

# Pengendalian Kecepatan Treadmill Secara Otomatis Menggunakan Sensor PPG Smartwatch Berbasis Single Board Computer

Dian Azmi Habibi, Ahmad Zaini

Dept. Teknik Komputer Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia

Email: dianazmihabibi@gmail.com, zaini@its.ac.id

## Abstrak

Latihan treadmill atau olahraga menggunakan treadmill merupakan salah satu jenis olahraga yang dapat melatih otot jantung (kardio) karena menerapkan gerakan berjalan, berjalan cepat, dan berlari. Dalam melakukan latihan ini, denyut jantung seharusnya digunakan sebagai indikator dalam berolahraga. Pada treadmill konvensional terdapat sensor denyut jantung untuk mengetahui denyut jantung pengguna treadmill, namun data dari sensor tersebut tidak digunakan sebagai pengaturan kecepatan pada treadmill, melainkan hanya untuk mengetahui besarnya denyut jantung saat melakukan latihan treadmill. Dengan berkembangnya sensor PPG pada smartwatch yang dikombinasikan dengan treadmill, pengendalian kecepatan otomatis akan didasarkan pada data denyut jantung pengguna. Diharapkan dengan pengembangan alat ini, pengguna treadmill dapat mencapai target olahraga yang diinginkan.

**Keyword:** *Treadmill, PPG Smartwatch, Adaptasi Kecepatan Otomatis*

---

Diterima Redaksi: 05-Peb-2025 Selesai Revisi: 15-Peb-2025 Diterbitkan Online: 15-Maret-2025  
DOI: <https://doi.org/10.59378/jcenim.v3i1.63>

---

## I. PENDAHULUAN

Treadmill merupakan salah satu peralatan olahraga yang cukup populer bagi penggemar kebugaran. Olahraga ini tidak memerlukan banyak ruang. Selama melakukan latihan di dalam ruangan, pengguna dapat berolahraga kapan saja. Latihan atau olahraga menggunakan treadmill merupakan salah satu jenis olahraga yang dapat melatih otot jantung (kardio) karena menerapkan lintasan gerak berupa berjalan cepat dan berlari. Dalam melakukan latihan ini, otot jantung harus digunakan sebagai indikator untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan dalam latihan [1]. Pada treadmill konvensional sudah terdapat sensor detak jantung untuk mengetahui denyut jantung pengguna treadmill, namun data sensor tersebut tidak digunakan sebagai pengaturan kecepatan pada treadmill, melainkan hanya untuk mengetahui denyut jantung pengguna saja.

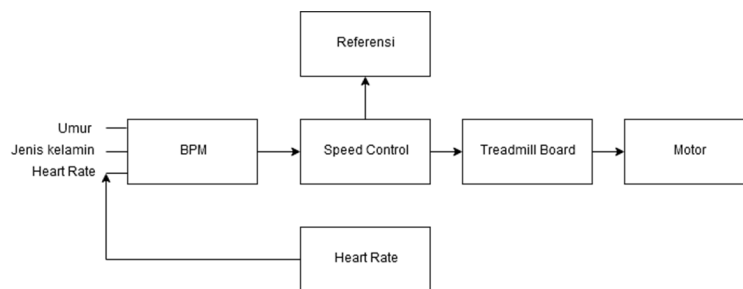
Sebelum melakukan latihan menggunakan treadmill, sangat disarankan untuk melakukan perhitungan menggunakan Rumus Karvonen. Pada metode ini terdapat lima tahapan untuk menentukan jenis latihan yang dibutuhkan. Tahap pertama adalah menentukan denyut jantung saat istirahat (*Resting Heart Rate* atau RHR). Pada tahap ini dilakukan pengukuran denyut jantung selama 60 detik. Pengukuran ini sebaiknya dilakukan setelah bangun tidur dan dalam keadaan masih berbaring di tempat tidur selama tiga hari, kemudian hasilnya dibagi tiga untuk mendapatkan rata-rata denyut jantung saat istirahat (RHR). Tahap kedua adalah menghitung denyut jantung maksimum (*Heart Rate Maximum* atau HRmax). Untuk mengukur denyut jantung maksimum, digunakan cara mengurangi angka 220 dengan usia subjek untuk laki-laki dan 226 dengan usia subjek untuk perempuan. Tahap ketiga adalah menentukan cadangan denyut jantung (*Heart Rate Reserve* atau HRR) dengan cara mengurangkan HRmax dengan RHR. Tahap keempat adalah menghitung batas atas dan batas bawah denyut jantung target yang akan dicapai. Jika targetnya adalah *Extensive Endurance*, maka HRR dikalikan dengan batas bawah yaitu sebesar 75%, kemudian ditambahkan dengan RHR [2].

