

Alat Deteksi Detak Jantung Pada Atlet Maraton Menggunakan Raspberry Pi 3B

Muhammad Irfan Pure, Alfian Ma'arif*, Anton Yudhana

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

*Corresponding author, alfianmaarif@ee.uad.ac.id

Abstrak

Jantung adalah organ vital manusia yang berperan penting dalam kehidupan seseorang. Jantung berfungsi untuk memompa darah ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah. Pada ajang lari maraton, pelari terlatih detak jantungnya dapat naik hingga 170-180 BPM, sementara detak jantung pelari yang kurang terlatih dapat meningkat ke angka 200 BPM. Hal ini dikarenakan jantung memompa darah yang mengandung oksigen ke seluruh tubuh lebih cepat saat tubuh membutuhkan banyak oksigen untuk menghasilkan energi. Jantung yang bekerja melebihi batas normalnya akan menyebabkan sakit jantung yang berakibat fatal hingga dapat menyebabkan kematian. Pada penelitian ini penulis membuat alat deteksi detak jantung pada atlet maraton untuk dijadikan sebagai indikasi dalam mengukur kondisi kesehatannya. Sistem yang dirancang menggunakan Raspberry Pi 3B sebagai pemrosesannya dan sensor MAX30102 yang bekerja menggunakan prinsip Photoplethysmography yaitu metode *non-invasive* untuk mengukur detak jantung dan saturasi oksigen dengan cara mendeteksi volume aliran darah di dalam nadi yang berada sangat dekat dengan kulit.

Keyword: Raspberry Pi 3B, MAX30102, SpO₂, BPM, *Photoplethysmography*

Abstract

The heart is a vital human organ that plays a significant role in someone's life. The heart acts by pumping blood through the whole body through the blood vessels. In a marathon, a trained runner's heart rate can reach 170 to 180 BPM, whereas a less trained runner can reach 200 BPM. This is because the heart pumps oxygenated blood through the body more quickly when the body needs much oxygen to produce energy. The heart that works beyond its normal limit will cause a heart condition that can be fatal until death. In this study, a heart rate detection device was developed for marathon athletes to measure their health. the system is designed using a Raspberry Pi 3B for processing and the MAX30102 sensor which works by using the photoplethysmograph principle, which is a non-invasive method for measuring heart rate and oxygen saturation by detecting flow volume of blood in veins that are very close to the skin.

Keywords: *Raspberry Pi 3B, MAX30102, SpO₂, BPM, Photoplethysmography*

PENDAHULUAN

Maraton merupakan ajang lari jarak jauh dengan lintasan yang berjarak 3000m, 5000m, dan 10000m atau lebih yang dapat ditempuh sebagai lomba di jalan raya (*onroad*) maupun luar jalan raya (*offroad*) [1]. Mengingat jarak tempuh lari yang sangat jauh, maka dibutuhkan ketahanan fisik yang sangat kuat dari seorang pelari maraton [2]. Ketika berlari, tubuh membawa 3-5 kali berat badan normal dan kecepatan jantung memompa darah akan naik 2-3 kali lipat. Pada aktivitas normal, jantung berdetak sebanyak 70-80 denyut per menit (BPM) dan saturasi oksigen dalam darah (SpO₂) normal sebesar 95-100 persen, lalu saat tubuh berlari ringan (*joging*), detak jantung naik menjadi 136-144 BPM. Pada perlombaan lari 10000m, pelari terlatih detak jantungnya dapat naik hingga 170-180 BPM, sementara detak jantung pelari yang kurang terlatih dapat meningkat ke angka 200 BPM [3]. Hal ini dikarenakan jantung memompa darah yang mengandung oksigen ke seluruh tubuh lebih cepat saat tubuh membutuhkan banyak oksigen untuk menghasilkan energi [4]. Banyaknya detak jantung per menit seorang atlet maraton merupakan indikasi penting yang dapat dijadikan sebagai indikasi untuk mengukur kondisi kesehatannya [5]. Jika jantung bekerja melebihi batas normalnya maka akan menyebabkan sakit jantung yang berakibat fatal hingga dapat menyebabkan kematian karena keterlambatan mengetahui kondisi jantung yang diderita [6].

