



TESIS - TE142599

**DETEKSI DENYUT NADI MANUSIA BERBASIS
PHOTOPLETHYSMOGRAPHY (PPG) PADA VIDEO
MENGUNAKAN *DISCRETE FOURIER
TRANSFORM* (DFT)**

FARID SURYANTO
NRP 2215205001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
Prof. Dr. Imam Robandi, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**DETEKSI DENYUT NADI MANUSIA BERBASIS
PHOTOPLETHYSMOGRAPHY (PPG) PADA VIDEO
*MENGGUNAKAN DISCRETE FOURIER
TRANSFORM (DFT)***

FARID SURYANTO
2215205001

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
Prof. Dr. Imam Robandi, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



THESIS - TE142599

HEART RATE DETECTION BASED ON VIDEO PHOTOPLETYSMOGRAPHY (PPG) USING DISCRETE FOURIER TRANSFORM (DFT)

FARID SURYANTO
NRP 2215205001

SUPERVISOR

Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
Prof. Dr. Imam Robandi, MT.

MAGISTER PROGRAM
MULTIMEDIA NETWORKING
ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

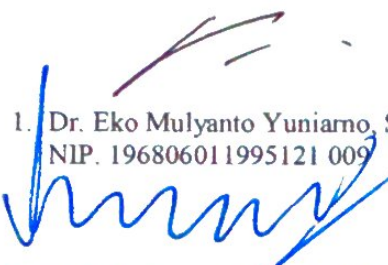
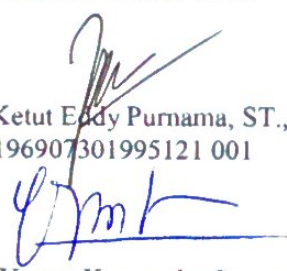
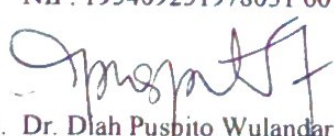
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Farid Suryanto
NRP. 2215205001

Tanggal Ujian : 9 Januari 2017
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT. (Pembimbing I)
NIP. 196806011995121 009
2. Prof. Dr. Imam Robandi, M.Eng. (Pembimbing II)
NIP. 19630817199003 1 001
- 
3. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT. (Penguji)
NIP. 196907301995121 001
4. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, MSc. (Penguji)
NIP. 195409251978031 001
- 
5. Dr. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc. (Penguji)
NIP. 198012192005012 001

an. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Djauhar Manfaat, M.Eng.
NIP. 196012021987011 001

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 196012021987011 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“DETEKSI DENYUT NADI MANUSIA BERBASIS PHOTOPLETHYSMOGRAPHY (PPG) PADA VIDEO MENGGUNAKAN DISCRETE FOURIER TRANSFORM (DFT)”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2016

Farid Suryanto

NRP. 2215205001

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETEKSI DENYUT NADI MANUSIA BERBASIS PHOTOPLETHYSMOGRAPHY (PPG) PADA VIDEO MENGUNAKAN *DISCRETE FOURIER TRANSFORM* (DFT)

Nama mahasiswa : Farid Suryanto
NRP : 2215205001
Pembimbing : 1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
2. Prof. Dr. Imam Robandi, MT.

ABSTRAK

Denyut nadi manusia merupakan informasi penting untuk mengetahui kondisi fisiologis maupun psikologis manusia. Denyut nadi berkaitan secara langsung dengan denyut jantung karena denyut nadi merupakan dampak dari perubahan volume darah pada nadi yang disebabkan oleh aktifitas jantung yang memompa darah ke seluruh tubuh secara periodik. Rasio denyut jantung berubah bergantung pada kondisi fisiologis maupun psikologis yang mempengaruhi.

Pengukuran rasio denyut jantung di dunia medis pada umumnya menggunakan ECG (*Electrocardiogram*) atau *Blood Pressure Measurement*. Penelitian ini mengkaji kemungkinan untuk mengetahui rasio denyut jantung menggunakan teknik *Photoplethysmography* (PPG) melalui kamera *smartphone*. Sinyal PPG diperoleh dari perubahan warna yang terjadi pada jaringan mikrovaskular dibawah kulit akibat perubahan volume darah.

Kamera yang digunakan dalam ujicoba adalah kamera utama pada *smartphone* Samsung J1. Pengukuran dilakukan dengan menempelkan jari pada kamera dengan sebagian jari mengenai *flash* LED kamera *smartphone* yang menyala. Bersamaan dengan perekaman video pada *smartphone*, pada subjek juga dilakukan pengukuran denyut jantung menggunakan alat medis yang tersedia. Hasil pengukuran menggunakan alat medis digunakan sebagai data referensi. Deteksi denyut nadi pada sinyal PPG yang diekstraksi dari video *smartphone* dilakukan menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Hasil perhitungan denyut nadi pada sinyal PPG dibandingkan dengan data referensi untuk menemukan nilai koefisien korelasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal PPG yang merupakan representasi dari aktifitas denyut nadi manusia dapat terdeteksi pada video yang direkam menggunakan kamera utama *smartphone*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi (0,9) antara data HR yang diukur berdasarkan sinyal PPG yang terdeteksi pada video dengan data HR referensi.

Kata Kunci : Heart Rate (HR), Photoplethysmograph (PPG), DFT

Halaman ini sengaja dikosongkan

HEART RATE DETECTION BASED ON VIDEO PHOTOPLETHYSMOGRAPH (PPG) USING DISCRETE FOURIER TRANSFORM (DFT)

By : Farid Suryanto
Student Identity Number : 2215205001
Supervisor(s) : 1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.
2. Prof. Dr. Imam Robandi, MT.

ABSTRACT

Heart Rate (HR) is important information to know the physiological and psychological condition of human. The pulse rate is directly related to heart rate for the pulse of the impact of changes in the volume of blood in the veins caused by the activity of the heart that pumps blood throughout the body periodically. The ratio of the heart rate will change depending on the physiological and psychological conditions that affect.

Heart rate measurement in the medical world in general use ECG (Electrocardiogram) or Blood Pressure Measurement. This study examines the possibility to know the ratio of the heart rate using a technique Photoplethysmography (PPG) through the smartphone's camera. PPG signal obtained from the color changes in microvascular tissue under the skin due to changes in blood volume.

The camera used in the trial was the main camera on the smartphone Samsung J1. Measurements were made by attaching a finger at the camera with a finger portion of the smartphone camera flash LED which lights up. Along with the video recording on smartphones, on the subject of heart rate measurement is also done using medical devices available. The results of measurements using a medical instrument used as reference data. Detection pulse on PPG signal is extracted from the video smartphone conducted using Discrete Fourier Transform (DFT). The results of calculations on the signal pulse PPG compared with reference data to find the correlation coefficient.

The results showed that the PPG signal which is a representation of the activities of the human pulse can be detected in the recorded video using the main camera smartphone. This is indicated by the correlation coefficient is quite high (0.9) between the data HR measured based PPG signals detected at the video with the data HR reference.

Keywords : Heart Rate (HR), Photoplethysmograph (PPG), Discrete Fourier Transform (DFT)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

”Orang yang berpendikan harus adil sejak dalam pikiran”, itulah ungkapan sastrawan Pramoedya Ananta Tour dalam karya tetralogi *Bumi Manusia*. Ungkapan tersebut menjadi spirit bagi saya untuk berusaha menempatkan pola pikir yang proporsional dan objektif sehingga saya berharap apa yang saya kerjakan dalam dunia akademis ini semakin mendekat pada kata ’adil’. Saya berusaha meletakkan keyakinan bahwa proses yang dilakukan selama menempuh proses menjadi ’murid’ hanyalah sebuah model yang spiritnya akan selalu dibawa dalam kehidupan sosial kemasyarakatan.

”Kecepatan melebihi kesempurnaan, kebermanfaatan melebihi kepintaran” (Imam Robandi dalam *Menggali Rasa*). Sebelum dibagikan dalam sebuah buku, ungkapan tersebut sudah sering sekali saya dengar dalam setiap waktu kebersamaan dengan Prof. Imam Robandi ketika menebar spirit di berbagai tempat di pelosok-pelosok nusantara. Ungkapan tersebut juga menjadi nafas baru dan memberikan optimisme tingkat tinggi kepada saya, sehingga saya berani menempuh jalan sulit yakni mengabdikan diri pada Ilmu Pengetahuan. Maka tidak ada pilihan lain selain membumikan dan mendayagunakan segala pengetahuan yang saya peroleh untuk kebermanfaatan dalam bingkai kemanusiaan.

Ungkapan terimakasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Imam Robandi dan Dr. Eko Mulyanto Yuniarno sebagai ’guru’ dan pembimbing yang inspirasi dan semangatnya tidak pernah habis. Atas bimbingan beliau pula penelitian tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Ungkapan terimakasih saya sampaikan juga kepada kedua orangtua semoga jalan yang saya tempuh ini menjadi kebaikan yang tidak terputus untuk mereka. Kepada istri (Etty Ika M) dan anak (Shifreno Avisena F) yang selalu menunggu pulang. Dan juga kepada seluruh rekan-rekan JPSM (Jaring Penggerak Sekolah dan Madrasah) Indonesia yang semangat mereka tidak pernah berbatas untuk terus memberi harapan dan optimisme untuk pendidikan di Indonesia.

Surabaya, 21 Desember 2016

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Riset Terkait	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 KAJIAN TEORI	5
2.1 Fisiologi Jantung dan Sistem Peredaran Darah Manusia	5
2.2 Pengukuran Denyut Jantung	6
2.3 Photoplethysmograph (PPG)	6
2.4 Video Plethysmography	9
BAB 3 METODOLOGI	13
3.1 Pengambilan Data	13
3.2 Ekstraksi Data	14
3.3 Filter Data	18
3.4 Identifikasi Sinyal PPG	20
3.5 Pengukuran <i>Heart Rate Variability</i> (HRV)	22
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 ROI	25
4.2 Ekstraksi Video Berdasarkan Jenis Perangkat	31
4.2.1 Samsung J1	32

4.2.2	Asus Zenfon C	33
4.2.3	Lenovo A6000	34
4.2.4	Meizu M2 Note.....	35
4.2.5	Samsung Galaxy Grand	35
4.3	Filter Data.....	36
4.4	Deteksi Puncak.....	41
4.5	Deteksi Sinyal PPG	44
4.6	Validasi Heart Rate (HR)	51
4.6.1	Pengukuran 60 detik Video	52
4.6.2	Pengukuran 20 Detik Video	55
BAB 5	PENUTUP	59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	61
	<i>Halaman ini sengaja dikosongkan</i>	<i>62</i>
	BIODATA PENULIS.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber node rangsangan listrik pada jantung (Clifford, 2012)	5
Gambar 2.2 Tipe sinyal ECG untuk satu denyut.....	6
Gambar 2.3 Prinsip kerja sensor PPG [7]	7
Gambar 2.4 Pola sinyal PPG dan ECG yang bersesuaian.....	8
Gambar 2.5 Representasi warna RGB dalam system koordinat tiga dimensi (a), visualisasi warna dalam RGB (b).....	11
Gambar 3.1 Blok diagram penelitian	13
Gambar 3.2 Blok diagram ekstraksi video	14
Gambar 3.3 Contoh salah satu frame pada video yang direkam menggunakan Samsung J1 (a) dan Samsung Galaxy Grand (b)	15
Gambar 3.4 Citra asli yang belum dilakukan tresholding (a) dan citra yang sudah dilakukan tresholding (b)	16
Gambar 3.5 Blok terpilih yang digunakan sebagai area acuan untuk melakukan ekstraksi sinyal PPG.....	17
Gambar 3.6 Proses ekstraksi video	18
Gambar 3.7 Polynomial Curve Fitting (a) dan sinyal terfilter (b).....	20
Gambar 4.1 ROI pada salah satu frame yang dihasilkan dari perangkat Samsung J1 (a) Red, (b) Green, (c) Blue dan Samsung G3 Stylus (d) Red, (e) Green, (f) Blue.	25
Gambar 4.2 ROI pada salah satu frame tanpa tresholding (a) dan menggunakan tresholding (b)	26
Gambar 4.3 Histogram untuk data asli (a) dan data yang dilakukan tresholding (b)	28
Gambar 4.4 Ekstraksi dari ROI tanpa tresholding (a) dan ekstraksi dari ROI dengan tresholding (b).....	29
Gambar 4.5 ROI pada salah satu frame video yang direkam menggunakan Xiaomi	30
Gambar 4.6 Hasil ekstraksi video yang direkam menggunakan perangkat Xiaomi. Gambar a adalah ekstraksi pada video tanpa menggunakan tresholding dan Gambar b adalah ekstraksi yang menggunakan tresholding	31
Gambar 4.7 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Samsung J1 (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).....	33
Gambar 4.8 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Asus Zenfon C (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).....	34
Gambar 4.9 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Lenovo A6000 (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).....	35
Gambar 4.10 Sinyal yang diekstrak dari Spartphone Meizu M2 Note menggunakan channel merah.....	35

Gambar 4.11 Sinyal yang diekstrak dari Spartphone Samsung Galaxy Grand menggunakan channel merah	36
Gambar 4.12 Noise yang muncul setelah dilakukan filter data	37
Gambar 4.13 Pola sinyal PPG dalam domain frekwensi yang stabil	37
Gambar 4.14 Perbandingan frekwensi antara sinyal yang sudah dilakukan filtering dengan sinyal yang belum dilakukan filtering menggunakan 3 polynomial	38
Gambar 4.15 Perbandingan frekwensi antara sinyal yang sudah dilakukan filtering dengan sinyal yang belum dilakukan filtering menggunakan 6 polynomial	38
Gambar 4.16 Sinyal merah menunjukkan data yang sudah dilakukan S-G Filtering dan sinyal biru menunjukkan sinyal asli.....	39
Gambar 4.17 Proses pemotongan noise pada sinyal.....	40
Gambar 4.18 Perbandingan sinyal yang sudah dilakukan pemotongan noise dengan sebelumnya.....	41
Gambar 4.19 Proses pencarian local peaks (titik puncak lokal) menggunakan Brute Force Algorithm.....	41
Gambar 4.20 Ilustrasi hasil Brute Force Algorithm yang mendeteksi semua puncak lokal (a), Brute Force Algorithm untuk menentukan R-peak menggunakan peak-distance	42
Gambar 4.21 Deteksi puncak pada sinyal PPG tanpa batasan peak-distance (a) dan menggunakan batasan peak-distance (b)	43
Gambar 4.22 Sinyal harmonik dalam domain waktu dan sinyal terkait dalam domain frekwensi	44
Gambar 4.23 Sinyal PPG stdalam domain waktu dan konersinya dalam domain frekwensi	45
Gambar 4.24 Noise yang terjadi pada awal sinyal	46
Gambar 4.25 Contoh sinyal yang mengandung noise yang menyebar di beberapa bagian.....	47
Gambar 4.26 Proses deteksi sinyal PPG.....	48
Gambar 4.27 Hasil segmentasi berdasarkan deteksi puncak sinyal, masing-masing segmen memuat 5 titik puncak (a). Sinyal PPG yang diperoleh (b).....	49
Gambar 4.28 Hasil ujicoba deteksi sinyal PPG pada sinyal yang memiliki noise tersebar di beberapa bagian. Gambar atas menunjukkan hasil segmentasi dan Gambar bawah menunjukkan hasil deteksi.	50
Gambar 4.29 Perhitungan DFT untuk segmen sinyal ke-4 (lihat Gambar 4.28-b)	50
Gambar 4.30 R-R Interval untuk sinyal hasil proses deteksi PPG	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1: Wearable Device pengukur Heart Rate	9
Tabel 3-1 Analisis dalam Domain Waktu untuk HRV (Heart Rate Variability) ..	22
Tabel 3-2 Variabel statistic untuk melakukan analisa HRV	23
Tabel 4-1 Penentuan ROI pada masing-masing blok. Index pada table ini menunjukkan blok untuk frame terpilih.....	27
Tabel 4-2 Nilai rata-rata pixel untuk setiap blok. M1 adalah frame asli (red channel) dan M2 adalah frame yang sudah dilakukan tresholding	28
Tabel 4-3 Frekwensi pada segmen terkait. Lihat Gambar 4.28 untuk melihat ilustrasi segmentasi sinyal.....	50
Tabel 4-4 Data HRV untuk metode M1 pada durasi video 60 detik dengna HR referensi diperoleh dari Blood Pressure	53
Tabel 4-5 Data HRV untuk metode M2 pada durasi video 60 detik.....	53
Tabel 4-6 Data HRV untuk metode M3 pada durasi video 60 detik.....	53
Tabel 4-7 Data HRV untuk metode M4 pada durasi video 60 detik.....	54
Tabel 4-8 Data statistik untuk 4 metode pengukuran HR menggunakan 60 detik durasi video	54
Tabel 4-9 Data HRV untuk metode M1 pada durasi video 20 detik.....	55
Tabel 4-10 Data HRV untuk metode M2 pada durasi video 20 detik.....	55
Tabel 4-11 Data HRV untuk metode M3 pada durasi video 20 detik.....	56
Tabel 4-12 Data HRV untuk metode M4 pada durasi video 20 detik.....	56
Tabel 4-13 Data statistik untuk 4 metode pengukuran HR menggunakan 20 detik durasi video	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

P	= Vektor untuk nilai rata-rata pixel setiap blok pada frame yang ditentukan
\bar{P}_n	= Nilai rata-rata pixel pada blok ke-n pada frame yang ditentukan
P_{init}	= Inisial untuk blok terpilih pada frame yang ditentukan
$f(x)$	= Fungsi polynomial curve fitting
a_i	= Koefisien polynomial
M'	= Matrik data PPG terfilter
M	= Matrik data PPG asli
F	= Matrik polinomial $f(x)$
$F[n]$	= <i>Discrete Fourier Transform</i> (DFT)
e	= Eksponensial
j	= Bilangan imajiner ($\sqrt{-1}$)
π	= pi
w	= Jumlah data setiap segmen pada data PPG
H	= Jumlah data PPG
T_i	= Titik puncak pada segmen ke-i pada data PPG
fps	= Frame rate video
v_i	= Nilai frekwensi pada segmen ke-i
bpm	= Beat per minutes (jumlah denyut dalam satu menit)
$\overline{\Delta T}$	= Rata-rata jarak antar puncak

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Denyut jantung (*Heart Rate*) manusia menyimpan informasi penting untuk mengungkapkan beberapa aspek kesehatan manusia. Agar informasi yang berkaitan dengan denyut jantung dapat diketahui maka denyut jantung harus diukur. Denyut jantung diukur berdasarkan jumlah denyut dalam satu menit (*beat per minutes/bpm*). Pola dari denyut jantung yang diukur dapat menunjukkan tingkat kebugaran, keberadaan penyakit, stres atau kelelahan, dan penyumbatan di arteri akibat diabetes atau kadar kolesterol tinggi. (Yu, et al., 2013)

Pengukuran denyut jantung untuk kepentingan medis secara umum menggunakan *Electrocardiogram* (ECG). Teknik pengukuran ini sudah lazim digunakan pada standar medis, namun memerlukan perangkat khusus dan sumber daya terlatih. Perangkat lain yang dapat digunakan untuk mengukur denyut nadi adalah *Blood Pressure Measurement* yang pada umumnya digunakan pada lengan atau pergelangan tangan.