Makalah ini menyajikan otomasi kecepatan menggunakan smartwatch PPG sebagai sensor denyut jantung, kemudian nilai BPM direferensikan menggunakan Rumus Karvonen sebagai acuan kecepatan dan diimplementasikan pada kecepatan treadmill untuk membantu pengguna melakukan latihan treadmill dengan benar. Untuk membaca data dari smartwatch PPG, digunakan Raspberry Pi 3b sebagai

perangkat pembaca data. Raspberry Pi 3b dipilih untuk mengendalikan papan treadmill dalam mengimplementasikan otomasi kecepatan. Susunan makalah ini adalah sebagai berikut. Bagian 2 membahas metodologi yang diusulkan, sedangkan Bagian 3 menyajikan hasil penelitian. Terakhir, Bagian 4 berisi kesimpulan.

## II. DESAIN SISTEM

Pada sistem yang dibangun, digunakan perangkat *wearable* Xiaomi Mi Band 2 untuk memperoleh nilai denyut jantung (*Heart Rate*/BPM) dan langkah (STEP). Data tersebut kemudian diproses untuk menentukan kendali kecepatan treadmill. Untuk merealisasikan tugas penelitian ini, dibuat sebuah desain sistem yang menggambarkan konsep dan cara kerja sistem.



Gambar 1: Gambaran Umum Cara Kerja Sistem

Pada Gambar 1 dijelaskan secara singkat, yaitu pertama pengguna memasukkan data berupa usia dan jenis kelamin. Kemudian data tersebut diproses sehingga diperoleh data BPM untuk menentukan kendali kecepatan treadmill. Kendali kecepatan treadmill menggunakan referensi kecepatan berdasarkan metode Rumus Karvonen untuk mendapatkan batas THRMax dan THRMin. Selanjutnya SBC (Raspberry Pi) akan mengaktifkan tombol pada papan treadmill untuk menggerakkan motor treadmill.

### A. Rumus Karvonen

Untuk menentukan batas kecepatan treadmill diperlukan beberapa informasi dari pengguna, yaitu berupa RHR (*Rest Heart Rate*) atau denyut jantung saat istirahat, usia, dan jenis kelamin. Ketiga hal tersebut diperlukan dalam rumus untuk mendapatkan zona latihan menggunakan Rumus Karvonen. Rumus Karvonen merupakan rumus matematis yang dapat menentukan zona latihan denyut jantung [2]. Untuk mendapatkan batas bawah dan batas atas zona latihan, perhitungan dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Menentukan denyut jantung saat istirahat (*Resting Heart Rate*/RHR).
2. Menentukan perkiraan denyut jantung maksimum (*Heart Rate Maximum*/HRmax).

Untuk laki-laki:

$$HR_{max} = 220 - \text{usia} \quad (1)$$

Untuk perempuan:

$$HR_{max} = 226 - \text{usia} \quad (2)$$

3. Menentukan cadangan denyut jantung (*Heart Rate Reserve*/HRR):

$$HRR = HR_{max} - RHR \quad (3)$$

4. Menghitung batas bawah THR (THRmin):

$$THR_{min} = (HRR \times \text{intensitas } \%) + RHR \quad (4)$$

5. Menghitung batas atas THR (THRmax):

$$THR_{max} = (HRR \times \text{intensitas } \%) + RHR \quad (5)$$

Tabel 1 menunjukkan perbedaan zona latihan berdasarkan persentase denyut jantung maksimum.