Detak jantung manusia bisa diukur melalui denyut nadi [7]. Pengukuran denyut nadi sama dengan pengukuran detak jantung [8]. Penghitungan detak jantung secara manual dengan menghitung denyut nadi kurang efektif karena tidak semua orang dapat mengukur denyut nadi mereka sendiri. Secara elektronik, salah satu cara pengukuran detak jantung adalah dengan menggunakan prinsip *Photoplethysmography* (PPG), yaitu metode *non-invasive* untuk mengukur detak jantung dan saturasi oksigen dengan mendeteksi volume aliran darah di dalam nadi yang berada sangat dekat dengan kulit [9].

Pada penelitian ini, peneliti mengusulkan penelitian dengan metode *non-invasive Photoplethysmography* (PPG) untuk mendeteksi detak jantung dan saturasi oksigen pada atlet maraton untuk dijadikan sebagai indikasi untuk mengukur kondisi kesehatannya. Disebut *non-invasive* dikarenakan penggunaannya tidak melukai pasien atau menyebabkan kerusakan kulit dan alat tidak dimasukkan ke dalam tubuh [10].

Jantung

Jantung adalah organ vital manusia yang berperan penting dalam kehidupan seseorang. Jantung berfungsi untuk memompa darah ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah. Kinerja jantung tidak maksimal akan berdampak buruk bagi kesehatan, bahkan dapat mengakibatkan kematian [11]. Detak jantung selama kegiatan fisik yang sedang adalah sekitar 50-69 persen dari detak jantung maksimum, sedangkan selama aktivitas fisik berat detak jantung dapat meningkat hingga 70-85 persen dari detak jantung maksimal.

Saturasi Oksigen

Saturasi oksigen (SpO₂) adalah jumlah oksigen (O₂) yang di bawah darah, merupakan pengukuran dan perhitungan persentase dari HbO₂ dalam pembuluh darah arteri. Saturasi oksigen didefinisikan sebagai rasio HbO₂ terhadap konsentrasi total Hb di dalam darah. Perbandingan tersebut dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{Hb+HbO_2} \times 100 \quad (1)$$

HbO₂ adalah hemoglobin yang dikombinasikan dengan oksigen, sedangkan Hb adalah hemoglobin yang tidak dikombinasikan dengan oksigen [12]. SpO₂ adalah saturasi oksigen yang terdeteksi oleh *pulse oximeter*.

Photoplethysmography (PPG)

Sensor *Photoplethysmography* (PPG), yaitu metode *non-invasive* untuk mengukur detak jantung dan saturasi oksigen dengan cara mendeteksi volume aliran darah di dalam nadi yang berada sangat dekat dengan kulit. Pengukuran ini mempunyai 2 metode yaitu *transmittance* mode dan *reflectance* mode [9]. Pada mode *transmittance* LED dan fotodiode diletakkan di antara jari, cahaya dari LED bersinar melalui jari dan masuk ke dalam fotodiode. Pada mode ini terbatas pada jari tangan, jari kaki, dan telinga. Sedangkan mode *reflectance*, fotodiode berada di samping LED dan mengukur cahaya yang dipantulkan dari jaringan pengguna. Hal ini memungkinkan pengukuran pada area tubuh yang lebih luas [13]

Perkiraan nilai detak jantung dan saturasi oksigen dihitung dengan mengukur amplitudo komponen AC dan tegangan konstan komponen DC dari sinyal PPG. Komponen AC merupakan perubahan volume darah yang disebabkan oleh denyut jantung dan komponen DC umumnya dikaitkan dengan penyerapan jaringan kulit. Perhitungan detak jantung dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata frekuensi maksimum antara puncak ke puncak untuk menentukan laju detak jantung dalam *hertz* (Hz), kemudian dikalikan dengan 60 detik untuk mendapatkan detak jantung per menit (BPM). Perhitungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\text{Detak jantung} = f_{pp} \times 60 \quad (2)$$

Perhitungan saturasi oksigen dilakukan dengan menghitung nilai rasio (R) yang mewakili rasio penyerapan cahaya dari HbO₂ dan Hb. Perhitungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R = \frac{AC_{RED} / DC_{RED}}{AC_{IR} / DC_{IR}} \quad (3)$$

Nilai R yang dihitung kemudian digunakan untuk menghitung saturasi oksigen dengan model standar komputasi saturasi oksigen yang diturunkan secara empiris untuk memperkirakan saturasi oksigen dalam darah SpO₂ [14]. Perhitungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$SpO_2 = 110 - 25 \times R \quad (4)$$

Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 adalah *pulse* oximeter berupa modul sensor yang bekerja menggunakan prinsip *photoplethysmography* (PPG), yang digunakan untuk memonitor kadar oksigen dalam darah (SpO₂) serta detak jantung per menit (BPM). Sensor MAX30102 menggunakan komunikasi I2C (*Inter Integrated Circuit*) dengan tegangan kerja 5V DC. *Bus driver* dari I2C merupakan *open drain*, di mana jika saat sinyal *low* adalah nol volt dan sinyal *high* dalam keadaan *floating*, maka untuk dapat membaca data keluaran sensor dibutuhkan resistor *pull-up* pada SDA dan SCL pada I2C [15]. Sensor MAX30102 menggunakan mode *reflectance*. di mana LED merah, LED inframerah dan fotodiode diletakkan satu baris.

Raspberry Pi 3B

Raspberry Pi adalah rangkaian papan tunggal (*Single Board Circuit*) yang bekerja pada tegangan 5V DC, dilengkapi dengan port GPIO (*General Purpose Input-Output*) sebagai antarmuka yang memungkinkan mikrokomputer ini dapat berinteraksi dengan dunia luar. Rapsberry Pi menggunakan debian GNU/Linux yang bersifat *Open Source* dan bahasa pemrograman Python. Dengan pemrograman Python sistem operasi tersebut dapat mengontrol fungsi sistem dan pin GPIO yang tersedia dan dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan [16]. Raspberry Pi 3B adalah versi terbaru yang di kembangkan oleh Raspberry Pi Fondation pada tahun 2016. Versi ini sudah dilengkapi dengan modul konektivitas *wireless* dan *Bluetooth*. Raspberry Pi 3B memiliki port HDMI yang dapat dihubungkan pada monitor atau sejenisnya dan port USB yang bisa digunakan untuk *mouse* dan *keyboard* [17].

LCD HDMI

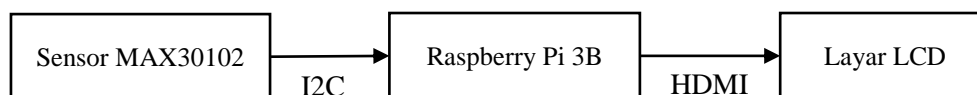
Liquid Crystal Display (LCD) merupakan sebuah peralatan elektronik jenis media tampilan yang digunakan untuk menampilkan keluaran dari sebuah sistem dalam bentuk citra atau gambaran pada layar. LCD memiliki beberapa komponen penyusun yang terdiri dari kristal cair (*liquid crystal*) yang diapit oleh 2 buah elektrode transparan dan 2 buah filter polarisasi (*polarizing filter*) [18]. *High-Definition Multimedia Interface* (HDMI) adalah sistem antarmuka multimedia yang dihubungkan pada peralatan audio/video digital, dan mampu mengompres sinyal untuk meminimalkan cahaya.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan perancangan. Eksperimen yang dilakukan adalah dengan memperhatikan sensor yang digunakan apakah dapat berjalan sesuai dengan fungsinya. Sementara untuk perancangan penelitian ini memiliki beberapa tahap perancangan sistem, baik pada perancangan perangkat keras (*hardware*) maupun perancangan perangkat lunak (*software*).

A. Desain Sistem

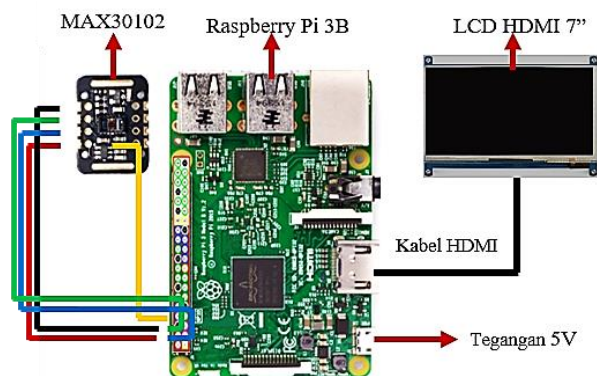
Perancangan sistem ini terdiri dari beberapa hal, di antaranya diagram blok perancangan sistem, *wiring* diagram, dan diagram alir sistem. Perancangan sistem perangkat keras dipresentasikan dalam diagram blok perancangan sistem pembuatan alat deteksi detak jantung pada atlet maraton menggunakan Raspberry Pi 3B terdapat pada Gambar 1. Sensor MAX30102 adalah masukan untuk Raspberry dan LCD berfungsi sebagai keluaran tampilan data detak jantung.