Perkembangan teknologi portable cukup pesat dan para peneliti sudah mengembangkan teknik baru untuk mengukur HR tanpa menggunakan sinyal ECG. Metode yang digunakan untuk memperoleh data denyut jantung adalah menggunakan data optik yang diperoleh dari teknik pengukuran *Photoplethysmograph* (PPG). Sensor optik pada kamera menangkap perubahan warna kulit yang disebabkan oleh perubahan volume pembuluh darah sebagai akibat dari aktifitas jantung yang memompa darah ke seluruh tubuh (Bolkhovskiy & Christopher, 2012). Agar perubahan warna kulit dapat ditangkap oleh sensor maka pada sebagian area kulit diberikan iluminasi cahaya LED (*Light Emitting Diode*).

Dengan menggunakan prinsip pada teknik PPG maka terdapat kemungkinan bahwa kamera juga dapat digunakan sebagai sensor untuk menangkap perubahan

warna akibat perubahan volume pada pembuluh darah. Dengan melakukan ekstraksi terhadap data video yang memuat informasi aktifitas denyut nadi maka dapat diperoleh sinyal PPG. *Beat-to-beat* data dari sinyal PPG memberikan informasi tentang nilai HR yang dihitung berdasarkan rata-rata jumlah denyut (*pulse*) dalam satu satuan waktu. Jika nilai HR dapat diketahui melalui data video yang diperoleh oleh kamera maka terdapat kemungkinan bahwa kamera dapat digunakan sebagai alat monitoring kondisi kesehatan yang mudah dan dapat digunakan oleh setiap orang.

1.2 Riset Terkait

Jeffrey B. Boltkhovsky dan Chirstoper G. Schully (2012) melakukan penelitian tentang korelasi antara nilai HR yang diperoleh dari dua smartphone yang berbeda (Droid dan iPhone 4s) dengan nilai HR yang diperoleh dari sinyal ECG. Analisis dilakukan menggunakan metode *Pearson Correlation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier antara pengukuran HR berbasis sinyal PPG smartphone dengan pengukuran HR berbasis sinyal ECG. Hasil penenelitian menyatakan bahwa smartphone dapat digunakan sebagai alat pengukuran HR secara *real-time*. (Bolkhovsky & Christopher , 2012)

Rong-Chao Peng, dkk (2014) melakukan penelitian tentang ekstraksi *Heart Rate Variability* (HRV) dari sinyal berbasis PPG pada smartphone. Penelitian tersebut mengeksplorasi 16 parameter HRV yang mencakup domain waktu, domain frekwensi, dan non-linier parameter. Dari 30 sample yang diuji diperoleh hasil bahwa 14 parameter HRV dari sinyal PPG memiliki nilai korelasi yang tinggi ($r > 0.7$, $P < 0.001$) terhadap data yang diperoleh dari sinyal ECG. Penelitian menggunakan *red-channel* video untuk memperoleh sinyal PPG. Hasil pengamatan menyatakan bahwa nilai pixel pada *G-channel* dan *B-channel* cenderung nol dan perubahan warna pada *R-channel* terlihat jelas dibandingkan dengan *channel* G dan B. (Peng, et al., 2015)

1.3 Rumusan Masalah

Pengukuran denyut nadi berbasis PPG secara umum menggunakan sensor *Photo Dioda* (PD) yang penggunaannya memerlukan perangkat khusus. Penelitian

ini mengkaji kemungkinan deteksi aktifitas denyut nadi manusia menggunakan data video yang diambil menggunakan kamera smartphone. Kamera pada smartphone bertindak sebagai sensor sepertihalnya sensor Photo Dioda.

Penelitian ini mengkaji perubahan warna yang terjadi pada video sebagai representasi dari aktifitas denyut jantung manusia. Data video yang diperoleh dari smartphone menggunakan tiga *channel* warna yaitu *red* (R), *green* (G) dan *blue* (B). Tahap awal penelitian ini mengeksplorasi ekstraksi sinyal berdasarkan channel warna. Hasil ekstraksi sinyal yang paling baik digunakan sebagai data utama dalam menentukan nilai HR.

Ekstraksi sinyal dari video smartphone sangat dipengaruhi oleh intensitas *flash* LED kamera, kekuatan jari saat menempel pada lensa kamera, dan gerakan jari saat menyentuh lensa kamera (B.M & Holi, 2015). *Region of Interest* (ROI) dari data video diperlukan agar informasi sinyal PPG diperoleh secara optimal. Penentuan ROI pada penelitian sebelumnya (Peng, et al., 2015) hanya menempatkan area pada tengah-tengah image sebesar 80x80 pixel. Jika fitur perubahan warna terjadi pada tepian image maka ROI yang ditentukan tidak dapat menangkap fitur yang diharapkan. Oleh karena itu, diperlukan metode ROI yang fleksibel agar fitur perubahan warna dapat diperoleh dengan baik.

Hasil ekstraksi data dari video tidak selalu memuat informasi sinyal PPG. Oleh karena itu diperlukan metode untuk melakukan identifikasi sinyal PPG pada data hasil ekstraksi. Identifikasi sinyal PPG penting dilakukan agar sinyal PPG masih dapat diperoleh walaupun berada diantara noise yang disebabkan oleh *motion artifact*.

1.4 Tujuan

Mendeteksi aktifitas denyut nadi manusia menggunakan data video yang direkam menggunakan *smartphone* pada ROI yang diusulkan menggunakan Discrete Fourier Transform (DFT).

1.5 Manfaat

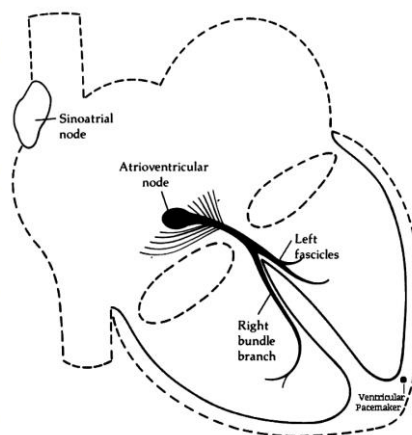
Hasil penelitian dapat digunakan sebagai rujukan dalam membuat aplikasi smartphone sebagai alat medis portable untuk mengukur nilai HR. Melalui nilai HR dapat diperoleh informasi mengenai tingkat stress atau kepanikan. Oleh karena itu penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengetahui kemungkinan nilai HR yang diperoleh dari sinyal PPG kamera smartphone dapat digunakan sebagai salah satu variable dalam Serious Game (SG) berbasis mobile device untuk mengukur tingkat kepanikan dalam sebuah test atau training.

BAB 2 KAJIAN TEORI

2.1 Fisiologi Jantung dan Sistem Peredaran Darah Manusia

Jantung pada manusia merupakan organ yang sangat penting karena berperan untuk memompa darah yang membawa oksigen dan nutrisi ke seluruh tubuh. Jantung manusia dikendalikan oleh serangkaian pelepasan listrik dari node lokal tertentu didalam otot jantung. Muatan listrik dari node tertentu merambat melalui otot jantung dan merangsang kontraksi secara terkoordinasi untuk memompa darah yang terdeoksigenasi melalui paru-paru (untuk oksigenasi) dan kembali ke dalam sistem vaskular. (Clifford, 2012)

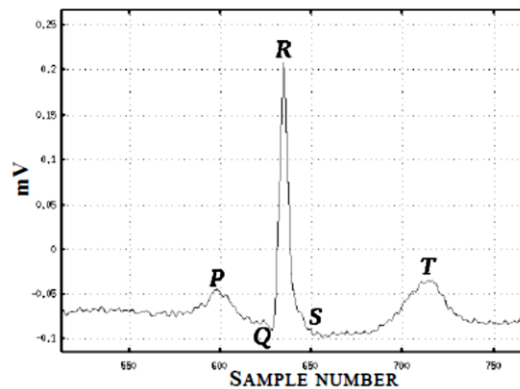
Pada jantung normal, setiap denyut dimulai dengan stimulasi node sinoatrial (SA) pada atrium kanan (lihat Gambar 2.1) yang menyebabkan depolarisasi dari otot jantung di wilayah ini. Impuls menyebar dari node SA untuk mendepolarisasi atrium (atas dua rongga). Sinyal listrik kemudian mencapai node atrioventrikular (AV), yang terletak di atrium sebelah kanan. Kondisi ini menyebabkan jantung berdenyut dengan frekwensi antara 100-120 bpm. Jika impuls dari node SA tidak sampai ke node AV maka node AV mengambil alih sebagian pemicu jantung tetapi dengan frekwensi yang lebih rendah yaitu antara 40-60 bpm. (Clifford, 2012)



Gambar 2.1 Sumber node rangsangan listrik pada jantung (Clifford, 2012)

2.2 Pengukuran Denyut Jantung

Pengukuran denyut nadi di dunia medis secara umum menggunakan *Electrocardiogram* (ECG). ECG merekam aktifitas otot jantung melalui beberapa elektroda berdasarkan perubahan muatan listrik pada otot jantung. Gambar 2.2 menunjukkan bahwa sinyal ECG terdiri dari tiga bagian yaitu P-wave, QRS Complex, dan T-wave. P-wave disebabkan oleh fluktuasi tegangan rendah yang disebabkan oleh depolarisasi dari atrium sebelum kontraksi. QRS merupakan bagian terbesar dari amplitudo ECG yang disebabkan oleh depolarisasi ventrikel. T-wave disebabkan oleh repolarisasi ventrikel. (Clifford, 2012)



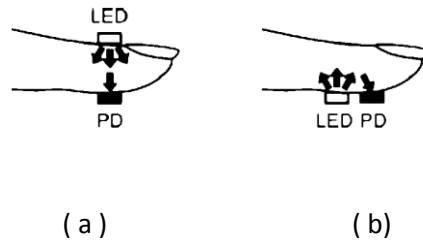
Gambar 2.2 Tipe sinyal ECG untuk satu denyut

Sinyal yang diperoleh dari ECG berasal dari perbedaan muatan listrik yang terjadi pada otot-otot jantung akibat polarisasi dan depolarisasi ventrikel. Polarisasi ventrikel menyebabkan amplitudo tertinggi pada gelombang sinyal ECG. Jarak antara puncak tertinggi gelombang dalam domain waktu disebut R-R interval. Waktu tempuh R-R interval inilah yang disebut dengan *Heart Rate* (HR). Pada kenyataannya R-R interval memiliki nilai yang berbeda untuk setiap denyutnya, oleh karena itu disebut *Heart Rate Variability* (HRV). (Clifford, 2012)

2.3 Photoplethysmograph (PPG)

Photoplethysmograph (PPG) adalah teknik pengukuran berbasis sensor optik yang mampu mendeteksi perubahan volume darah pada mikrovaskular pada jaringan kulit (Allen, 2007). Sensor PPG memonitor perubahan intensitas cahaya

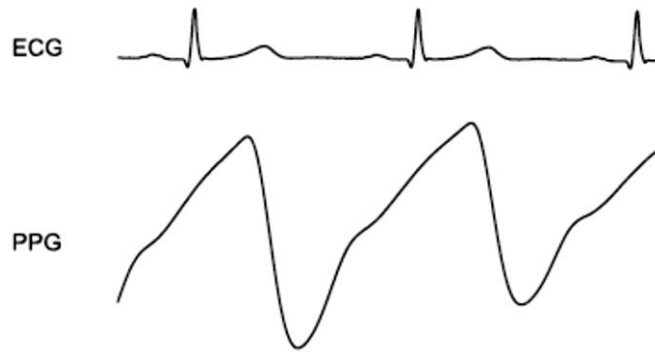
melalui refleksi cahaya yang melewati jaringan. Perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh fluktuasi darah pada jaringan memberikan informasi mengenai sistem kardiovaskular, khususnya, denyut nadi. (Tamura, et al., 2014)



Gambar 2.3 Prinsip kerja sensor PPG [7]

Gambar 2.3 menunjukkan dua model sensor PPG Pada Gambar 2.3 (a) cahaya yang dipancarkan dari LED diterima oleh Photo Dioda (PD) yang ditempatkan secara berlawanan. Sedangkan pada Gambar 2.3 (b) cahaya yang dipancarkan oleh LED menyebar melalui jaringan pada jari manusia dan PD menangkap refleksi cahaya yang menyebar melalui jaringan. (Tamura, et al., 2014)

Pada PPG terdapat Interaksi optikal yang kompleks antara cahaya dan struktur jaringan pada kulit yang meliputi penyebaran (*scattering*), penyerapan (*absorption*), pemantulan (*reflection*), dan perpindahan (*transmission*). 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. (Allen, 2007) Perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh PD maka menghasilkan sebuah sinyal yang kemudian disebut dengan sinyal PPG. Gambar 2.4 adalah contoh pola sinyal PPG. Gelombang pada sinyal PPG merepresentasikan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh PD.



Gambar 2.4 Pola sinyal PPG dan ECG yang bersesuaian.

Tidak hanya pada ujung jari, sinyal PPG juga dapat diperoleh melalui bagian tubuh lain seperti daun telinga dan pergelangan tangan. Persoalan utama dalam ekstraksi sinyal PPG adalah *movement artifacts* (MA) yaitu perubahan citra secara drastis akibat perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh perubahan tekanan jaringan pada sensor PD. (B.M & Holi, 2015)

Dua jenis LED yang dapat digunakan adalah LED dengan warna hijau dan merah. LED dengan warna hijau memiliki tingkat penyerapan oksihemoglobin dan deoksihemoglobin yang lebih baik dibandingkan dengan LED dengan warna merah. Beberapa *photoplethysmogram* yang tersedia secara komersial menggunakan LED dengan warna hijau. Misalnya, MIO Global telah mengembangkan MIO Alpha bekerjasama dengan Philips. Alat ini mengukur elektrokardiogram (EKG) dengan akurasi 99%, bahkan saat bersepeda pada kecepatan hingga 24 kmph. (Tamura, et al., 2014)

Pengukuran HR berbasis sensor PPG memungkinkan alat pengukur HR dibuat dengan pemakaian yang *portable* dan mudah digunakan. Sejak tahun 2004 beberapa perusahaan perangkat elektronik sudah mengembangkan alat pengukur HR portable berbasis PPG. Hingga tahun 2016, perkembangan alat pengukur HR berbasis PPG berkembang pesat. Tabel 2-1 menunjukkan beberapa perusahaan yang mengembangkan sensor PPG dan digunakan sebagai alat pengukuran HR. Sensor tersebut didesain sedemikian rupa sehingga dapat digunakan pada pergelangan tangan. Oleh karena itu alat pengukur HR dibuat selain fungsional

(merekam sinyal PPG dengan baik) juga memiliki unsur *stylis*. Beberapa alat juga terkoneksi dengan aplikasi smartphone sehingga monitor data HR dapat dieksplorasi lebih luas.