Tabel 1: Zona Latihan Denyut Jantung

Zona Latihan	Intensitas
Pemulihan	< 65% HRmax
Aerobik	65% – 75% HRmax
Daya Tahan Ekstensif	75% – 80% HRmax
Daya Tahan Intensif	80% – 85% HRmax
Ambang Anaerobik	90% – 95% HRmax
Aerobik Maksimum	> 95% HRmax

## B. Photoplethysmograph (PPG)

PPG merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem kardiovaskular dengan mengukur perubahan volume darah pada jaringan kulit. Dalam penerapannya, metode ini menggunakan sensor optik untuk menangkap sinyal listrik yang berasal dari pembiasan sumber cahaya akibat perubahan aliran darah selama aktivitas jantung. Sinyal yang dihasilkan oleh metode ini telah banyak dikembangkan pada jam pintar (*wearable device*) untuk pengukuran denyut jantung.

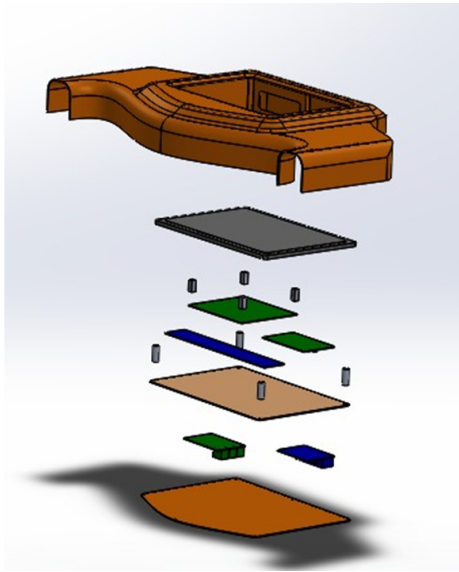
Saat ini terdapat banyak perangkat *wearable* untuk olahraga yang menawarkan fitur penghitungan denyut jantung, kecepatan langkah, dan lainnya. Salah satu contoh perangkat *wearable* tersebut adalah *smartwatch* Xiaomi Mi Band 2. Gambar 2 menunjukkan perangkat *wearable* Xiaomi Mi Band 2 yang memiliki fitur pendeteksian denyut jantung menggunakan PPG, pendeteksian langkah, layar OLED (*Organic Light Emitting Diode*), dan tombol sentuh. Mi Band 2 menggunakan koneksi Bluetooth untuk berkomunikasi dengan *host* melalui BLE.



Gambar 2: Xiaomi Mi Band 2

## C. Implementasi Sistem

Pada Gambar 3 ditunjukkan skema pemasangan komponen treadmill. Pemasangan komponen ditempatkan di bagian depan treadmill (casing layar). Pada pemasangan tersebut dibuat casing treadmill untuk layar, kemudian di bagian bawah monitor dipasang beberapa komponen seperti SBC, papan treadmill, dan papan monitor.