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Gambar 5 menunjukkan diagram blok alat deteksi detak jantung menggunakan board Raspberry Pi 3B sebagai pengendali sistem. Board Raspberry Pi mendapat sumber tegangan dari *power supply* sebesar 5 volt DC, kemudian disalurkan pada layar LCD sebagai antarmuka dari alat dan sensor MAX30102 untuk membaca data detak jantung dan saturasi oksigen, selanjutnya data tersebut diproses Raspberry Pi 3B sehingga menjadi data pengukuran yang sesungguhnya yang dapat dilihat hasilnya di dalam tampilan perangkat lunak yang dibangun. Agar sistem dapat berjalan dengan baik perlu dihubungkan dengan komponen lainnya. Dalam menghubungkan tiap komponen juga harus sesuai dengan PIN yang sesuai dengan fungsi. *Wiring* diagram dari

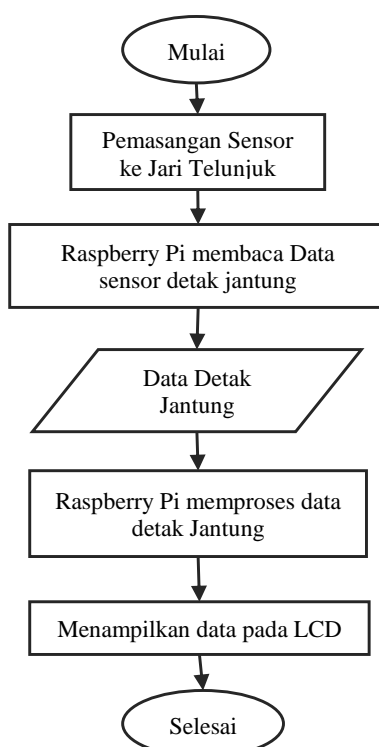
sistem yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2. Sensor Max30102 memiliki 5 buah PIN yaitu VCC, GND, SCA, SDA, INT. LCD dihubungkan dengan port HDMI Raspberry Pi 3B.



Gambar 2. Wiring Diagram Alat

B. Perancangan Perangkat Lunak Sistem

Perangkat lunak diperlukan sebagai protokol antara mikrokontroler dengan komponen - komponen perangkat keras lainnya. Berdasarkan konsep pada perancangan *hardware*, maka program yang dirancang diharapkan bisa mengolah data detak jantung dan saturasi oksigen ke Raspberry Pi 3B ataupun sebaliknya. Perancangan perangkat lunak dimulai dengan membangun aplikasi GUI (*Graphic User Interface*) sebagai antarmuka untuk menampilkan data hasil deteksi detak jantung dan saturasi oksigen, serta mengontrol sensor MAX30102 dalam pembacaan data, selanjutnya perancangan program dilakukan untuk pembacaan data detak jantung dan saturasi oksigen. Program deteksi detak jantung dan saturasi oksigen ditulis dalam *software* Thony Python IDE. Adapun dalam menyusun program perlu dilakukan perancangan dengan diagram alir sistem terlebih dahulu, diagram alir untuk menjalankan sistem terdapat pada Gambar 3. Proses pertama adalah memasang sensor pada ujung jari telunjuk pasien. Selanjutnya Raspberry Pi akan membaca data sensor detak jantung kemudian mengolah dan memproses data tersebut untuk ditampilkan pada LCD.



Gambar 3. Diagram Alir Alat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat deteksi detak jantung pada atlet maraton menggunakan Raspberry Pi 3B yang telah dibuat akan diuji dan dianalisis. Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja alat dalam mengukur detak jantung dan saturasi oksigen. Gambar 4 merupakan desain alat deteksi detak jantung dan saturasi oksigen yang telah dibuat. Angka sebelah kiri adalah saturasi oksigen (SpO₂) dan angka sebelah kanan adalah detak jantung (HR/menit).