Tabel 2-1: Wearable Device pengukur Heart Rate

Nama Alat	Fitur	URL
AliveCor	Sensor PPG pada jari, terkoneksi smartphone app	http://www.alivecor.com/
ECG Check	Sensor PPG pada jari, terkoneksi smartphone app	http://www.ecgcheck.com/
Hexoskin	ECG (1 channel, 256Hz), Heart Rate: 30-220 BPM, 1Hz, QRS event detection: 4ms resolution, RR intervals: 4ms resolution HRV analysis, Quality assessment channels: Disconnection detection, 50-60Hz noise detection, Saturated ECG signal detection Movement artifact detection, RRintervals reliability detection	http://www.hexoskin.com/
LifeBEAM Cycling Helmet	Sensors: Optical heart-rate sensor & 3-axis accelerometer, Max. readable heart rate: 220 BPM, Min. readable heart rate: 30 BPM.	http://life-beam.com/

2.4 Video Plethysmography

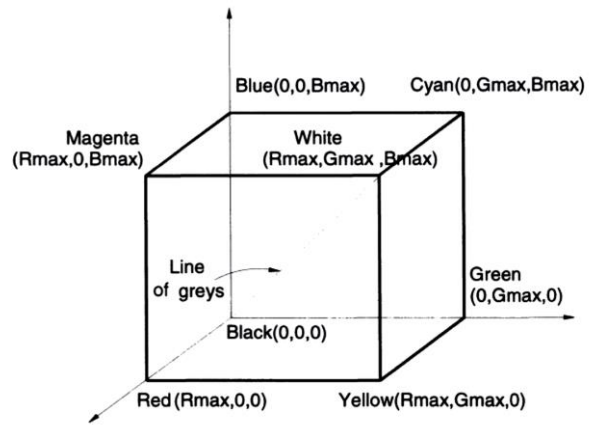
Kamera video dapat digunakan sebagai *Photo Detector* (PD) sinyal PPG, oleh karenanya disebut juga dengan *Video Plethysmography* (Tamura, et al., 2014). Oleh karena itu kamera smartphone atau webcam dapat digunakan sebagai sensor PPG. Terdapat dua cara untuk membuat kamera dapat digunakan sebagai detektor sinyal PPG yaitu *contact measurement* dan *contactless measurement*. Pada *contact*

measurement pengukuran dilakukan dengan menempelkan jari pada lensa dengan sebagian jari mengenai flash LED yang menyala. Kamera bertindak sebagai PD dan flash LED sebagai sumber cahaya yang merefleksikan sinyal PPG. Pada *contactless measurement*, pengukuran dapat dilakukan pada jarak yang cukup jauh (>1m) menggunakan cahaya ambient. (Tamura, et al., 2014).

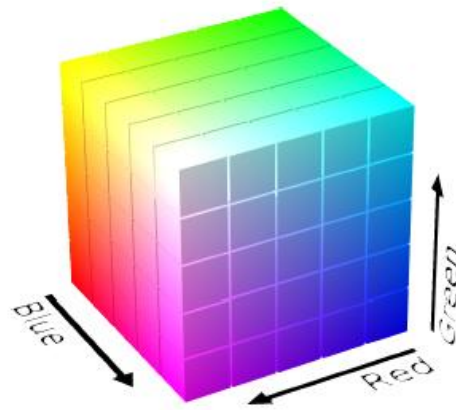
Prinsip dasar *video plethysmography* adalah sama dengan prinsip dasar PPG. Perbedaan paling mendasar pada video plethysmography adalah menggunakan image processing untuk mengolah data dan mengekstrak data tersebut menjadi sebuah sinyal yang merepresentasikan aktifitas denyut nadi manusia. Colour space (ruang warna) yang digunakan pada sebagian besar perangkat perekam video adalah RGB (Red Green Blue). Pada ruang warna ini, warna direpresentasikan sebagai campuran antara merah, hijau, dan biru. Colour space disebut juga dengan *colour coordinate system* (system koordinat warna) yang direpresentasikan dalam system koordinat tiga dimensi seperti pada Gambar 2.5-a. $R=G=B=0$ merepresentasikan warna hitam sedangkan $R_{max}=G_{max}=B_{max}=Max$ merepresentasikan warna putih atau intensitas maksimum. Kombinasi nilai R, G, dan B yang berbeda menimbulkan visualisasi warna yang juga berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 2.5-b.

Pada kasus perekaman menggunakan perangkat smartphone, LED yang digunakan adalah LED berwarna putih. Cahaya putih tersebut diserap, disebarkan, dan dipantulkan melalui jaringan kulit dan mikrovaskular yang didominasi oleh sel darah merah sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh sensor kamera juga didominasi oleh warna merah.

Perangkat perekam HR seperti pada Tabel 2-1 dapat terhubung dengan smartphone dan disediakan pula user interface (UI) untuk menampilkan data. Akan tetapi perangkat tersebut merupakan sensor PPG yang terpisah dengan smartphone. Samsung Galaxy S5 memiliki sensor PPG yang build-in dengan smartphone tetapi perangkat tersebut merupakan sensor khusus yang tidak semua smartphone memiliki sehingga penggunaannya terbatas.



(a)

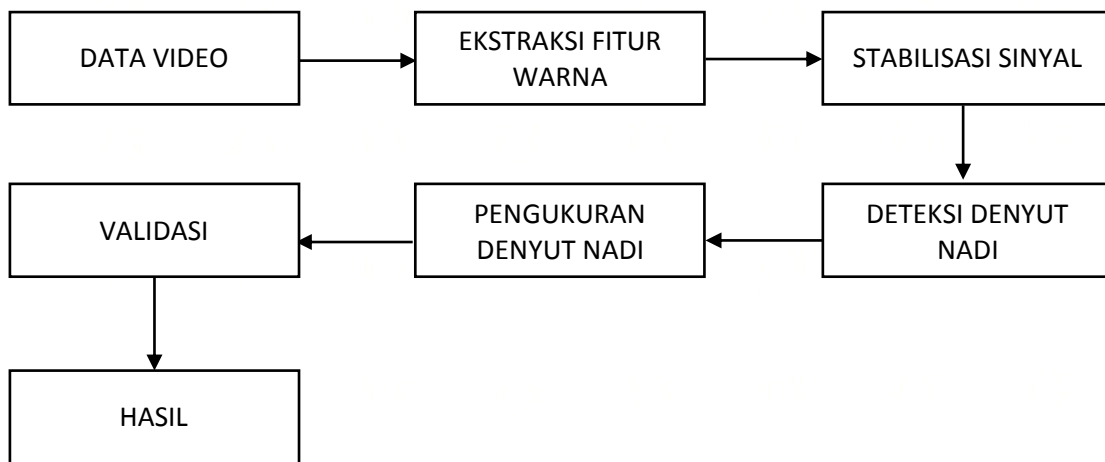


(b)

Gambar 2.5 Representasi warna RGB dalam system koordinat tiga dimensi (a), visualisasi warna dalam RGB (b)

BAB 3 METODOLOGI

Tiga tahap penting dalam metodologi penelitian ini adalah identifikasi PPG dari sinyal yang dihasilkan oleh ekstraksi video, melakukan filter data, dan melakukan analisis jika sinyal tersebut memuat informasi PPG. Tahapan penelitian secara terstruktur disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram penelitian

3.1 Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan video yang dihasilkan oleh perangkat smartphone sebagai data uji. Secara teknis pengambilan data dilakukan dengan menempelkan jari diatas lensa kamera dengan Flash LED perangkat dalam kondisi menyala. Iluminasi cahaya oleh Flash LED menyebabkan perubahan warna pada video terlihat jelas saat volume darah pada jaringan kulit berubah. Perubahan warna tersebut adalah fitur untuk mengetahui informasi tentang PPG. Perekaman dilakukan dalam durasi ± 60 detik dan selama perekaman berlangsung, juga dilakukan pengukuran Heart Rate (HR) menggunakan alat pengukur HR komersial yang digunakan sebagai data referensi.

Pengambilan data dilakukan dalam dua tahap yaitu; *pertama*, pengambilan data untuk melakukan pengujian perangkat dan *kedua*, pengambilan data untuk menguji akurasi pengukuran berdasarkan data referensi. Pengambilan data tahap pertama dilakukan untuk mencari perangkat yang menghasilkan sinyal PPG paling baik untuk kemudian digunakan sebagai alat pengambilan data pada tahap selanjutnya. Perangkat yang diuji adalah Samsung J100, Asus Zenfon C, Samsung Galaxy Grand, Samsung G3 Stylus, dan Xiaomi.

Pengujian pertama mengeksplorasi data yang diperoleh dari perekaman menggunakan beberapa perangkat smartphome. Pengujian ini menentukan perangkat yang menghasilkan sinyal paling baik, kemudian perangkat tersebut digunakan dalam pengambilan data pada tahap kedua. Sebelum dilakukan perekaman di tahap kedua, peneliti memastikan bahwa subjek tidak melakukan aktifitas olahraga dalam satu jam terakhir. Hal ini dilakukan agar data yang diperoleh merepresentasikan aktifitas denyut nadi pada kondisi yang normal. Pada saat perekaman subjek berada pada posisi duduk. Perekaman menggunakan perangkat smartphome dilakukan pada jari telunjuk sebelah kanan. Pengukuran denyut nadi menggunakan alat yang ditentukan sebagai data referensi dilakukan pada pergelangan tangan sebelah kiri sesuai dengan prosedur penggunaan alat.

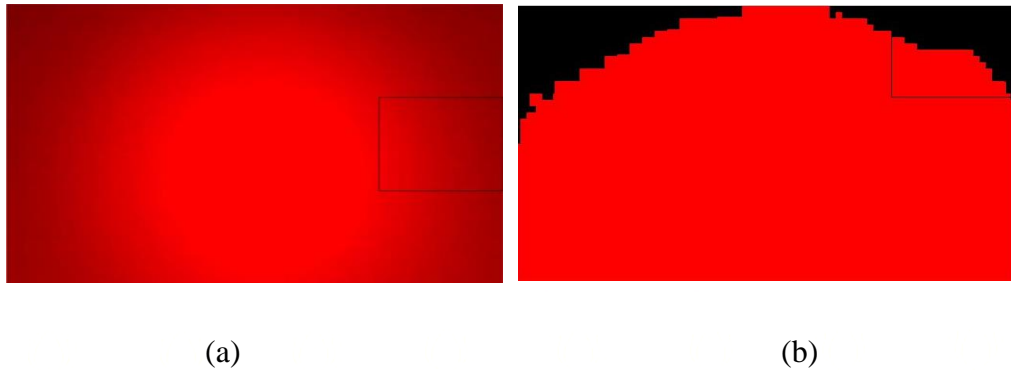
3.2 Ekstraksi Data

Ekstraksi data dalam hal ini adalah pengambilan fitur pada video dan mengkonversinya menjadi sinyal. Fitur yang digunakan adalah perubahan warna yang mengindikasikan perubahan volume darah pada mikrovaskular sebagai akibat dari aktifitas denyut jantung manusia. Proses ekstraksi data pada penelitian ini memuat tiga tahap yaitu penentuan Region of Interest (ROI), ekstraksi frame, dan konversi dari nilai pixel ke gelombang sinyal. Proses pengambilan data secara terstruktur disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok diagram ekstraksi video

Citra yang diperoleh dari perekaman video tidak selalu stabil. Kekuatan tekanan jari saat menyentuh lensa kamera mengakibatkan perubahan warna yang ditangkap oleh sensor kamera. Demikian juga dengan intensitas LED yang dipancarkan juga berpengaruh, sehingga perangkat yang berbeda terdapat kemungkinan menyebabkan perbedaan intensitas nilai pixel.

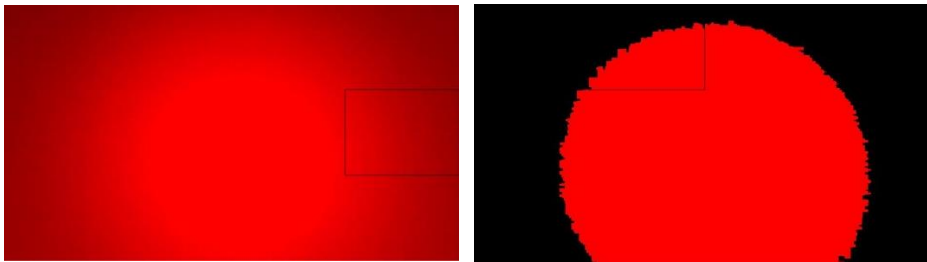


Gambar 3.3 Contoh salah satu frame pada video yang direkam menggunakan Samsung J1 (a) dan Samsung Galaxy Grand (b)

Ekstraksi data video menjadi sinyal secara umum terdapat dua metode yaitu; *pertama*, menggunakan seluruh area pada frame (*full-extraction*) dan *kedua*, mengambil sebagian area pada frame yang memuat fitur. Metode pertama melibatkan data yang cukup besar karena harus dilakukan pembacaan data untuk setiap pixel pada sebuah frame kemudian melakukan perhitungan nilai rata-rata pixel. Nilai rata-rata pixel pada satu frame adalah sama dengan satu titik sampel sinyal. Oleh karena itu metode yang kedua adalah efektif untuk melakukan ekstraksi data karena hanya mengambil sebagian area terpilih.

Mengambil sebagian area yang memuat fitur disebut juga dengan istilah *Region of Interest (ROI)*. ROI bertujuan untuk mencari bagian citra yang memuat fitur perubahan warna paling signifikan. Penelitian sebelumnya (Peng, et al., 2015) menentukan ROI secara manual yaitu dengan memposisikan area sebesar 80x80 pixel pada tengah-tengah image. Metode ini menyisakan permasalahan yaitu; bahwa area yang memiliki informasi sinyal PPG paling baik tidak selalu berada di posisi tengah image, tergantung pada pola tekanan jari diatas kamera.

Misalnya, pada contoh salah satu image seperti pada Gambar 3.3 (a), jika menggunakan area 80x80 pixel yang diposisikan pada tengah-tengah maka fitur yang diharapkan tidak dapat diperoleh dengan baik karena perubahan warna terjadi ditepian image. Oleh karena itu perlu dicari *Region of Interest* (ROI) dari citra yang memiliki perubahan warna paling signifikan.



Gambar 3.4 Citra asli yang belum dilakukan thresholding (a) dan citra yang sudah dilakukan thresholding (b)

ROI pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemindaian pada salah satu bagian frame yang ditentukan. Image pada frame yang terpilih dibagi menjadi 4x3 blok. Pemindaian dilakukan pada setiap blok untuk mencari bagian yang memuat nilai pixel paling heterogen. Bagian tersebut digunakan sebagai area acuan untuk melakukan ekstraksi. Secara detail langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan ROI pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Memilih sebuah frame diantara video yang stabil kemudian menentukan channel warna yang akan dilakukan ekstraksi.
- b) Menghitung nilai \bar{x} yakni nilai rata-rata channel warna terpilih. Nilai tersebut digunakan sebagai pembatas. Seluruh nilai pixel yang bernilai lebih dari \bar{x} maka diganti menjadi 255 sedangkan nilai pixel yang kurang dari \bar{x} diganti menjadi 0. Gambar 3.4 menunjukkan perbedaan citra asli dan citra yang sudah dilakukan thresholding dengan nilai batas adalah \bar{x} .
- c) Membagi citra menjadi 4x3 blok. Pada setiap blok dilakukan perhitungan nilai rata-rata pixel (\bar{P}). Blok yang memiliki nilai pixel paling heterogen ditandai dengan nilai \bar{P} yang paling mendekati 255/2. Blok yang memenuhi kriteria tersebut dipilih sebagai area acuan ekstraksi video. Gambar 3.5

adalah ilustrasi blok terpilih yakni blok yang memiliki perbedaan nilai pixel paling tinggi. Persamaan 3.1 dan 3.2 adalah persamaan untuk menentukan blok yang memiliki perbedaan nilai pixel paling tinggi.

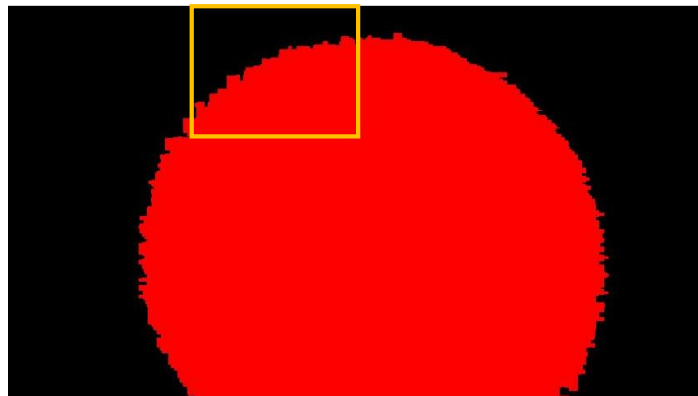
$$P_{init} = \left| \left(\frac{255}{2} \right) - \bar{P}_n \right| \tag{3.1}$$

$$P_i = \min(P_{init}) \tag{3.2}$$

P_{init} : Baris data nilai rata-rata channel warna yang ditentukan

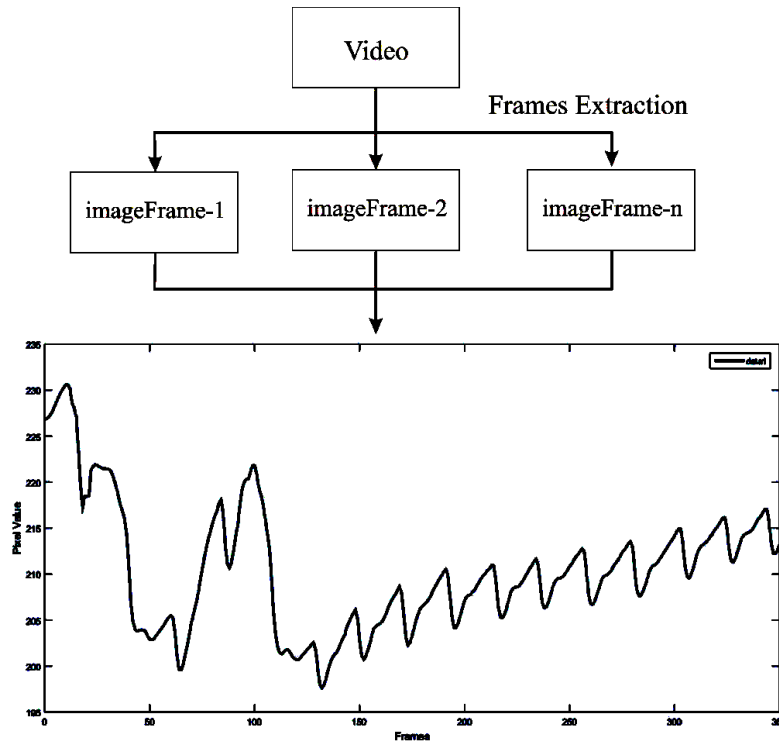
P_i : Blok terpilih

\bar{P}_n : Nilai rata-rata pixel pada blok ke-n.