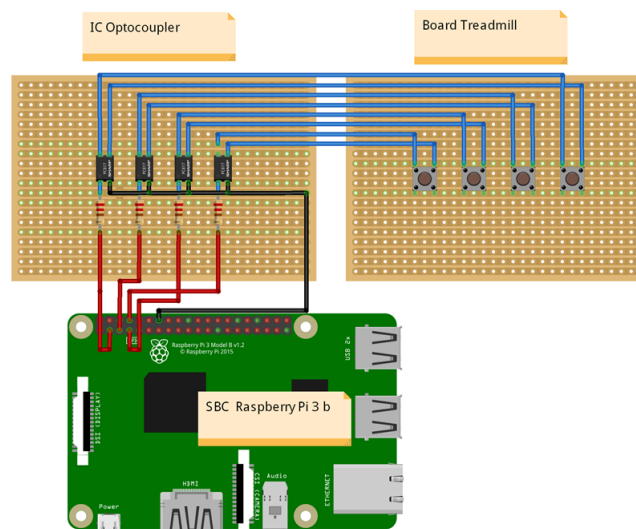


Gambar 3: Pemasangan komponen treadmill



Gambar 4: Pemasangan pada treadmill

Konfigurasi papan treadmill dan Raspberry Pi (SBC) ditunjukkan pada Gambar 5. Tombol pada papan treadmill dihubungkan ke pin GPIO IC 817 melalui optokopler yang bertujuan untuk mengendalikan beban motor besar menggunakan sinyal tegangan kecil dari GPIO pada SBC. Karena optokopler terdiri dari LED pemancar dan penerima yang membentuk “fotosensor”, maka apabila terjadi kerusakan pada rangkaian fototransistor tidak akan merusak komponen lain karena tidak terhubung secara langsung. Tombol yang dihubungkan menggunakan kabel jumper meliputi tombol on/off, tombol penambah kecepatan, tombol pengurang kecepatan, dan tombol mode.

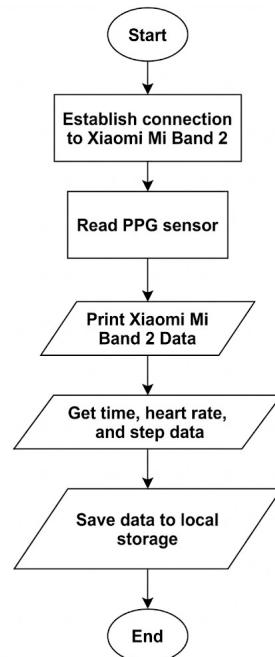


Gambar 5: Konfigurasi treadmill

#### D. Pembacaan Data Sensor dari PPG Smartwatch

Proses awal sebelum pembacaan data adalah proses autentikasi kredensial dari Xiaomi Mi Band ke SBC menggunakan koneksi Bluetooth. Setelah proses autentikasi kredensial, Mi Band akan mulai mengirimkan data denyut jantung, langkah, dan waktu. Data tersebut dikumpulkan dalam bentuk deret data bertipe bilangan bulat (untuk denyut jantung dan langkah) serta data waktu bertipe string. Masing-masing data dipisahkan menggunakan delimiter koma (,) untuk membedakan antar data. Selanjutnya data disimpan pada penyimpanan lokal SBC dalam bentuk berkas teks yang akan diakses untuk dikirim

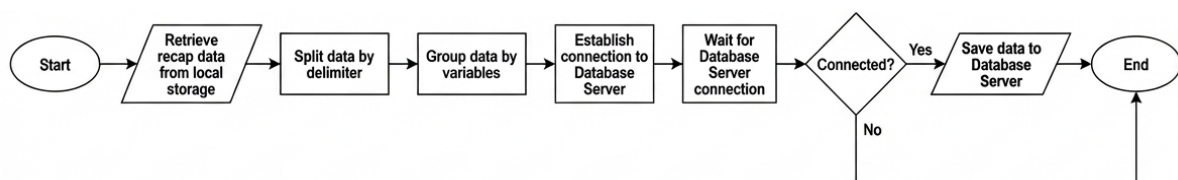
ke server basis data dan monitor LCD. Akuisisi data oleh sensor dilakukan setiap 1 detik. Alur kerja akuisisi data oleh sensor dijelaskan pada Gambar 6.