Setelah alat berhasil direalisasikan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk mengetahui akurasi alat. Metode untuk melihat akurasi dari alat yang dibuat peneliti (prototipe) adalah dengan membandingkannya dengan alat komersial (referensi) dengan menghitung rata-rata detak jantung dan saturasi oksigen untuk setiap kumpulan data, kemudian menghitung persentase kesalahan menggunakan persamaan berikut [19].

$$\text{Persen Error} = \frac{X_{\text{aktual}} - X_{\text{pengukuran}}}{X_{\text{aktual}}} \times 100 \quad (4)$$



Gambar 4. Alat Deteksi Detak Jantung dan Saturasi Oksigen

A. Pengujian Alat pada Subjek

Pengujian dilakukan dua kali pada 1 subjek, yaitu pengujian dalam keadaan duduk (istirahat) dan pengujian setelah berlari (kegiatan fisik) dengan mengambil 10 data yang memiliki interval masing-masing 20 detik. Pengujian dilakukan dengan mendeteksi denyut nadi pada ujung jari.

Pengujian pertama yaitu pengujian dalam keadaan duduk, sehingga detak jantung yang diukur adalah detak jantung saat istirahat. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1, perbandingan pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen saat istirahat diperoleh nilai persen *error* relatif kecil yaitu sebesar 1,1%.

Pengujian berikutnya yaitu, pengujian setelah berlari sehingga detak jantung yang diukur adalah detak jantung saat kegiatan fisik. Pengujian dilakukan dengan berlari selama 1 jam kemudian dilakukan pengukuran dengan alat referensi dan prototipe secara bersamaan. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2, perbandingan pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen saat kegiatan fisik diperoleh nilai persen *error* relatif kecil.

Pengujian pertama dan kedua pada pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen memiliki rata-rata *error* yang relatif kecil. Rata-rata *error* pengukuran detak jantung pada pengujian pertama dan kedua adalah 1,1% dengan standar deviasi 1,19. Sedangkan rata-rata *error* pengukuran saturasi oksigen pada pengujian pertama adalah 0,7% dengan standar deviasi 0,48 dan pengujian kedua rata-rata *error* 1,2% dengan standar deviasi 0,78. Pengujian pertama dan kedua masing-masing memiliki selisih yang cukup kecil. Agar pembacaan selisih pada Tabel 1 dan Table 2 mudah dimengerti, maka dibuat grafik sesuai Gambar 5 yang menunjukkan

selisih antara alat yang dibuat peneliti (prototipe) dengan alat komersial (referensi) pada pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen dalam keadaan duduk (istirahat), dan setelah berlari (kegiatan fisik).

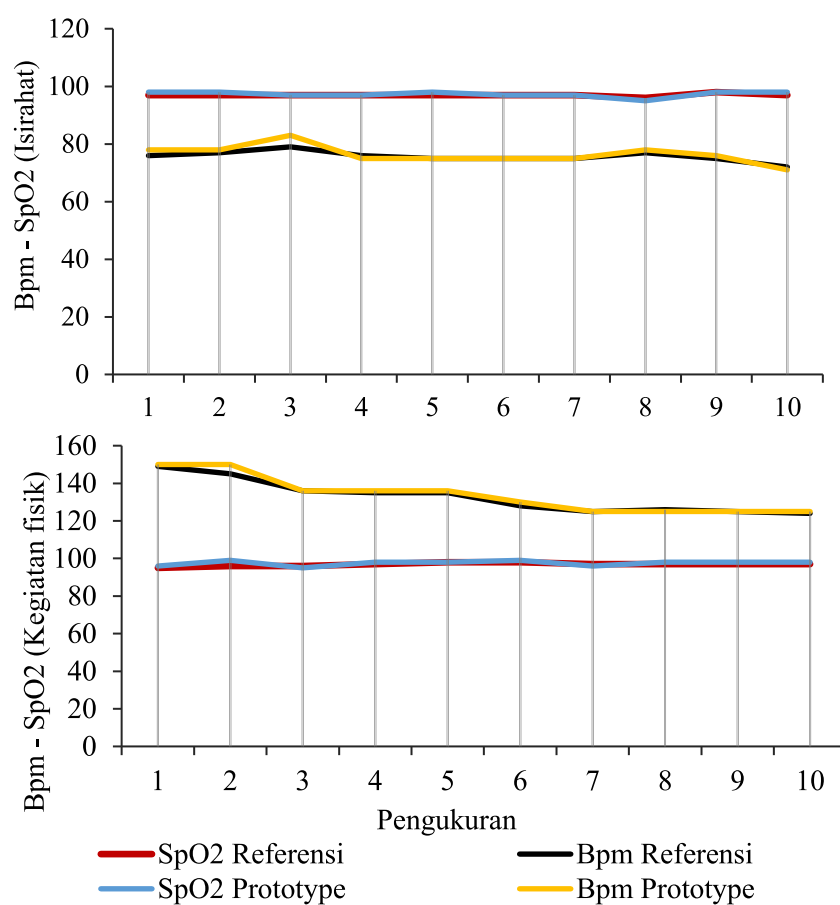
Tabel 1. Pengukuran Detak Jantung dan Saturasi Oksigen saat Istirahat