Gambar 3.5 Blok terpilih yang digunakan sebagai area acuan untuk melakukan ekstraksi sinyal PPG

Ekstraksi video dilakukan dengan mengambil image setiap frame kemudian menghitung nilai rata-rata untuk masing-masing channel warna pada blok terpilih. Gambar 3.5 adalah contoh blok terpilih dari image pada salah satu frame yang dijadikan acuan. Penelitian ini menggunakan video dengan 30 fps (frame per second). Oleh karena itu untuk satu detik video diperoleh 30 image atau 30 sampel data. Proses ekstraksi disajikan seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses ekstraksi video

Video yang dihasilkan memiliki tiga channel warna yaitu *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B). Tahap pertama peneliti menguji channel warna yang menghasilkan sinyal paling baik. Channel warna yang menghasilkan sinyal terbaik digunakan dalam proses pengolahan data lebih lanjut.

3.3 Filter Data

Sinyal yang dihasilkan dari ekstraksi video tidak selalu stabil. Pergerakan atau perubahan tekanan jari (*motion artifact*) saat menyentuh kamera menyebabkan perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh kamera. Hal ini juga menyebabkan amplitude berubah saat dilakukan ekstraksi video. Filter data pada penelitian ini bertujuan untuk membuat sinyal memiliki amplitude yang lebih stabil.

Filter data pada penelitian ini menggunakan *Polynomial Curve Fitting* (PCF). Nilai $f(x)$ pada persamaan 3.3 menyatakan fungsi polynomial dengan a adalah nilai koefisien x , dan i adalah jumlah polynomial yang diberikan. Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan koefisien a_i berdasarkan nilai x, y dan i yang

diberikan. Persamaan 3.3 diubah dalam bentuk matrik sehingga untuk menemukan koefisien a_i dapat digunakan invers matrik A seperti yang diberikan pada persamaan 3.4.

Polynomial Curve Fitting:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_ix^i = a_0 + \sum_{i=1}^i a_ix^i \quad 3.3$$

$f(x)$ = Fungsi polynomial curve fitting

Dalam bentuk matrik:

$$A = \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^j \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{j+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{j+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^j & \sum x_i^{j+1} & \sum x_i^{j+2} & \dots & \sum x_i^{j+j} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 y_i \\ \sum x_i^4 y_i \\ \sum x_i^j y_i \end{bmatrix} \quad 3.4$$

$$B = A^{-1}C \quad 3.5$$

Jika M adalah matrik sinyal yang dihasilkan dari ekstraksi video dan F adalah matrik fungsi polynomial curve fitting $f(x)$ maka matrik data terfilter (M') didefinisikan seperti pada persamaan.

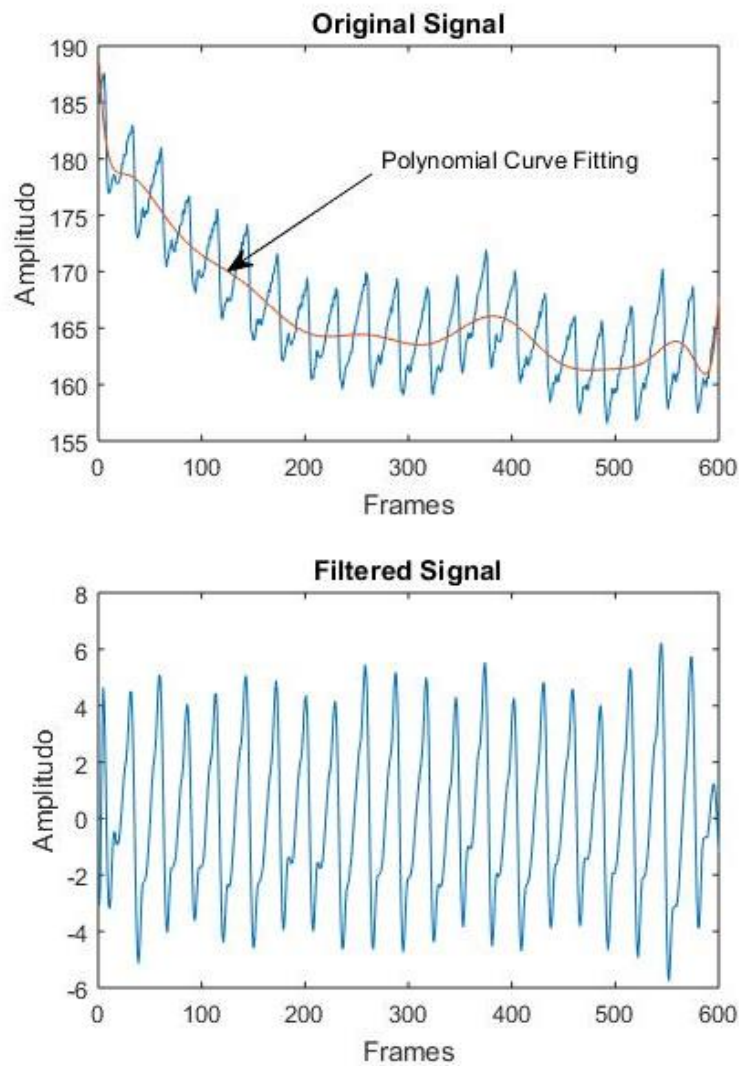
$$M' = M - F \quad 3.6$$

M' = Matrik data PPG terfilter

M = Matrik data PPG asli

F = Matrik polinomial $f(x)$

Pada Gambar 3.7 (a) terlihat bahwa fungsi PCF $f(x)$ memetakan setiap titik x sehingga membentuk sebuah kurva. Dengan mengurangkan M dengan $f(x)$ maka diperoleh sinyal M' yakni sinyal yang sudah terfilter seperti yang terlihat pada Gambar 3.7 (b).



Gambar 3.7 Polynomial Curve Fitting (a) dan sinyal terfilter (b)

3.4 Identifikasi Sinyal PPG

Sinyal yang diekstrak dari video tidak selalu memuat PPG, oleh karena itu perlu diketahui frekwensi dari sinyal tersebut agar informasi PPG dapat diketahui. Penelitian ini menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk mengkonversi sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekwensi.

Discrete Fourier Transform (DFT):

$$F[n] = \sum_{k=0}^{N-1} f[k] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad (n = 0: N - 1) \quad 3.7$$

$F[n]$ = Matrik data PPG dalam domain frekwensi, N = DFT size (ukuran data DFT),
 $f[k]$ = Matrik data PPG dalam domain waktu, n = Index data PPG dalam domain frekwensi, k = Index data PPG dalam domain waktu.

Dalam bentuk matrik:

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ X_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-\frac{j2\pi}{N}} & e^{-\frac{j2\pi n}{N}} \\ 1 & e^{-\frac{j2\pi k}{N}} & e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_n \end{bmatrix} \quad 3.8$$

Nilai *Heart Rate* (HR) dihitung berdasarkan jarak rata-rata R-R interval dalam durasi waktu tertentu. Oleh karena itu *local peaks* perlu diketahui sehingga jarak R-R interval juga dapat dihitung. Indeks dari amplitudo maksimum pada sinyal dalam domain frekwensi digunakan sebagai acuan untuk menghitung titik puncak *local peaks*. Perhitungan titik puncak *local peaks* dilakukan dengan cara membagi sinyal menjadi beberapa bagian. Sebagai contoh, frekwensi sinyal yang diperoleh adalah sebesar v Hz, jumlah data adalah H , dan *frame rate* adalah fps maka banyaknya data per bagian (w) dihitung berdasarkan persamaan:

$$w = \frac{H}{v} \times fps \quad 3.9$$

w : Banyaknya data per segmen

Penentuan titik puncak (T_i) local peaks dari sinyal M dihitung dengan persamaan:

$$T_i = \begin{cases} \max(M), & \max(M) \neq f(x_{i \times n}) \\ & \max(M) \neq f(x_{(i \times n) + n}) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad 3.10$$

P_i = Titik puncak pada segmen ke- i

Nilai HR dihitung berdasarkan rata-rata jarak antar puncak local peaks. Penentuan nilai bpm (beat per minutes) dihitung menggunakan persamaan:

$$bpm = \frac{fps \times 60}{\overline{\Delta T}} \quad 3.11$$

$$\Delta T = M(n + 1) - M(n) \quad 3.12$$

bpm : Beat per minutes (jumlah denyut dalam satu menit)

fps : Frame per secon (jumlah frame dalam satu detik)

ΔT : Jarak antar puncak

$\overline{\Delta T}$: Rata-rata jarak antar puncak

3.5 Pengukuran *Heart Rate Variability* (HRV)

Seperti yang sudah ditulis pada Bab 2 bahwa R-R interval atau N-N (Normal to Normal) interval nilainya tidak selalu tetap dipengaruhi oleh aktifitas otot jantung. Oleh karena itu aktifitas denyut jantung disebut *Heart Rate Variability* (HRV). Terdapat tiga cara pengukuran HRV yaitu pengukuran dalam domain waktu, pengukuran secara geometris, dan pengukuran dalam domain frekwensi. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran HRV dalam domain waktu dengan variable pengukuran seperti pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Analisis dalam Domain Waktu untuk HRV (Heart Rate Variability)

Variabel	Unit	Deskripsi
Mean NN	ms	Nilai rata-rata R-R interval
SDNN	ms	Standar deviasi R-R interval
Min NN	ms	Nilai R-R interval minimum
Max NN	ms	Nilai R-R interval maksimum
MinMaxNNDiff	ms	Perbedaan nilai maksimum minimum untuk R-R interval
Mean HR	bpm	Nilai rata-rata denyut nadi
SDHR	bpm	Standar deviasi denyut nadi
HRDiff	bpm	Perbedaan (selisih) antara nilai HR referensi dengan nilai HR hasil perhitungan

Untuk menghitung tingkat akurasi perhitungan HR maka digunakan data referensi nilai HR yang diperoleh dari pengukuran HR menggunakan alat pengukur denyut nadi komersial. Data referensi digunakan untuk menghitung error rate. Beberapa variable error rate dijelaskan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Variabel statistic untuk melakukan analisa HRV

Statistik		Deskripsi
Mean of HR error		Nilai rata-rata perbedaan antara HR referensi dengan HR hasil ujicoba
Standart Deviation of Error		Standar deviasi dari nilai perbedaan antara HR referensi dengan HR hasil ujicoba
Person's Correlation coefficient		Koefisien korelasi antara nilai HR referensi dengan nilai HR hasil ujicoba
Success Rate		Tingkat akurasi pengukuran HR, yaitu persentase pengukuran yang benar. Nilai HR dikatakan benar jika masih berada pada ambang toleransi 4 BPM

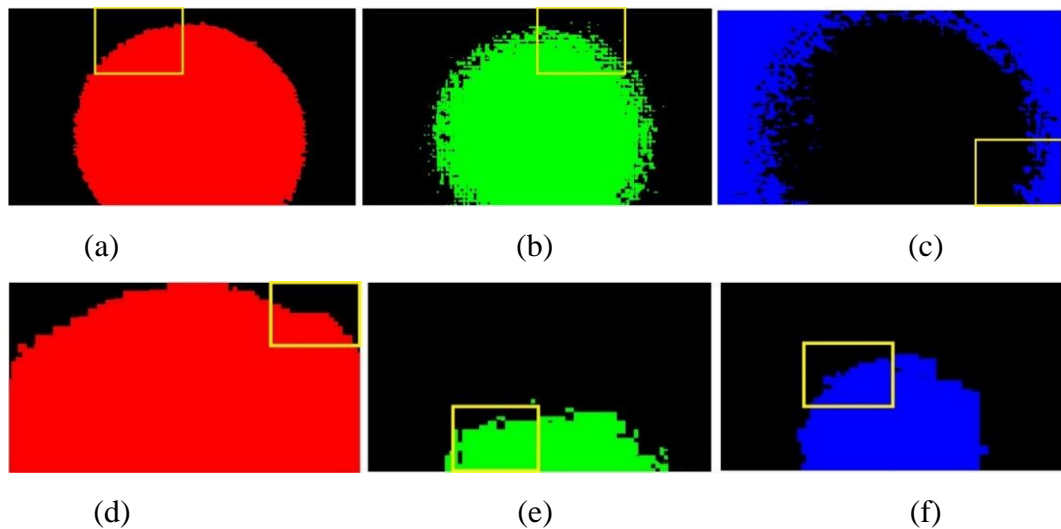
Hasil yang baik untuk analisa statistic dalam perhitungan HRV ditunjukkan dengan nilai *Mean of Error* yang kecil, *Standart Deviation of Error* yang kecil, *Pearson's Correlation Coefficient* yang besar, dan *Success Rate* yang besar.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terdiri dari beberapa pokok pembahasan diantaranya adalah hasil ujicoba *Region of Interest* (ROI), filter data, deteksi puncak, deteksi sinyal PPG, dan analisa statistik pengukuran *Heart Rate* (HR) berbasis data video yang direkam menggunakan perangkat smartphone. Pembahasan untuk masing-masing hasil ujicoba adalah sebagai berikut:

4.1 ROI

Peneliti melakukan ujicoba penentuan ROI dengan metode yang diajukan. Ujicoba dilakukan terhadap salah satu frame video untuk tiga channel warna yang berbeda yaitu *Red*, *Green*, dan *Blue*.



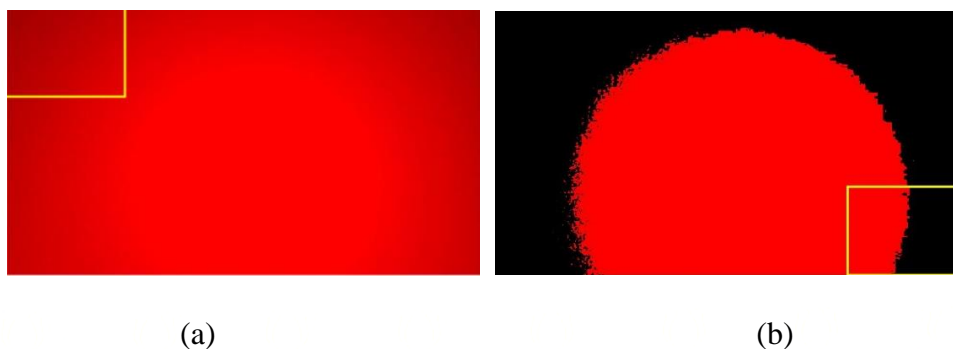
Gambar 4.1 ROI pada salah satu frame yang dihasilkan dari perangkat Samsung J1 (a) Red, (b) Green, (c) Blue dan Samsung G3 Stylus (d) Red, (e) Green, (f) Blue.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa metode yang diajukan untuk menentukan ROI (ditunjukkan dengan kotak kuning) adalah cukup akurat. Blok yang terpilih adalah blok yang memiliki nilai rata-rata pixel mendekati $255/2$. Pada Gambar 4.1 nilai rata-rata pixel yang mendekati $225/2$ ditunjukkan dengan nilai minimum untuk

setiap channel warna. Blok terpilih selanjutnya digunakan sebagai area acuan untuk melakukan ekstraksi video. Hal ini disebabkan karena area tersebut dianggap sebagai area yang memiliki informasi sinyal PPG lebih banyak dibandingkan area lain.

ROI menggunakan metode yang diusulkan pada Bab 3, berhasil mendeteksi blok yang memiliki nilai pixel paling heterogen. Gambar 4.1 (d) adalah contoh salah satu frame yang diekstrak dari video yang direkam menggunakan Samsung G3 Stylus. Walaupun perubahan warna terjadi pada sebagian kecil area image akan tetapi menggunakan metode ROI yang diajukan dapat mendeteksi area yang memiliki perbedaan nilai pixel.

Gambar 4.1 adalah contoh frame yang sudah dilakukan tresholding menggunakan metode yang diajukan pada Bab 3. Hal ini dilakukan agar perbedaan warna dapat terlihat dengan baik sehingga proses pencarian ROI juga dapat diketahui hasilnya dengan jelas. Akan tetapi, untuk memastikan metode terbaik untuk melakukan ekstraksi data maka peneliti melakukan ujicoba ekstraksi menggunakan dua metode yaitu; pertama, melakukan ekstraksi data pada ROI terpilih tanpa melakukan tresholding pada image, dan kedua, melakukan ekstraksi data pada ROI terpilih dengan terlebih dahulu melakukan tresholding pada image.