Gambar 6: Diagram alir pembacaan data dari PPG Smartwatch

## E. Pengiriman ke Server Basis Data

Penyimpanan ke server basis data dikirim melalui WiFi. Modul penyimpanan menggunakan modul Firebase untuk berkomunikasi langsung dengan server basis data Firebase. Gambar 7 menjelaskan alur kerja penyimpanan data dari penyimpanan lokal ke server basis data. Proses pertama adalah membuka data yang tersimpan pada penyimpanan lokal. Data dibaca setiap baris hingga data terakhir yang tersimpan. Data lokal yang telah dibaca setiap baris kemudian dipisahkan dan dikelompokkan sesuai dengan variabel masing-masing. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kalori dan jarak. Kemudian node sensor melakukan koneksi menggunakan modul pengiriman Firebase yang berjalan pada mesin lokal menggunakan *default UNIX Socket*. Koneksi tersebut memuat informasi pengiriman ke server basis data seperti nama host, nama pengguna, kata sandi, nama basis data, dan port. Apabila koneksi berhasil terhubung ke server basis data, maka data dikirim sesuai dengan perintah kueri yang telah dibuat.



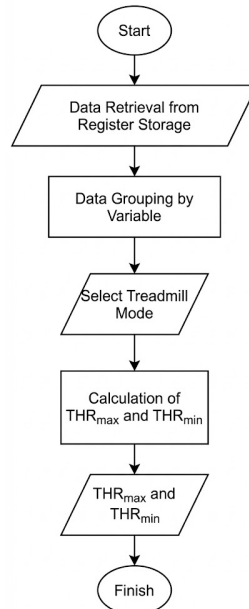
Gambar 7: Diagram alir pengiriman ke basis data

## F. Akuisisi Data THRmin dan THRmax pada Antarmuka Pengguna Halaman Utama

Tampilan antarmuka pengguna halaman utama memiliki dua tombol fungsi untuk melakukan input ke layar registrasi yang digunakan untuk perhitungan THRmax dan THRmin serta pemilihan mode latihan treadmill. Gambar 8 menjelaskan cara kerja perhitungan THRmax dan THRmin serta pemilihan mode latihan.

Pada proses perhitungan THRmax dan THRmin terdapat beberapa proses, yaitu membaca setiap baris data yang tersimpan pada halaman layar registrasi. Data yang telah dibaca kemudian dikelompokkan sesuai dengan variabel masing-masing. Setelah pengguna memilih mode treadmill, selanjutnya dapat dicari nilai THRmax dan THRmin untuk kecepatan otomatis treadmill.

Antarmuka pengguna dibuat dari *layout* yang dibangun menggunakan pustaka Python Tkinter. Antarmuka pengguna dibuat agar interaktif sehingga mudah dioperasikan oleh pengguna.



Gambar 8: Diagram alir akuisisi data pada antarmuka pengguna halaman utama

## G. Pembacaan Data pada Antarmuka Pengguna Registrasi

Tampilan antarmuka pengguna registrasi memiliki fungsi utama untuk melakukan input data jenis kelamin, usia, dan berat badan untuk perhitungan THRmax dan THRmin pada halaman utama. Gambar 9 menjelaskan diagram alir registrasi.



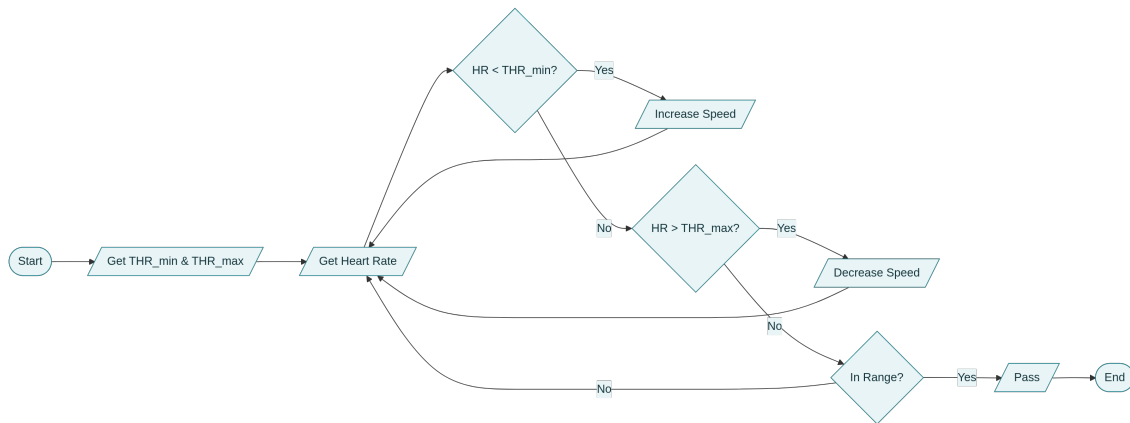
Gambar 9: Diagram alir pembacaan data pada antarmuka pengguna registrasi