Pengukuran	Detak Jantung (BPM) dan Saturasi Oksigen (SpO2)					
	Referensi		Prototipe		Persen Error (%)	
	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2	HR
1	97	76	98	78	1	2
2	97	77	98	78	1	1
3	97	79	97	83	0	4
4	97	76	97	75	0	1
5	97	75	98	75	1	0
6	97	75	97	75	1	0
7	97	75	97	75	1	0
8	96	77	95	78	1	1
9	98	75	98	76	0	1
10	97	72	98	71	1	1
Rata-rata Error					0,7	1,1
Standar Deviasi					0,48	1,19

Tabel 2. Pengukuran Detak Jantung dan Saturasi Oksigen setelah Berlari

Pengukuran	Detak Jantung (BPM) dan Saturasi Oksigen (SpO2)					
	Referensi		Prototipe		Persen Error	
	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2	HR
1	95	149	96	150	1	1
2	96	145	99	150	3	4
3	96	136	95	136	1	0
4	97	135	98	136	1	1
5	98	135	98	136	0	1
6	98	128	99	130	2	2
7	97	125	96	125	1	0
8	97	126	98	125	1	1
9	97	125	98	125	1	0
10	97	124	98	125	1	1
Rata-rata Error					1,2	1,1
Standar Deviasi					0,78	1,19

Gambar 5 menunjukkan bahwa alat yang dibuat peneliti dapat berfungsi dengan baik. Pada grafik diperoleh beberapa data yang terlihat kasar, hal ini dapat terjadi karena saat menempelkan jari ke sensor, jari bergerak terlalu banyak, sehingga sinyal detak jantung dan saturasi oksigen yang dihasilkan memiliki *noise* yang menyebabkan pengukuran menjadi tidak akurat. Hal ini juga disebabkan karena sensor MAX30102 bersifat *high sensitivity*.



Gambar 5. Grafik Hasil Perbandingan Prototipe dengan Referensi

B. Pengujian Alat dengan beberapa Subjek saat Istirahat

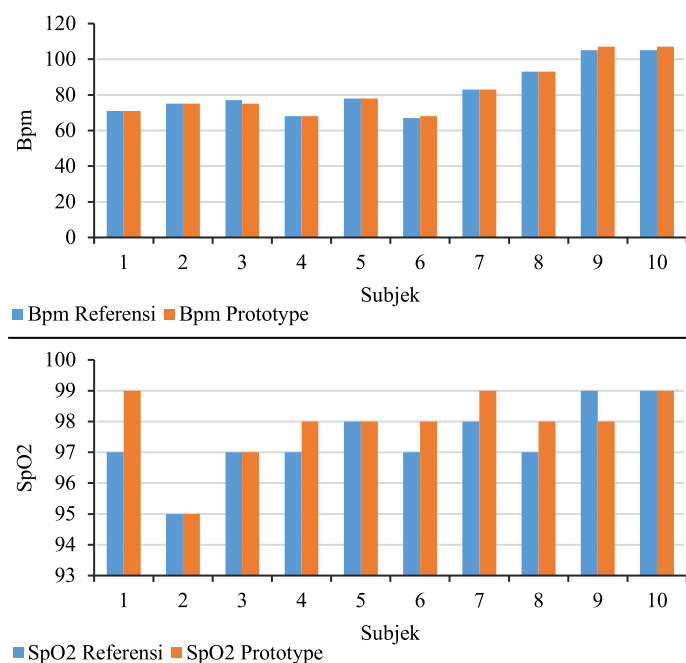
Pada pengujian ini, dilakukan pada 10 orang dengan mengukur detak jantung dan saturasi oksigen pada saat istirahat atau tidak sedang dalam aktivitas berat. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pengukuran Detak Jantung dan Saturasi Oksigen saat Istirahat

Pengukuran	Detak Jantung (BPM) dan Saturasi Oksigen (SpO2)					
	Referensi		Prototipe		Persen Error	
	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2 (%)	HR (BPM)	SpO2	HR
1	97	71	99	71	2	0
2	95	75	95	75	0	0
3	97	77	97	75	0	2
4	97	68	98	68	1	0
5	98	78	98	78	0	0
6	97	67	98	68	1	1
7	98	83	99	83	1	0
8	97	93	98	93	1	0
9	99	105	98	107	1	2
10	99	105	99	107	0	2
Rata-rata Error					0,7	0,7
Standar Deviasi					0,67	0,94

Pada Tabel 3, perbandingan pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen diperoleh nilai persen *error* relatif kecil. Rata-rata *error* pada pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen adalah 0,7% dengan standar deviasi pada detak jantung adalah 0,94 dan saturasi oksigen adalah 0,67.