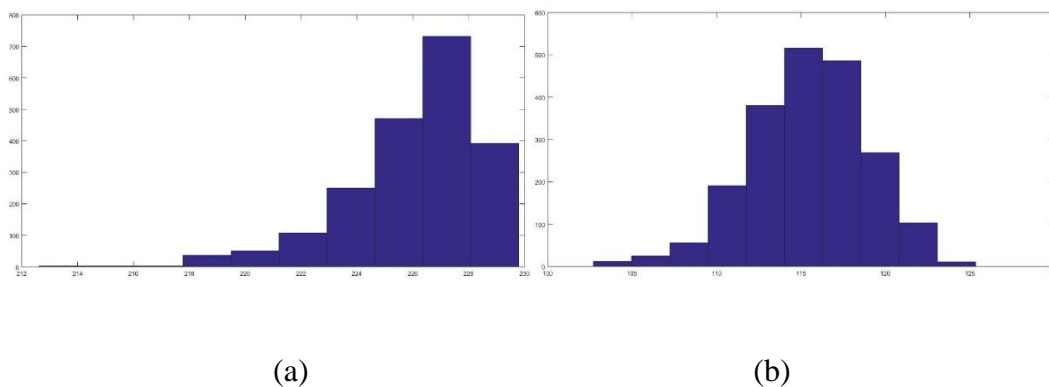


Gambar 4.2 ROI pada salah satu frame tanpa tresholding (a) dan menggunakan tresholding (b)

Tabel 4-1 Penentuan ROI pada masing-masing blok. Index pada table ini menunjukkan blok untuk frame terpilih.

Perangkat	Chn	Index											
		(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)
Samsung J1	R	127.4	10.5	29.87	121.8	80.16	127.5	127.5	43.06	92.42	126.4	127.5	42.58
	G	127.5	28.93	3.48	125.58	102.09	122.51	126.55	76.69	108.31	115.92	124.7	79.34
	B	109.74	68.43	87.53	85.94	41.47	124.16	127.5	33.95	42.31	126.41	127.5	33.05
Samsung G3 Stylus	R	62.41	88.3	104.9	15.15	118.53	127.5	127.5	126.64	127.5	127.5	127.5	127.5
	G	127.5	127.5	127.5	127.5	127.5	126.64	127.07	127.5	119.94	57.93	99.59	85.5
	B	127.5	127.5	127.5	127.5	127.5	4.3	19.9	127.15	118.1	124.29	127.5	122.48

Gambar 4.2 (a) adalah salah satu image (red channel) yang diambil dari sebuah frame. Tresholding pada Gambar 4.2 (b) dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung nilai rata-rata pixel (*red channel*) pada keseluruhan image. Nilai pixel yang lebih dari nilai rata-rata diganti menjadi 255 sedangkan nilai pixel yang kurang dari rata-rata diganti menjadi nol. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa terdapat perbedaan posisi ROI antara frame yang tidak diberlakukan tresholding dengan frame yang diberlakukan tresholding. Histogram pada Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan distribusi data antara dua metode ekstraksi.



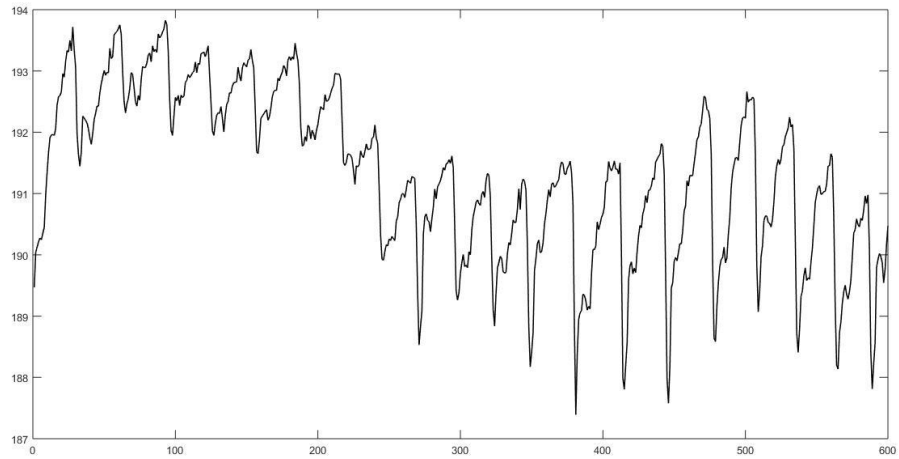
Gambar 4.3 Histogram untuk data asli (a) dan data yang dilakukan tresholding (b)

Tabel 4-2 Nilai rata-rata pixel untuk setiap blok. M1 adalah frame asli (*red channel*) dan M2 adalah frame yang sudah dilakukan tresholding

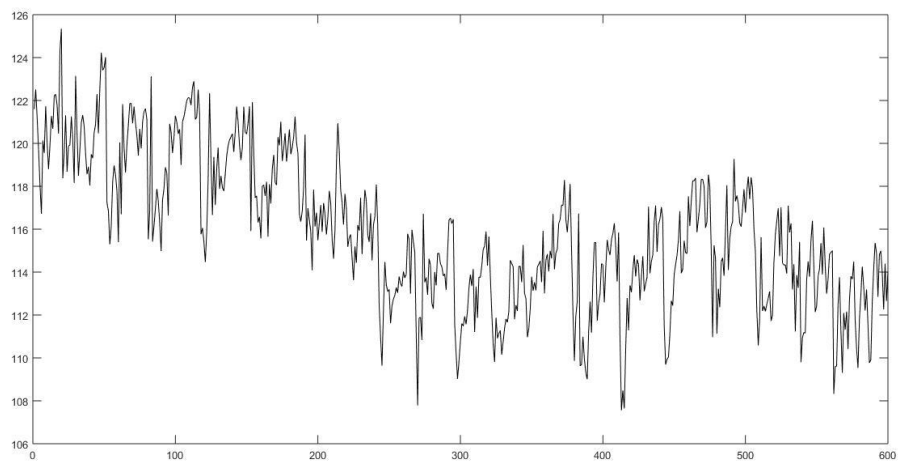
M	Index											
	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)
M1	64.76	105.7	109	71.17	87.6	126.2	127.3	96.7	92.1	126.2	127.3	100.8
M2	125.4	12.6	36.5	116	67.3	127.5	127.5	24.4	57.6	127.5	127.5	7.22

Tabel 4-2 menunjukkan nilai rata-rata pixel untuk setiap blok dan ROI terpilih ditunjukkan dengan nilai minimum. Deteksi ROI untuk frame asli (M1) berada pada blok (1,1) sedangkan ROI untuk frame dengan tresholding berada pada blok (3,4) (lihat Gambar 4.2). Hasil ekstraksi untuk ROI terpilih ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pola sinyal hasil ekstraksi adalah berbeda. Hasil ekstraksi untuk frame yang sudah dilakukan tresholding (Gambar 4.4 b)

memiliki lebih banyak noise data dari pada frame asli yang tanpa dilakukan tresholding.



(a)

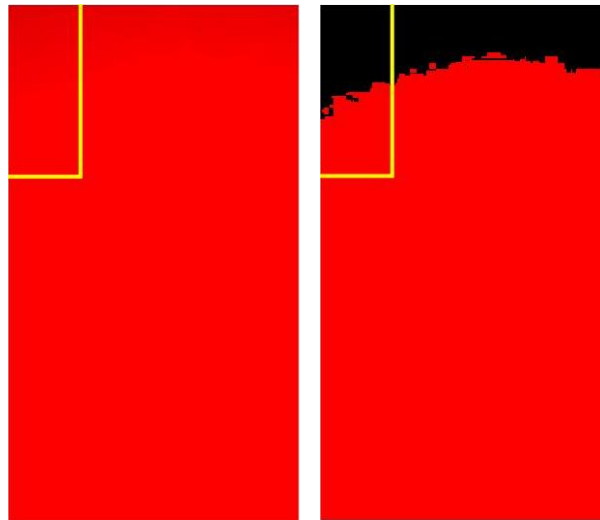


(b)

Gambar 4.4 Ekstraksi dari ROI tanpa tresholding (a) dan ekstraksi dari ROI dengan tresholding (b)

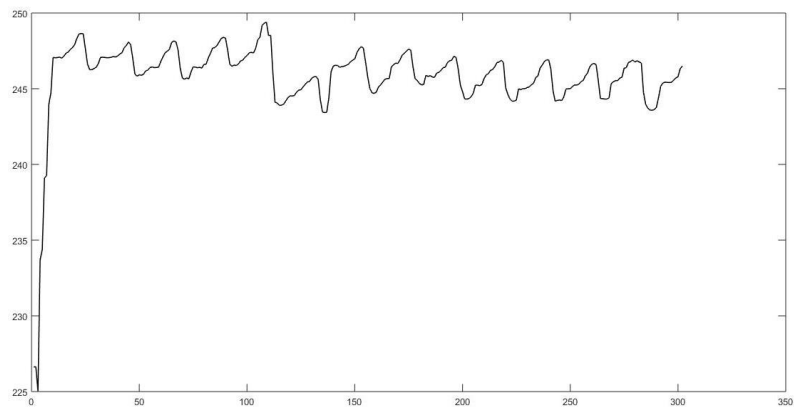
Noise data yang muncul setelah dilakukan tresholding akan mengganggu jika dilakukan proses yang lebih lanjut yaitu deteksi puncak lokal (*local peaks*). Oleh karena itu, pada proses ekstraksi selanjutnya peneliti menggunakan metode pertama (M1) yaitu melakukan ekstraksi tanpa melakukan tresholding pada data.

Perekaman video menggunakan perangkat berbeda tidak selalu memiliki orientasi dan ukuran image yang sama. Oleh karena itu, peneliti melakukan ujicoba terhadap video yang memiliki ukuran dan orientasi yang berbeda. Gambar 4.5 adalah contoh frame video yang direkam menggunakan perangkat Xiaomi. Image pada frame tersebut berorientasi poltrait dan berukuran 651x1366 pixel. Metode deteksi ROI yang diajukan berhasil mendeteksi area yang memiliki nilai pixel paling heterogen untuk orientasi dan ukuran image yang berbeda-beda.

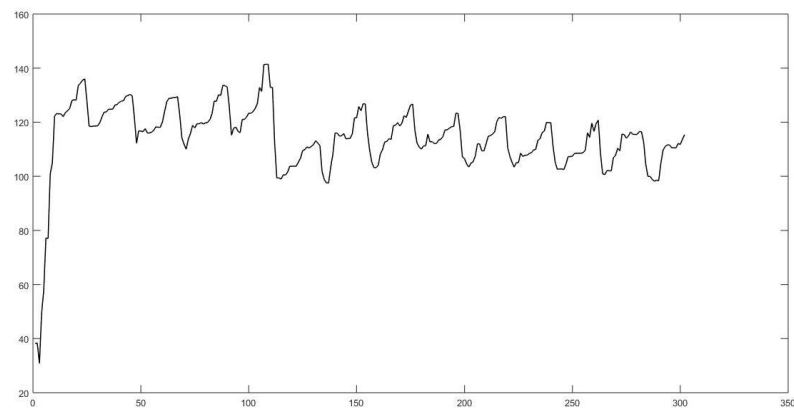


Gambar 4.5 ROI pada salah satu frame video yang direkam menggunakan Xiaomi

Ekstraksi data pada ROI terpilih juga dilakukan pada video yang direkam menggunakan perangkat Xiaomi. Hasil ekstraksi untuk dua metode yang berbeda menunjukkan pola sinyal yang sama, akan tetapi untuk frame yang sudah dilakukan tresholding seperti pada Gambar 4.6 (b), terdapat noise pada data hasil ekstraksi. Sementara itu hasil ekstraksi dari video yang tidak dilakukan tresholding menunjukkan noise data yang tidak terlalu tinggi.



(a)



(b)

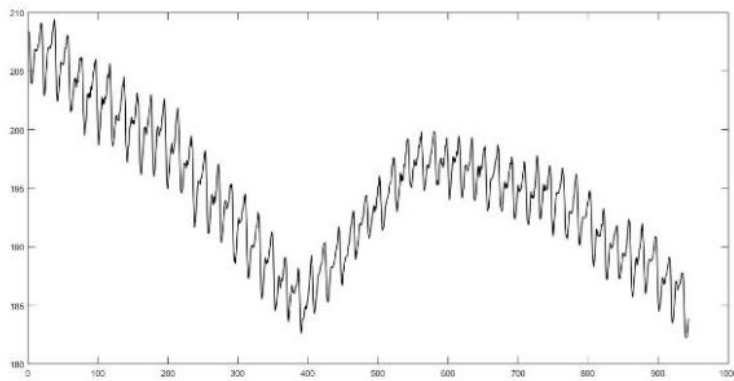
Gambar 4.6 Hasil ekstraksi video yang direkam menggunakan perangkat Xiaomi. Gambar a adalah ekstraksi pada video tanpa menggunakan tresholding dan Gambar b adalah ekstraksi yang menggunakan tresholding

4.2 Ekstraksi Video Berdasarkan Jenis Perangkat

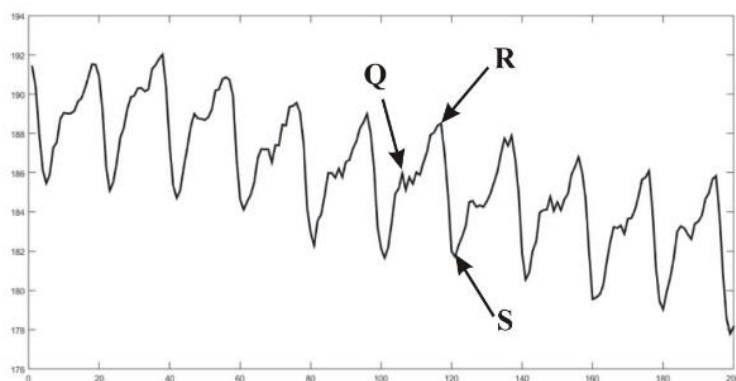
Peneliti melakukan pengambilan data video menggunakan beberapa model perangkat smartphone diantaranya Samsung J1, ASUS Zenfone C, dan Lenovo A6000 dengan tujuan untuk mengetahui perangkat yang menghasilkan sinyal paling baik. Sinyal yang baik dalam hal ini adalah sinyal yang memiliki informasi cukup jelas tentang QRS kompleks. Hasil ekstraksi untuk beberapa perangkat adalah sebagai berikut:

4.2.1 Samsung J1

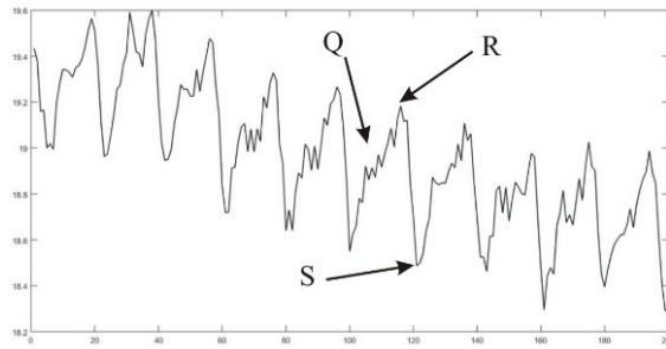
Sinyal yang diperoleh dari ekstraksi video yang direkam menggunakan Samsung J1 secara umum terlihat harmonic walaupun rentang amplitude berubah ubah seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 (a). QRS kompleks pada sinyal dari hasil ekstraksi video menggunakan red channel (Gambar 4.7-b) terlihat cukup jelas dengan beberapa noise pada area Q. Noise pada area Q terlihat cukup besar untuk sinyal yang diekstraksi dari Green Channel (Gambar 4.7-c). Pada sinyal yang diekstraksi dari blue channel memiliki noise yang cukup besar seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 (d). Video yang dihasilkan dari perangkat SamsungJ1 memuat informasi mengenai sinyal PPG dengan memanfaatkan ekstraksi dari channel R.



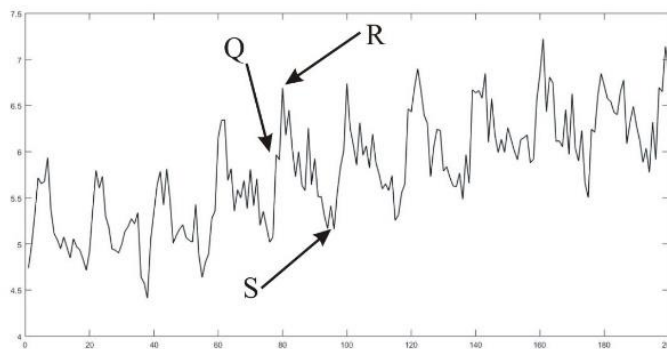
(a)



(b)



(c)

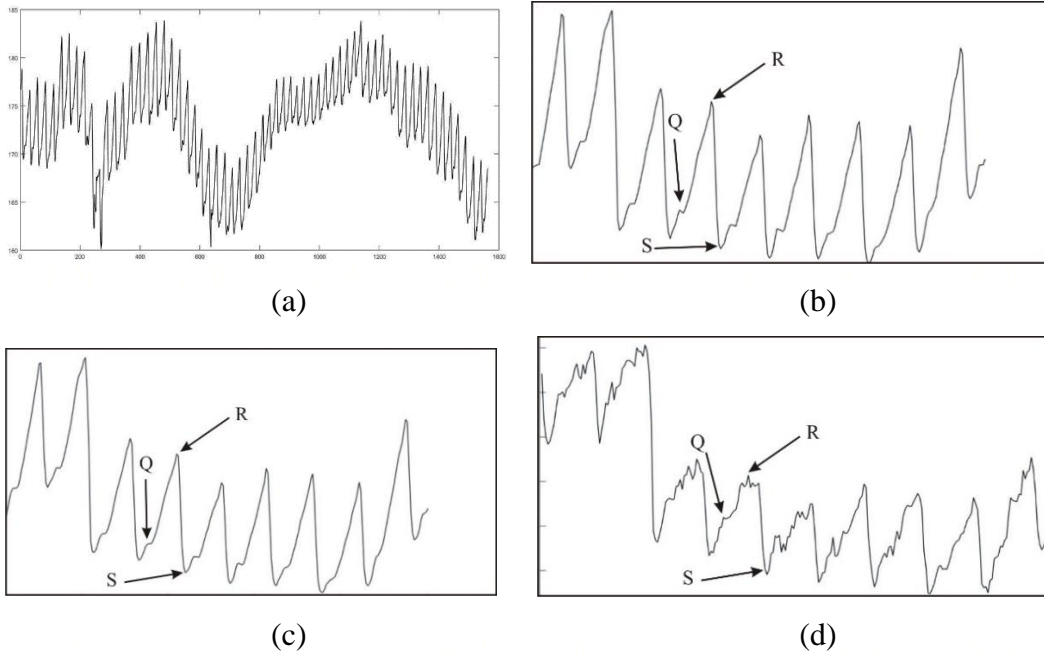


(c)

Gambar 4.7 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Samsung J1 (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).