## H. Akuisisi Data pada Antarmuka Pengguna Treadmill

Tampilan antarmuka pengguna treadmill memiliki fungsi untuk menampilkan data denyut jantung, langkah, kalori, kecepatan, waktu, dan jarak. Pada tampilan tersebut juga ditampilkan kecepatan treadmill yang sesuai serta mode perhitungan THRmax dan THRmin. Gambar 10 menjelaskan diagram alir treadmill. Selain itu, pada antarmuka pengguna juga terdapat tombol untuk menaikkan dan menurunkan kecepatan secara manual.

Pada antarmuka pengguna terdapat tiga perhitungan dalam pengoperasian perangkat treadmill:

1. Perhitungan otomatis kecepatan berdasarkan data denyut jantung. Kecepatan akan dinaikkan apabila denyut jantung belum mencapai THRmin dan akan diturunkan ketika denyut jantung telah melebihi THRmax. Kecepatan akan dinaikkan setiap 2 detik hingga mencapai THR yang telah ditentukan sesuai dengan mode yang dipilih oleh pengguna.
2. Perhitungan kalori dilakukan untuk menampilkan data kalori. Perhitungan kalori berbeda antara laki-laki dan perempuan [4]. Perhitungan kalori ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 10: Diagram alir pengendalian kecepatan pada treadmill

Untuk laki-laki:

$$\text{Calories} = [(0.2 \times \text{BPM}) + 0.1147 \times \text{berat badan}] \times \text{waktu} \quad (6)$$

Untuk perempuan:

$$\text{Calories} = [(0.2 \times \text{BPM}) + 0.074 \times \text{berat badan}] \times \text{waktu} \quad (7)$$

Persamaan 6 dan Persamaan 7 menggunakan data denyut jantung, berat badan, usia, dan waktu. Selanjutnya data tersebut dihitung untuk mendapatkan nilai kalori.

- Perhitungan jarak dilakukan untuk menampilkan data jarak lari. Perhitungan jarak ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{Distance} = \frac{\text{Speed}}{3600} \times \text{Time} \quad (8)$$

Persamaan 8 menggunakan data kecepatan treadmill yang dibagi dengan lama waktu latihan.

## I. Akuisisi Data pada Antarmuka Pengguna Rekap

Tampilan antarmuka pengguna memiliki fungsi untuk menampilkan visualisasi data rekap denyut jantung dalam bentuk grafik pada tab grafik. Rekap pada tab tersebut menampilkan data kecepatan, denyut jantung rata-rata, denyut jantung maksimum, total langkah, frekuensi langkah, kalori, jarak, dan waktu tempuh. Gambar 11 menjelaskan diagram alir antarmuka pengguna rekap.

Pada antarmuka pengguna dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai denyut jantung rata-rata, denyut jantung maksimum, dan frekuensi langkah.