Pada pengujian pengukuran detak jantung dan saturasi oksigen istirahat rata-rata yang dilakukan pada beberapa subjek, diperoleh selisih antara alat yang peneliti buat (prototipe) dengan alat komersial (referensi) cukup kecil, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Agar pembacaan selisih pada Tabel 3 mudah dimengerti, maka dibuat grafik sesuai Gambar 6 yang menunjukkan selisih antara alat yang peneliti buat dengan alat komersial dalam mengukur detak jantung dan saturasi oksigen.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran Detak Jantung dan Saturasi Oksigen saat Istirahat Rata-rata

Warna biru merupakan presentasi dari detak jantung dan saturasi oksigen dari alat komersial (referensi) dan warna oranye merupakan presentasi dari detak jantung dan saturasi oksigen dari alat yang peneliti buat (prototipe).

Pada pengujian ini diperoleh beberapa nilai detak jantung cukup tinggi. Hal ini dikarenakan pengukuran dilakukan setelah makan dan merokok. Menurut Angela, merokok dapat meningkatkan detak jantung akibat efek *vasokonstriksi* (penyempitan) pada pembuluh darah sehingga oksigen yang terbawa ke jaringan serta organ tubuh berkurang sehingga jantung berdetak lebih cepat untuk mengalirkan darah ke seluruh tubuh [20].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perancangan alat deteksi detak jantung pada atlet maraton menggunakan Raspberry Pi 3B telah berhasil dibuat dan direlisasikan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Pengukuran detak jantung pada pengujian pertama dan kedua memiliki rata-rata keseluruhan *error* adalah 1,1% dan pada pengukuran saturasi oksigen memiliki rata-rata keseluruhan *error* 0,9%. Sensor MAX30102 bersifat *high sensitivity* sehingga ketika tubuh bergerak terlalu banyak saat pengukuran maka sinyal detak jantung dan saturasi oksigen memiliki *noise* yang akan menyebabkan pengukuran menjadi tidak akurat, pengukuran sebaiknya dilakukan pada posisi duduk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. F. Sari, A. Kristiyanto, and S. S. Sabrini, "Perbedaan Lari Jarak Jauh 5K pada Lintasan Tartan dan Lintasan