4.2.2 Asus Zenfon C

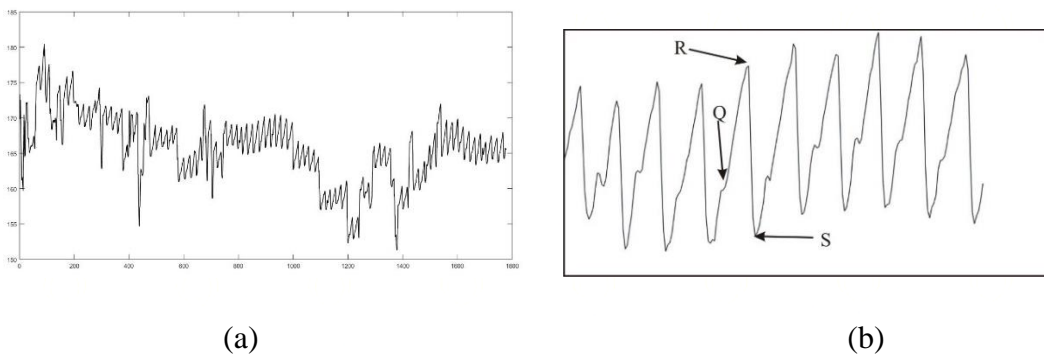
Sinyal yang diperoleh dari ekstraksi video yang direkam menggunakan perangkat Asus Zenfon C secara umum terlihat harmonis meskipun terlihat beberapa bagian yang terdapat *motion artifact* (lihat Gambar 4.8-a). QRS kompleks terdeteksi cukup baik pada sinyal yang diekstraksi menggunakan red channel (Gambar 4.8-b) dan *green channel* (Gambar 4.8-c). Terdapat noise yang cukup besar pada sinyal yang diperoleh dari ekstraksi *blue channel* seperti yang terlihat pada Gambar 4.8-d. Video yang dihasilkan dari perangkat Asus Zenfon C memuat informasi mengenai sinyal PPG dengan memanfaatkan ekstraksi dari channel R atau G.

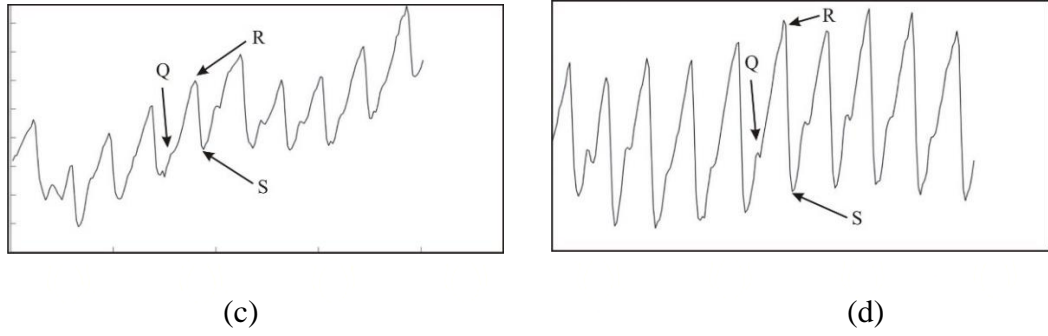


Gambar 4.8 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Asus Zenfon C (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).

4.2.3 Lenovo A6000

Sinyal yang diperoleh dari ekstraksi video yang direkam menggunakan perangkat Lenovo A6000 terlihat harmonic tetapi terdapat *motion artifact* di beberapa bagian. Gambar 4.9 menunjukkan bahwa secara keseluruhan perangkat Lenovo A6000 menghasilkan sinyal yang terlihat harmonic dan tidak menunjukkan noise yang terlalu besar.

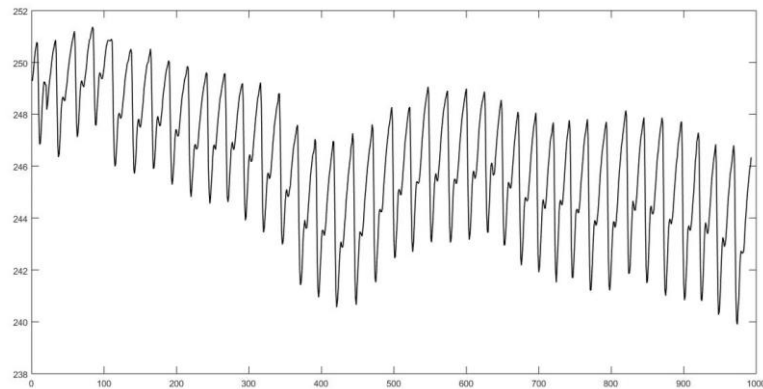




Gambar 4.9 Sinyal orisinil channel merah dari video yang direkam menggunakan perangkat Lenovo A6000 (a), Red Channel QRS Complex (b), Green Channel QRS Complex (c), Blue Channel QRS Complex (d).

4.2.4 Meizu M2 Note

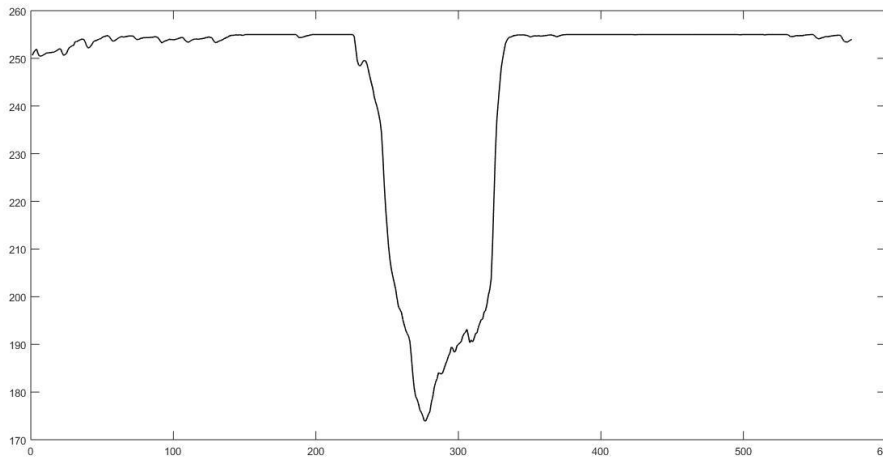
Sinyal yang diperoleh dari Smartphone Meizu M2 Note terlihat stabil (lihat Gambar 4.10). QRS Complex secara umum terlihat cukup jelas, walaupun pada R-peak ke-5 terdapat noise data.



Gambar 4.10 Sinyal yang diekstrak dari Smartphone Meizu M2 Note menggunakan channel merah

4.2.5 Samsung Galaxy Grand

Ekstraksi video yang direkam menggunakan perangkat Samsung Galaxy Grand menghasilkan sinyal yang tidak harmonis. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa sinyal hasil ekstraksi tidak cukup baik dan tidak dapat digunakan lebih lanjut untuk mendeteksi informasi PPG.



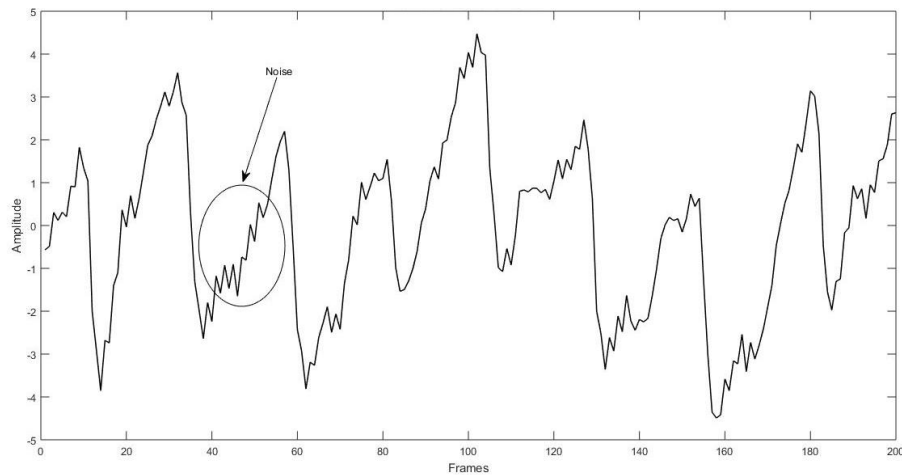
Gambar 4.11 Sinyal yang diekstrak dari Spartphone Samsung Galaxy Grand menggunakan channel merah

Berdasarkan hasil ujicoba beberapa perangkat Smartphone, dapat disimpulkan bahwa tidak semua perekaman video dari setiap smartphone memiliki pola harmonic yang mengindikasikan aktifitas denyut nadi manusia. Peneliti hanya mengeksplorasi beberapa perangkat untuk mencari pola sinyal yang diperoleh dari perangkat yang berbeda, sebagai sumber data untuk melakukan ujicoba selanjutnya yaitu filter data dan deteksi sinyal PPG.

4.3 Filter Data

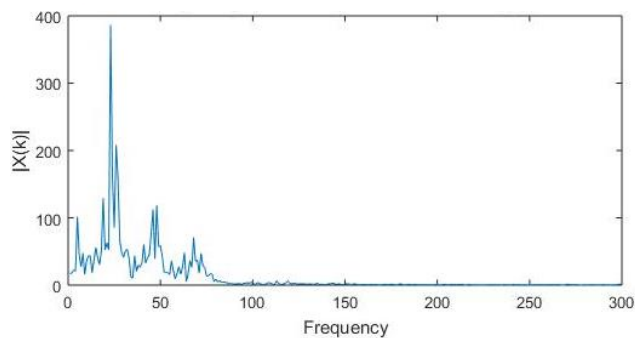
Berdasarkan hasil ekstraksi sinyal melalui proses ROI untuk beberapa data yang berasal dari perangkat yang berbeda, terlihat bahwa sinyal tidak selalu stabil. Oleh karena itu perlu dilakukan filterisasi data agar sinyal menjadi stabil. Penelitian ini menggunakan *Polynomial Curve Fitting* (PCF) untuk melakukan filtering data. Jumlah polynomial diatur secara manual menyesuaikan pola sinyal. Sinyal dengan rentang aplitudo yang tinggi cenderung memerlukan jumlah polynomial yang lebih besar demikian juga sebaliknya. Gambar 4.14 menunjukkan bahwa rentang amplitudo untuk sinyal asli adalah 145-184 dengan nilai frekwensi adalah nol. Setelah dilakukan PCF maka sinyal cenderung stabil dengan rentang amplitudo antara -5 sampai dengan 5 dan nilai frekwensi sebesar 1,2 Hz.

Hasil filter data menggunakan PCF terkadang membuat pola sinyal tidak halus atau memiliki noise. Hal ini menimbulkan masalah ketika dilakukan perhitungan untuk mendeteksi local peaks. Gambar 4.12 menunjukkan noise yang muncul setelah dilakukan filterisasi data. Oleh karena itu, sinyal hasil filterisasi menggunakan PCF harus diproses lebih lanjut untuk menghaluskan sinyal.



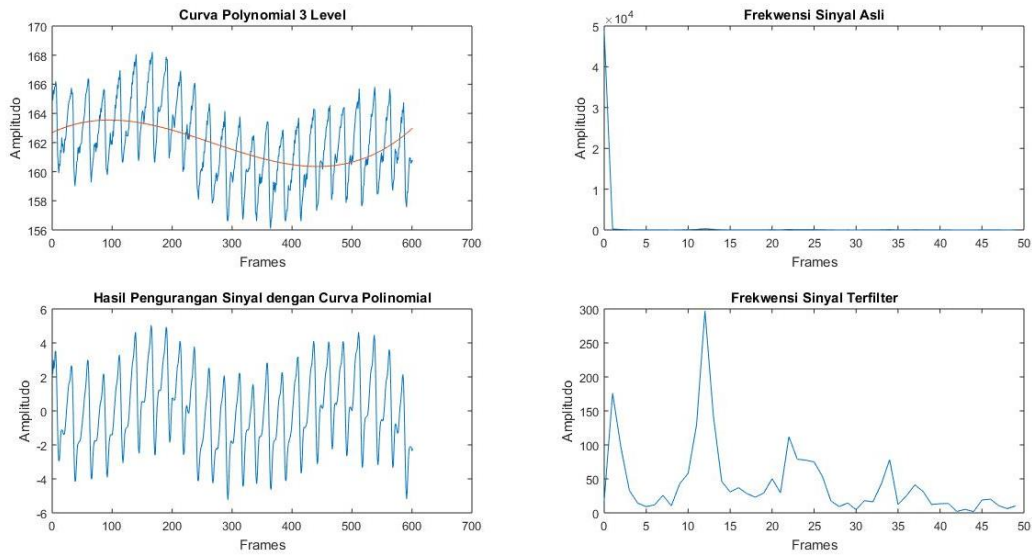
Gambar 4.12 Noise yang muncul setelah dilakukan filter data

Pada penelitian ini, proses penghalusan sinyal dilakukan menggunakan Savitzky-Golay (S-G) filtering. S-G filtering melakukan pemindaian dalam sebuah rentang data secara berurut sepanjang data yang tersedia. Pada setiap segment pemindaian, ditemukan koefisien polynomial. Jika polynomial dengan koefisien yang sudah ditemukan tersebut diterapkan pada input data yang tersedia maka diperoleh sebuah kurva dengan noise data yang sudah tereduksi.

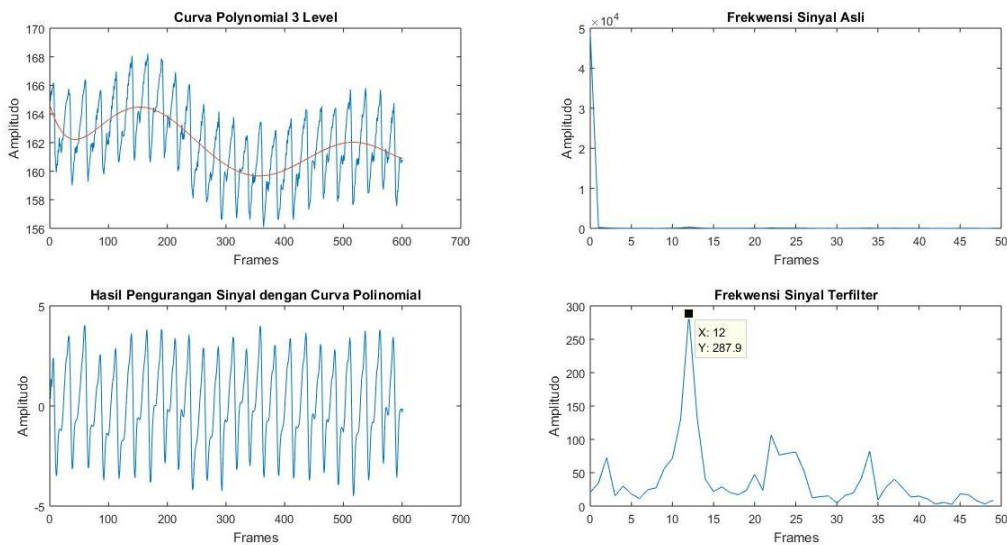


Gambar 4.13 Pola sinyal PPG dalam domain frekwensi yang stabil

Sinyal PPG yang stabil memiliki pola sinyal dalam domain frekwensi seperti pada Gambar 4.13. Pola sinyal tersebut digunakan sebagai pedoman untuk menentukan proses stabilisasi sinyal menggunakan PCF. Ujicoba penstabilan sinyal menggunakan PPG menggunakan jumlah polynomial yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.

