., 1998. *Introduction to Animal Physiology*. Bios Scientific Publisher Limited. USA



- PAGE, R.L., JOGLAR, Et al., 2016. ACC/AHA/HRS guidelines for the management of adult patients with supraventricular tachycardia. *Heart Rhythm*, 13, p.136-221.
- PEREIRA, T., TRAN, N., GODHOUMI, K., et. al., 2020. Photoplethysmography Based Atrial Fibrillation Detection: a review, *NPJ Digital Medicine*, 3(3).
- RASHIMA, M., DIPALI, B., 2015. Identification of Heart Beat Abnormality using Hear Rate and Power Spectral Analysis of ECG, 2015. *International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations*, p. 131-135.
- RAVISH, D.K, NAVAYA, R.S, SHANTHI, K.J, NISARGH, S., 2014. Heart Function Monitoring, Prediction and Prevention of Heart Attacks: Using Artificial Neural Networks, *International Conference on Contemporary Computing and Informatics*, p. 1-6.
- SANDI, I.N., 2016. Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Frekuensi Denyut Nadi. *Sport and Fitness Journal*, 4, p.1-6.
- SYDO, N., ABDELMONEIM, S.S., MULVAGH, S.L., MERKELY, B., GULATI, M., ALLISON, T.G., Relationship Between Exercise Heart Rate and Age in Men vs Women. *Mayo Clinic Proceedings*, 89, p.1664-1672.
- YOUSSEF, ALI., WASSERMAN, L., BIERNOT, SVENJA., et.al, 2020. An Approach Towards Motion-Tolerant PPG-Based Algorithm for Real-Time Heart Rate Monitoring of Moving Pigs, *Sensors* 2020, 20 (15), p.4251-4265.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*