- Tanah Gravel Terhadap Risiko Cedera Atlet Putra Club Dragon dan Pandawa Salatiga Nugrahani,” *Pros. SENFIKS (Seminar Nas. Fak. Ilmu Kesehatan dan Sains)*, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2020.
- [2] W. Ramadan and D. Z. Sidik, “Pengaruh Metode Circuit Training Terhadap Daya Tahan Cardiovascular Cabang Olahraga Atletik Nomor Lari Jarak Jauh,” *J. Kevelatihan Olahraga*, vol. 11, no. 2, pp. 101–105, 2019.
- [3] A. W. Putri, “Kematian Pelari Maraton di Bali dan Risiko Lari yang Harus Dicermati,” *tirto.id*, 2018. [Online]. Available: <https://tirto.id/kematian-pelari-maraton-di-bali-risiko-lari-yang-harus-dicermati-cX4m>. [Accessed: 18-Jan-2020].
- [4] M. H. S. T. Penggalih, M. Hardiyanti, and F. I. Sani, “Perbedaan Perubahan Tekanan Darah Dan Denyut Jantung Pada Berbagai Intensitas Latihan Atlet Balap Sepeda,” *J. Keolahragaan*, vol. 3, no. 2, pp. 218–227, 2015.
- [5] M. A. Hidayat, S. Sukaridhoto, A. Basuki, and F. Falah, “Monitoring Detak Jantung untuk Atlet Lari 100 Meter Berbasis Internet of Things,” vol. 6, no. 2, pp. 85–92, 2019.
- [6] Musayyanah, I. Puspasari, and P. Susanto, “Monitoring Target Heart Rate (Thr) Untuk Optimalisasi Latihan Lari Berbasis Internet Of Things,” *Tek. Eng. Sains J.*, vol. 2, no. 2, pp. 87–94, 2018.
- [7] I. K. R. Arthana and I. M. A. Pradnyana, “Perancangan Alat Pendeteksi Detak Jantung Dan Notifikasi Melalui Sms,” *Semin. Nas. Ris. Inov.*, vol. 5, pp. 889–895, 2017.
- [8] A. Yudhana, A. Surya, and K. Putra, “Prototype Deteksi Respon Denyut Nadi Dengan Heart Beat Sensor Berbasis Aplikasi Android,” *Transmisi*, vol. 21, no. 2, pp. 51–55, 2019.
- [9] C. A. Pratiwi, P. Madona, and Y. P. Wijaya, “Akuisisi Data Sinyal Photoplethysmograph (PPG) Menggunakan Photodiode,” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–41, 2016.
- [10] E. Susana, “Pengukuran Tekanan Darah Non-Invasive Tanpa Manset Menggunakan Metode Pulse Transit Time Berbasis Machine Learning Multivariat Regresi,” *J. Kesehat.*, vol. 10, no. 1, p. 61, 2019.
- [11] D. Ramli and Y. Karani, “Anatomi dan Fisiologi Kompleks Mitral,” *J. Kesehat. Andalas*, vol. 7, no. 0, pp. 103–112, 2018.
- [12] A. Fontaine, N. Rodriguez, A. Koshi, and D. Morabito, “Reflectance-Based Pulse Oximeter for the Chest and Wrist,” *Worcester Polytech. Inst.*, p. 130, 2013.
- [13] C. Phillips, D. Liaqat, M. Gabel, and E. de Lara, “Wristo2: Reliable peripheral oxygen saturation readings from wrist-worn pulse oximeters,” *arXiv*, pp. 1–15, 2019.
- [14] T. Zaman, P. A. Kyriacou, and S. K. Pal, “Free flap pulse oximetry utilizing reflectance photoplethysmography,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC*, pp. 4046–4049, 2013.
- [15] A. N. Qahar, “Desain Alat Ukur Denyut Jantung Dan Saturasi Oksigen Pada Anak Menggunakan Satu Sensor,” *Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Indones.*, p. vi, 2018.
- [16] M. E. Gumilang and W. Sugeng, “Implementasi alat pendeteksi detak jantung berbasis raspberry pi,” vol. 2, no. 1, pp. 28–29, 2016.
- [17] S. Nasution and Syachrodi, “PINDIT: an Online Digital Signage at Department of Electrical Engineering, University of Riau,” *Int. J. Electr. Energy Power Syst. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 113–120, 2021.
- [18] R. Aulia, R. A. Fauzan, and I. Lubis, “Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Fan dan Dht11 Berbasis Arduino,” *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 6, no. 1, pp. 30–38, 2021.
- [19] D. Suhantono, I. M. S. Yasa, and K. A. Yasa, “Evaluasi Error Kwh Meter Analog Pengukuran Langsung Dengan Metode Peneraan Waktu Pada Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali,” *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 16–21, 2018.
- [20] A. N. Tisa k, “Angela Novalia Tisa K . Mahasiswa Peminatan Epidemiologi dan Penyakit Tropik UNDIP THE RELATION B,” *J. Kesehat. Masy.*, vol. 1, no. 2, pp. 241–250, 2012.

Biodata Penulis

Muhammad Irfan Pure, lahir di Kupang, 13 Agustus 1998. Sarjana Pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan tahun 2021.

Alfian Ma'arif, dilahirkan di Klaten, 14 Juni 1991. Menyelesaikan S1 pada jurusan Electrical and Electronics Engineering di UII Yogyakarta tahun 2014 dan pendidikan Pascasarjana (S2) Magister Engineering bidang Departemen Teknik Elektro di UGM Yogyakarta tahun 2017.

Anton Yudhana, dilahirkan di Purworejo, 8 Agustus 1976. Menyelesaikan S1 pada jurusan Teknik Elektro-Telekomunikasi Multimedia di ITS Surabaya tahun 2001, pendidikan Pascasarjana (S2) Magister Teknik bidang Teknik Elektro di UGM Yogyakarta tahun 2005 dan pendidikan Pascasarjana (S3) Doktor bidang Teknik Elektro di UTM Malaysia tahun 2010.