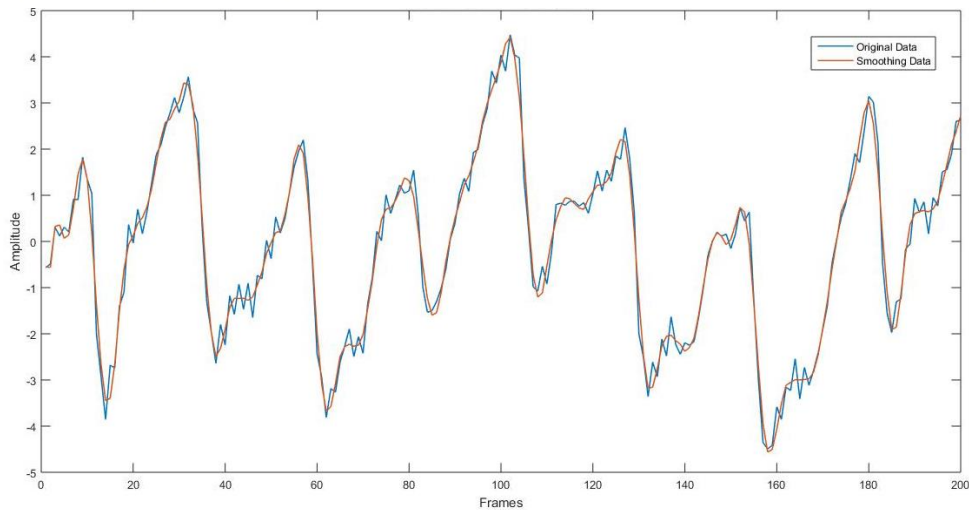


Gambar 4.14 Perbandingan frekwensi antara sinyal yang sudah dilakukan filtering dengan sinyal yang belum dilakukan filtering menggunakan 3 polynomial



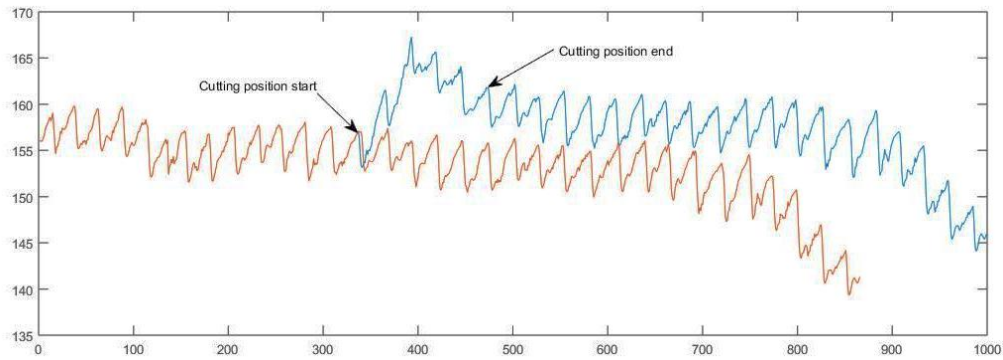
Gambar 4.15 Perbandingan frekwensi antara sinyal yang sudah dilakukan filtering dengan sinyal yang belum dilakukan filtering menggunakan 6 polynomial

Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan antara data asli dengan data yang sudah dilakukan S-G filtering. Pada Gambar 4.16, sinyal berwarna biru menunjukkan data asli sedangkan sinyal berwarna merah menunjukkan data yang telah mengalami penyaringan (filtering) menggunakan S-G filtering. Pada gambar tersebut terlihat bahwa data yang memuat noise dapat tereduksi dengan baik.



Gambar 4.16 Sinyal merah menunjukkan data yang sudah dilakukan S-G Filtering dan sinyal biru menunjukkan sinyal asli

Beberapa sinyal yang dihasilkan dari ekstraksi video mengandung noise yang cukup tinggi. Hal ini diakibatkan oleh *motion artifact* pada saat pengambilan data. Noise yang terdapat pada awal atau akhir sinyal dihilangkan dengan melakukan pemotongan sinyal. Akan tetapi noise yang terdapat diantara sinyal yang stabil dihilangkan dengan memotong sinyal, membuang bagian yang mengandung noise, kemudian menyambungkannya kembali menjadi sinyal yang utuh.

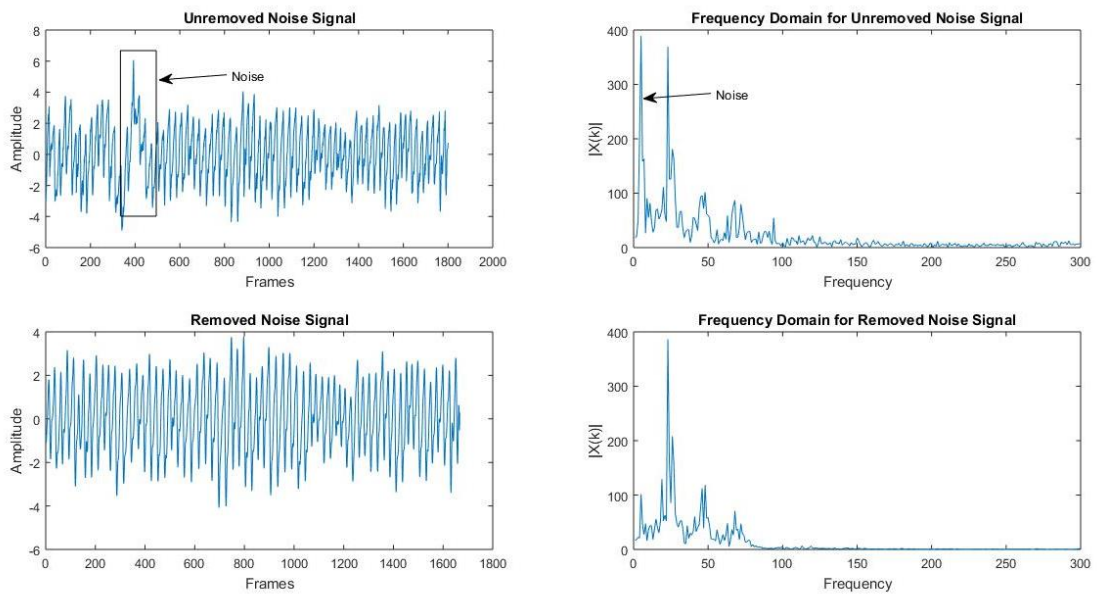


Gambar 4.17 Proses pemotongan noise pada sinyal

Gambar 4.17 menunjukkan dua sinyal yakni sinyal yang mengandung noise dan sinyal yang sudah dilakukan pemotongan pada bagian yang mengandung noise. Jika M adalah sinyal PPG yang mengandung noise antara $M(x_1)$ dan $M(x_2)$ maka pemotongan noise sinyal M dilakukan dengan sebagai berikut:

- Membagi sinyal M menjadi dua bagian yaitu $M_1(1: x_1)$ dan $M_2(x_2: n)$.
- Menghitung selisih (Δm) antara $M_1(x_1)$ dan $M_2(x_2)$.
- Mengurangi M_2 dengan Δm jika $M_2(x_2) > M_1(x_1)$ atau menambahkan M_2 dengan Δm jika $M_2(x_2) < M_1(x_1)$.

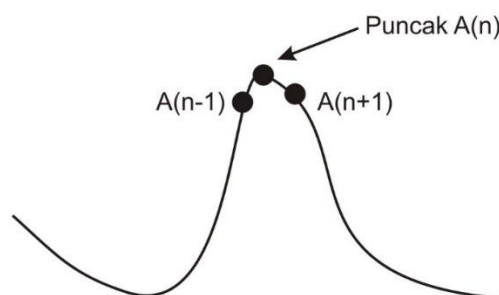
Perbandingan antara sinyal asli dengan sinyal yang sudah dilakukan penghilangan noise terlihat pada Gambar 4.18. Setelah dilakukan konversi sinyal dalam domain frekwensi maka terlihat jelas bahwa pada sinyal yang dilakukan penghilangan noise terlihat lebih stabil.



Gambar 4.18 Perbandingan sinyal yang sudah dilakukan pemotongan noise dengan sebelumnya

4.4 Deteksi Puncak

Akurasi deteksi puncak adalah penting dalam penelitian ini karena data yang diperoleh dalam proses ini digunakan sebagai perhitungan R-R interval. Semua jenis analisis Heart Rate Variability (HRV) dalam domain waktu menggunakan data R-R interval sebagai acuan. Deteksi puncak dilakukan menggunakan *Brute-Force Algorithm* (BFA) yaitu dengan cara memindai seluruh data dan menandai data yang memiliki pola khusus.



Gambar 4.19 Proses pencarian local peaks (titik puncak lokal) menggunakan Brute Force Algorithm

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa titik $A(n)$ dikatakan puncak lokal jika $A(n) > A(n - 1)$ dan $A(n) > A(n + 1)$. Hasil deteksi puncak menggunakan ketentuan ini mendeteksi seluruh titik puncak baik itu R-peak maupun puncak yang merupakan Q-wave atau bahkan noise (lihat Gambar 4.20-a). Oleh sebab itu, setelah diperoleh data puncak pada proses Brute Force Algorithm yang pertama perlu dilakukan proses Brute Force Algorithm yang kedua untuk menentukan R-peak (lihat Gambar 4.20-b).

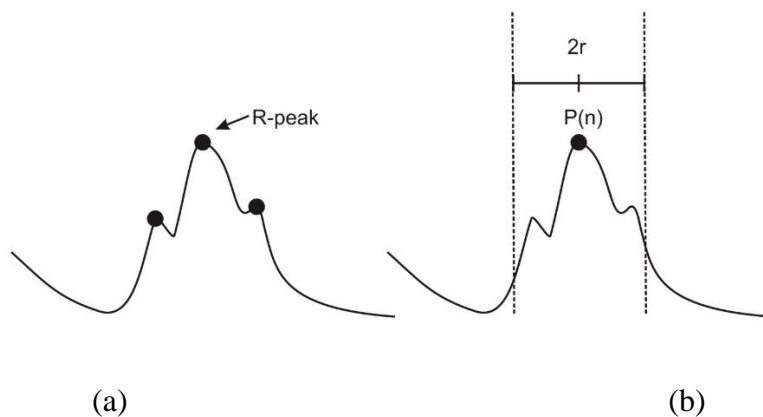
Proses BFA yang kedua adalah dengan melakukan pemindaian setiap titik puncak $P(n)$ dan mencari titik puncak lain yaitu $P(n + 1)$ dan $P(n - 1)$ pada jarak r (*peak-distance*). Jika $P(n)$ bukan merupakan titik maksimum pada rentang $P(n - r : n + r)$ maka $P(n) = 0$. Proses ini menghapus titik-titik puncak yang bukan merupakan R-peak. Peneliti menentukan nilai *peak-distance* $r = 15$ dengan asumsi bahwa minimum *readable* HR adalah 60 bpm sehingga untuk sampling rate 30fps maka jarak R-R interval minum adalah 30 frame. Formula perhitungan *peak-distance* ditunjukkan pada persamaan 4.1.

$$2r = fps$$

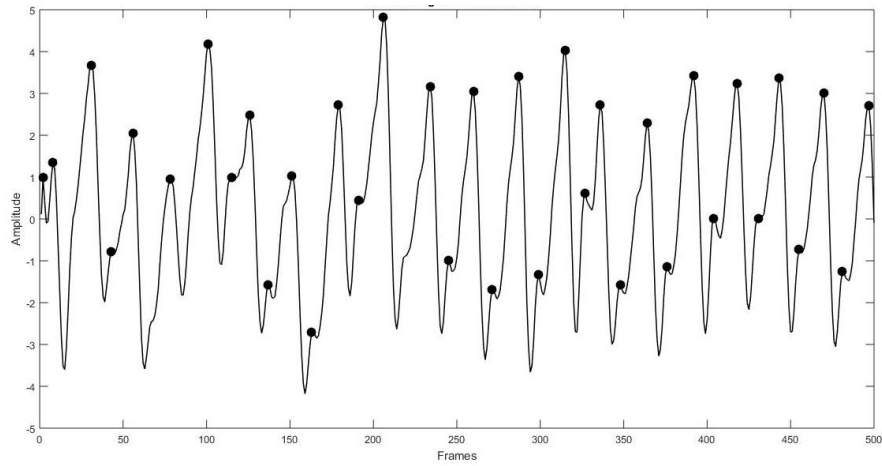
4.1

r = peak distance

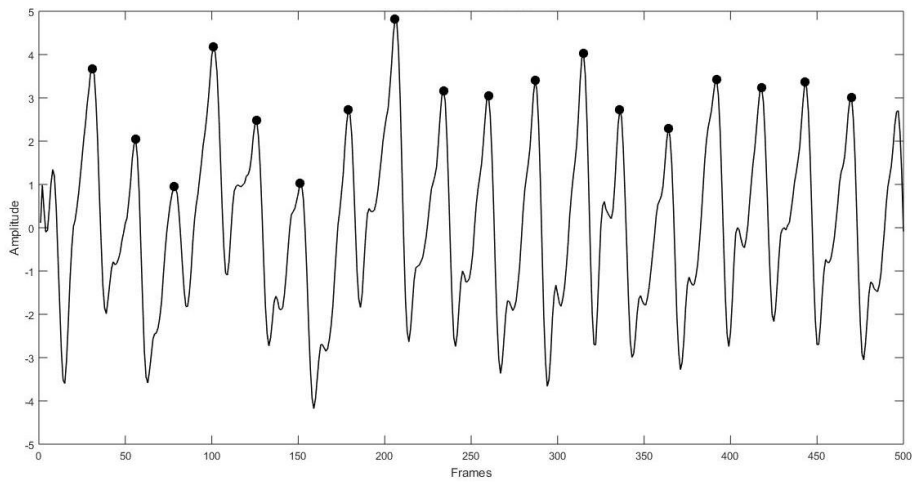
Fps = frame rate



Gambar 4.20 Ilustrasi hasil Brute Force Algorithm yang mendeteksi semua puncak lokal (a), Brute Force Algorithm untuk menentukan R-peak menggunakan *peak-distance*



(a)



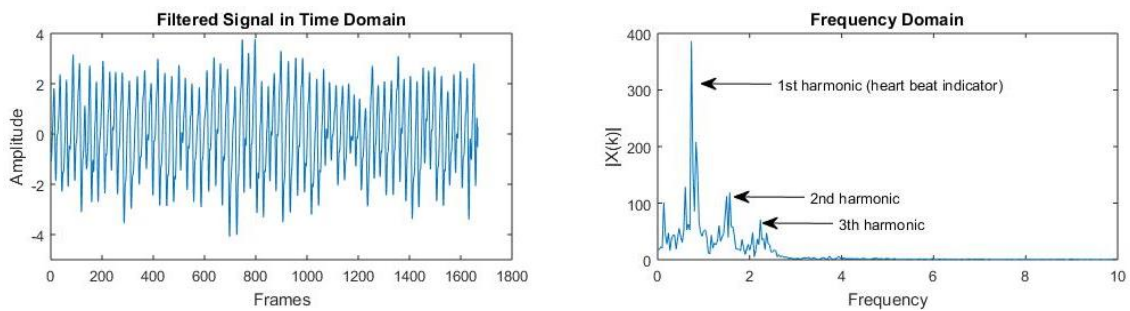
(b)

Gambar 4.21 Deteksi puncak pada sinyal PPG tanpa batasan *peak-distance* (a) dan menggunakan batasan *peak-distance* (b)

Gambar 4.21 adalah hasil penerapan BFA pada sinyal PPG. Gambar 4.21 (a) menunjukkan bahwa BFA mendeteksi setiap puncak pada sinyal. Pada gambar tersebut terlihat bahwa BFA dengan batasan yang digunakan menandai setiap titik yang terdeteksi sebagai puncak walaupun titik tersebut bukan termasuk R-peak. Pada Gambar 4.21 (b) terlihat bahwa R-peak terdeteksi dengan baik karena sudah diterapkan pembatasan dengan nilai *peak-distance* adalah 15 frame.

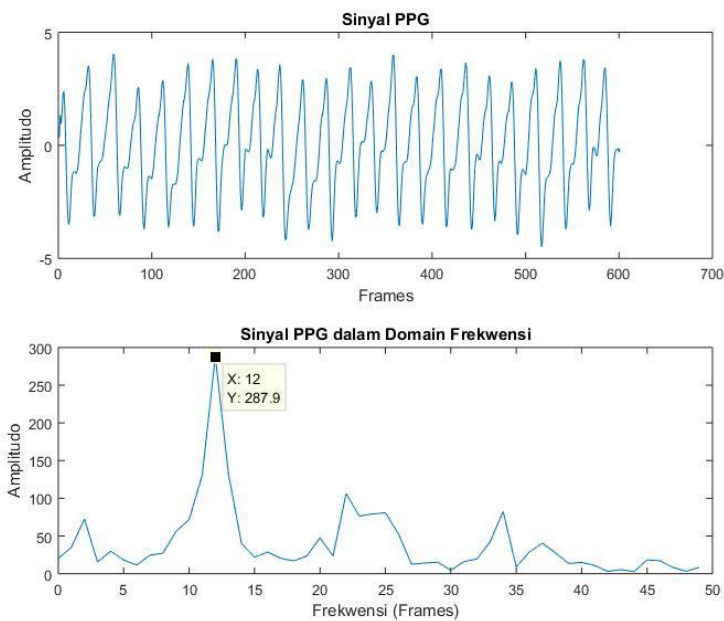
4.5 Deteksi Sinyal PPG

Untuk mengetahui informasi mengenai sinyal PPG pada hasil ekstraksi video maka sinyal tersebut dikonversi kedalam domain frekwensi menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Sinyal PPG pada domain frekwensi memiliki tiga sinyal harmonic. Sinyal harmonic pertama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 memiliki nilai power tertinggi dan mengindikasikan aktifitas denyut nadi (*heart beat*).