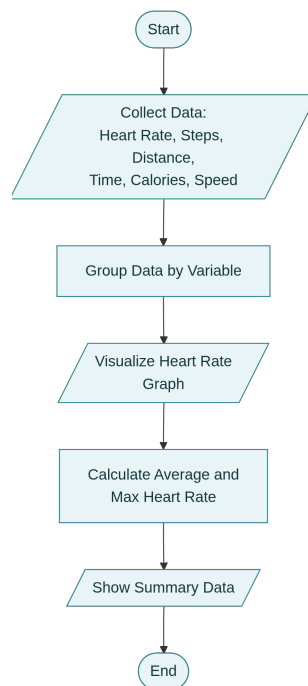
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui visualisasi data denyut jantung (*Heart Rate*) yang diperoleh setelah melakukan latihan treadmill. Visualisasi dilakukan setelah berlari di atas treadmill selama sepuluh menit. Data denyut jantung diambil setiap dua puluh lima detik untuk memperoleh grafik yang dapat diamati. Subjek penelitian adalah seorang laki-laki dengan berat badan 63 kg dan berusia 22 tahun. Percobaan dilakukan menggunakan mode kecepatan aerobik dengan THRmin sebesar 150 BPM dan THRmax sebesar 164 BPM.

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada awal latihan denyut jantung pengguna berada pada rentang 80–120 BPM. Selanjutnya perangkat akan meningkatkan kecepatan setiap lima detik hingga mencapai THRmin sebesar 150 BPM. Ketika THRmin telah tercapai, perangkat secara otomatis tidak akan menambah kecepatan meskipun denyut jantung berada di bawah THRmin.

Pada Gambar 12 juga diketahui bahwa ketika subjek telah mencapai target, denyut jantung sesaat tidak mengalami penurunan, tetapi justru meningkat hingga melewati batas THRmax yaitu sebesar 164 BPM. Pada kondisi ini, perangkat kemudian akan menurunkan kecepatan setiap dua detik agar denyut jantung tetap berada di antara THRmin dan THRmax.





Gambar 11: Akuisisi data pada antarmuka pengguna recap



Gambar 12: Grafik BPM pada antarmuka pengguna recap

#### IV. KESIMPULAN

Pengembangan sistem pengendalian kecepatan treadmill otomatis berbasis data sensor PPG (*photo-plethysmogram*) pada *single board computer* menggunakan smartwatch mampu menentukan kecepatan treadmill secara otomatis dengan cara menetapkan nilai THRmin dan THRmax penggunaannya. Pengguna dengan jenis kelamin laki-laki, berusia 22 tahun, dan memiliki berat badan 63 kg memperoleh nilai THRmin sebesar 150 BPM dan THRmax sebesar 164 BPM. Jika ditinjau pada grafik yang ditampilkan pada layar recap, dapat dilihat bahwa tren BPM akan meningkat pada awal latihan akibat peningkatan penggunaan kecepatan treadmill setiap 5 detik hingga mencapai THRmin. Setelah mencapai THRmin,



nilai BPM akan terus meningkat hingga mencapai THRmax, kemudian kecepatan treadmill akan secara otomatis diturunkan untuk mencapai THR.

## References

- [1] reps id.com, “Complete treadmill workout program, jadikan tubuh anda mesin pembakar lemak sesungguhnya!,” 2014, accessed: 2018-03-29. [Online]. Available: <http://reps-id.com/complete-treadmill-workout-program-jadikan-tubuh-anda-mesin-pembakar-lemak-sesungguhnya/>
- [2] L. Somanathan and I. Khalil, “Fitness monitoring system based on heart rate and SpO2 level,” in *Proceedings of IEEE/EMBS Region 8 International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine (ITAB)*, IEEE, 2010, pp. 1–4.
- [3] Xiaomi Inc., “Xiaomi mi band 2,” accessed: 2018-03-29. [Online]. Available: <https://www.mi.com/global/miband2>
- [4] L. R. Keytel, J. H. Goedecke, T. D. Noakes, H. I. Hiiloskorpi, R. Laukkanen, and E. V. Lambert, “Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise,” *Journal of Sports Sciences*, vol. 23, no. 3, pp. 289–297, 2005. Note: Original study published in 2005.