Gambar 4.22 Sinyal harmonik dalam domain waktu dan sinyal terkait dalam domain frekwensi

Ujicoba deteksi sinyal PPG dilakukan terhadap sinyal PPG yang stabil. Hasil ujicoba ditunjukkan pada Gambar 4.23. Sesuai dengan data referensi, sinyal PG tersebut memiliki nilai HR sebesar 70 bpm. Setelah dilakukan konversi sinyal PPG dalam domain waktu menjadi sinyal PPG dalam domain frekwensi menggunakan DFT ditemukan nilai frekwensi sebesar 1,2 Hz yang berarti bahwa dalam satu detik terdapat 1,2 denyut atau sama dengan 72 bpm. Nilai tersebut hanya memiliki selisih 2 pbm jika dibandingkan dengan data referensinya.

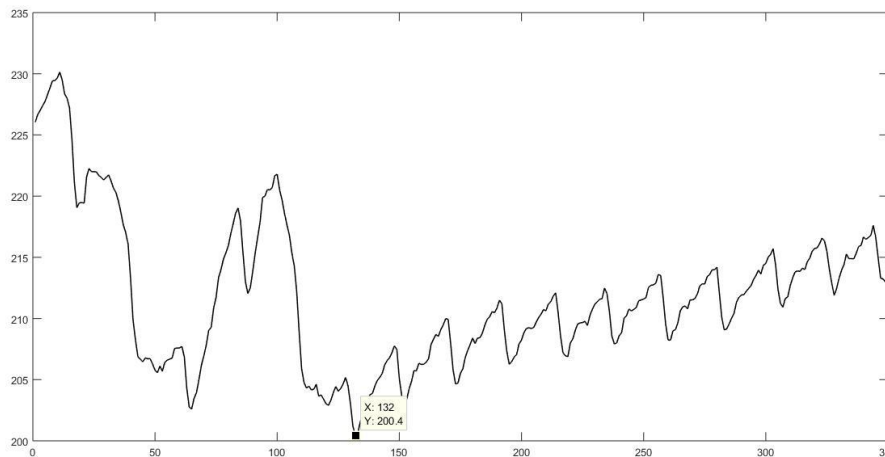


Gambar 4.23 Sinyal PPG stdalam domain waktu dan konersinya dalam domain frekwensi

Deteksi sinyal PPG yang lebih lanjut dilakukan dengan membagi sinyal menjadi beberapa bagian kemudian pada setiap bagian dilakukan perhitungan DFT. Dengan menggunakan DFT maka nilai frekwensi pada masing-masing bagian dapat diketahui. Sinyal yang memuat informasi aktifitas denyut nadi selalu memiliki pola yang harmonis. Denyut yang terdeteksi melalui perubahan warna pada citra maka menghasilkan sinyal yang konstan. Dengan asumsi bahwa denyut yang dapat terbaca adalah bernilai antara 60-150 bpm maka sinyal PPG yang konstan memiliki frekwensi antara 1-2,5 Hz.

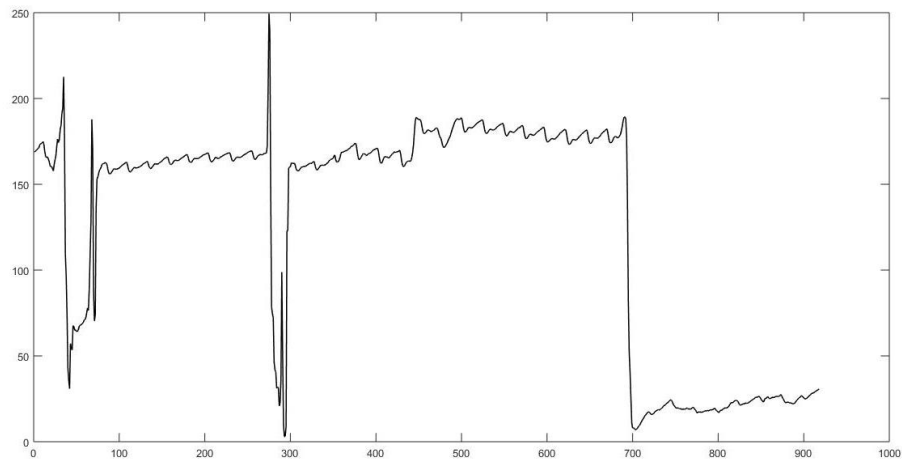
Segmentasi sinyal pada dasarnya adalah untuk mendeteksi keberadaan noise pada sinyal. Keberadaan noise dalam sinyal cukup mengganggu dalam melakukan analisa yang lebih lanjut. Misalnya, analisa HRV adalah berbasis pada data jarak antara R-R interval. R-peak adalah puncak sinyal yang menandakan beat-beat nadi manusia. Jika terlalu banyak noise pada sinyal maka akurasi pada deteksi puncak juga terganggu, atau jarak R-R interval tidak menunjukkan aktivitas denyut nadi yang sebenarnya.

Terdapat beberapa kemungkinan jika sinyal hasil ekstraksi memiliki noise yang terlalu tinggi. Jika noise tersebut berada pada awal sinyal maka terdapat kemungkinan jari belum menyentuh lensa dengan sempurna. Hal ini menyebabkan citra yang ditangkap kamera bukanlah citra yang diharapkan. Gambar 4.24 adalah contoh sinyal hasil ekstraksi video yang memuat noise pada awal sinyal selama 130 frame atau sekitar 4 detik. Pada rentang tersebut jelas terlihat bahwa sinyal tidak harmonik dan tidak memiliki pola yang konstan. Jarak R-R interval pada rentang tersebut tidak normal. Jika R-R interval pada sinyal noise tersebut terdeteksi maka mempengaruhi perhitungan nilai rata-rata R-R interval secara keseluruhan.



Gambar 4.24 Noise yang terjadi pada awal sinyal

Noise dapat terjadi pada bagian awal, tengah, akhir, atau menyebar di beberapa bagian sinyal. Pada Gambar 4.25 terlihat bahwa noise menyebar di beberapa bagian tetapi masih terlihat beberapa bagian sinyal yang konstan. Deteksi sinyal PPG dalam hal ini adalah mengambil bagian-bagian sinyal yang konstan dan membuang bagian-bagian yang mengandung noise. Sinyal yang terlihat seperti pada Gambar 4.25 memiliki bagian yang konstan yaitu pada data ke 80-280 dan data ke 500-680. Jika diakumulasi maka sinyal yang konstan memiliki durasi sekitar 12,6 detik. Pada bagian 4.6 dibahas durasi minimal sinyal konstan yang merepresentasikan jumlah denyut dalam satu menit.

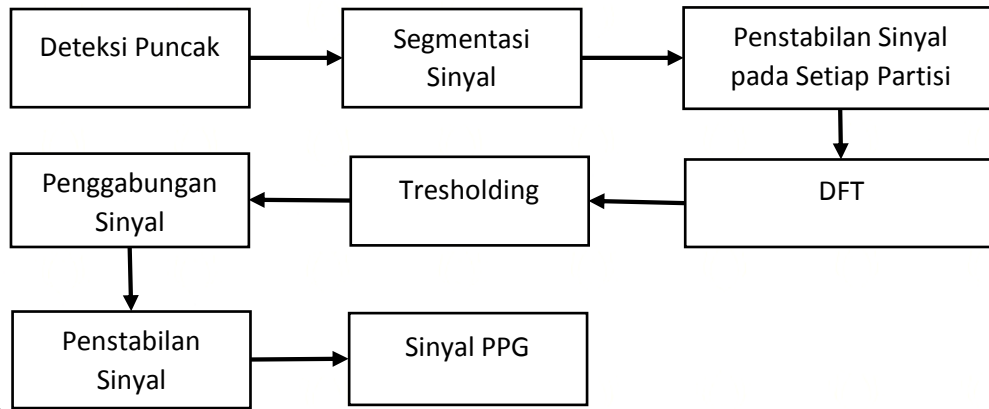


Gambar 4.25 Contoh sinyal yang mengandung noise yang menyebar di beberapa bagian

Segmentasi sinyal untuk melakukan deteksi PPG dilakukan dengan terlebih dahulu mendeteksi titik-titik puncak sinyal. Setelah titik-titik puncak diperoleh maka ditentukan jumlah titik dalam satu segmen. Jumlah titik dalam masing-masing segmen dalam penelitian ini adalah 4 titik. Karena penentuan segmen adalah berdasarkan pada titik puncak sinyal maka jumlah data dalam satu segmen mungkin berbeda dengan jumlah data pada segmen lainnya. Segmentasi sinyal berdasarkan titik puncak ini dilakukan agar proses pemotongan sinyal tepat pada titik puncak sehingga tidak mengubah pola harmonis sinyal.

Pada setiap segmen dilakukan perhitungan DFT untuk mengetahui nilai frekuensi pada segmen tersebut. Sebelum dilakukan perhitungan DFT maka harus dipastikan bahwa sinyal pada segmen tersebut memiliki amplitudo yang cukup stabil. Oleh karena itu dilakukan proses filter data terlebih dahulu menggunakan *Polynomial Curve Fitting* (PCF). Hasil perhitungan DFT dijadikan sebagai acuan untuk melakukan thresholding yakni mengambil segmen sinyal yang memiliki nilai frekuensi antara 20-30 frame per detik. Segmen sinyal yang memiliki karakteristik khusus tersebut digabungkan kembali menjadi sebuah sinyal yang utuh kemudian dilakukan filter data lagi untuk memastikan amplitudo sinyal PPG adalah stabil. Proses pemotongan dan penyambungan kembali sinyal yang harmonis sudah

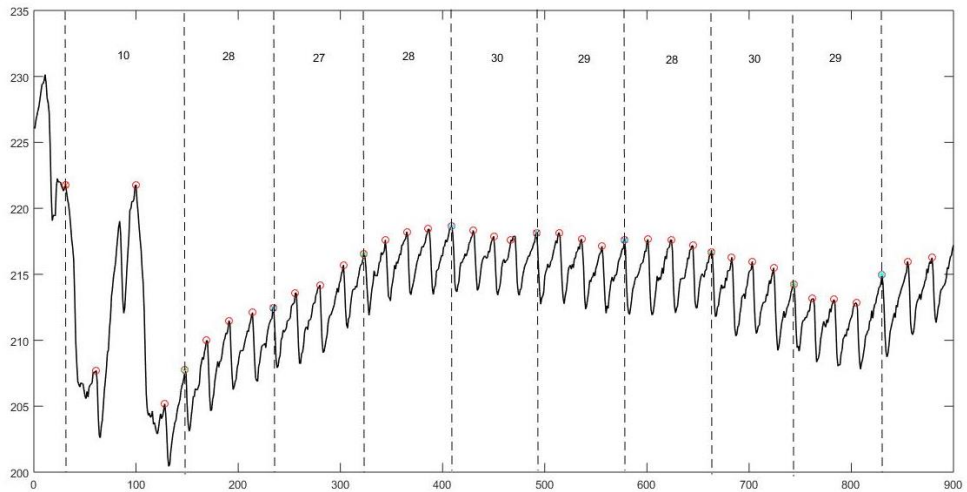
dibahas pada bagian 4.3 dan proses deteksi sinyal PPG secara lengkap disajikan pada Gambar 4.26.



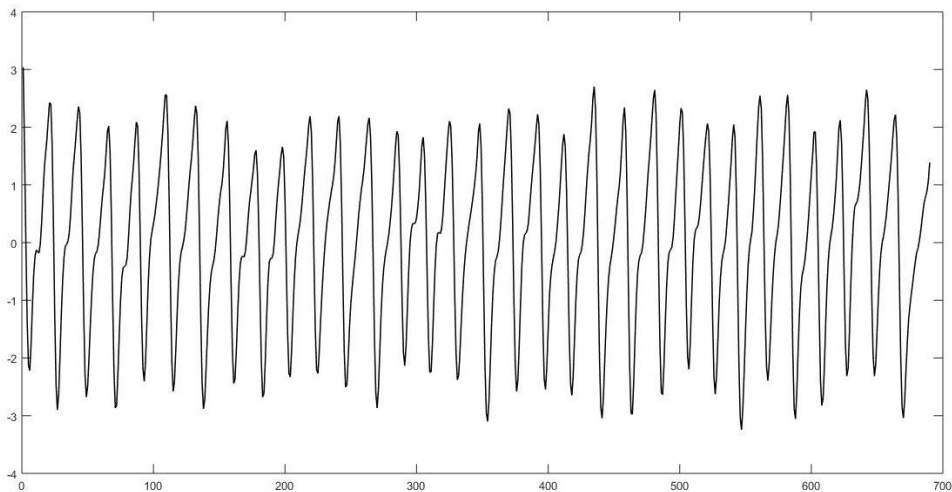
Gambar 4.26 Proses deteksi sinyal PPG

Peneliti melakukan ujicoba terhadap metode deteksi sinyal PPG, yang disajikan pada Gambar 4.26, pada sinyal yang memiliki noise di awal. Hasil ujicoba disajikan pada Gambar 4.27. Pada gambar tersebut masing-masing segmen memuat 4 titik puncak yang ditandai dengan garis vertikal pada gambar (*dashes line*). Hasil perhitungan DFT pada segmen pertama (yang menandakan nilai frekwensi sinyal pada segmen tersebut) adalah 10 frame per detik. Jika diamati, pola sinyal pada segmen pertama adalah tidak stabil dan juga tidak berpola. Hasil perhitungan DFT pada segmen ini adalah 10 frame. Hal ini berarti bahwa terdapat satu denyut dalam rentang 10 frame. Dengan asumsi bahwa rentang nilai HR yang terbaca adalah 60-100 bpm maka batas nilai frekwensi sinyal yang memuat informasi PPG adalah 20-30 frame. Oleh karena itu, sinyal pada segmen pertama tidak memuat sinyal PPG.

Hasil penggabungan kembali segmen sinyal yang memuat informasi aktifitas denyut nadi (sinyal PPG) disajikan pada Gambar 4.27 (b). Pada gambar tersebut terlihat bahwa bagian sinyal yang memiliki noise sudah terhapus sehingga jumlah data pada sinyal yang disajikan pada gambar adalah 690 data. Jika dibandingkan dengan sinyal asli (Gambar 4.27-a) yang memiliki data berjumlah 900 maka ada penghapusan data sebanyak 210 data.



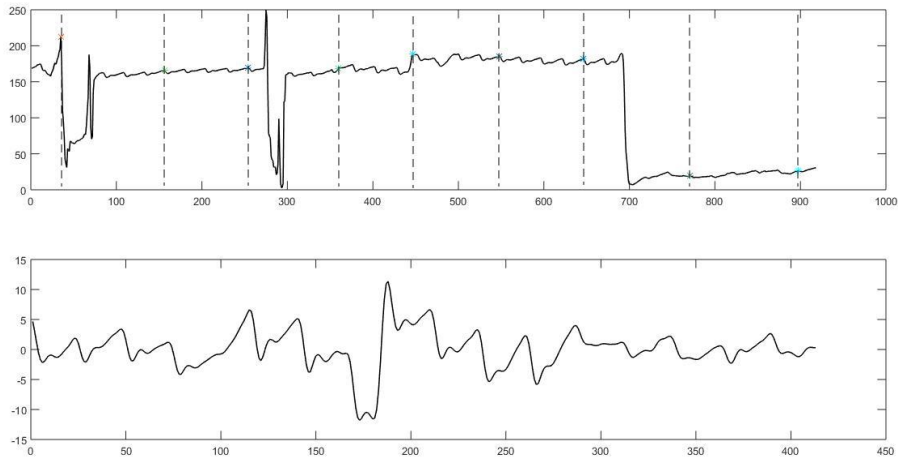
(a)



(b)

Gambar 4.27 Hasil segmentasi berdasarkan deteksi puncak sinyal, masing-masing segmen memuat 5 titik puncak (a). Sinyal PPG yang diperoleh (b)

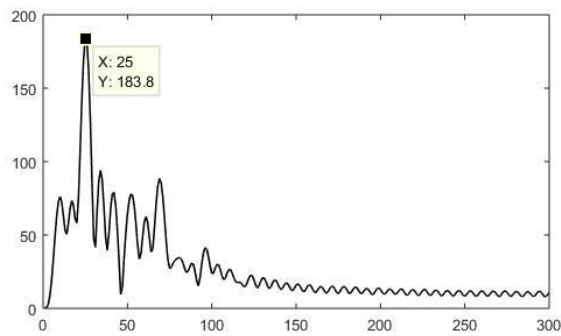
Peneliti melakukan ujicoba lebih lanjut terhadap sinyal yang memiliki noise cukup tinggi dan menyebar di beberapa bagian sinyal. Hasil ujicoba dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan data frekwensi untuk masing-masing segmen disajikan pada Tabel 4-3. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa segmen sinyal yang terhapus adalah segmen 1, 3, 5, dan 7 dengan nilai frekwensi (dalam frame) secara berurut adalah 10, 11, 11, dan 10.



Gambar 4.28 Hasil ujicoba deteksi sinyal PPG pada sinyal yang memiliki noise tersebar di beberapa bagian. Gambar atas menunjukkan hasil segmentasi dan Gambar bawah menunjukkan hasil deteksi.

Tabel 4-3 Frekwensi pada segmen terkait. Lihat Gambar 4.28 untuk melihat ilustrasi segmentasi sinyal

Segmen	1	2	3	4	5	6	7	8
Freq (frame)	10	25	11	25	11	25	10	24

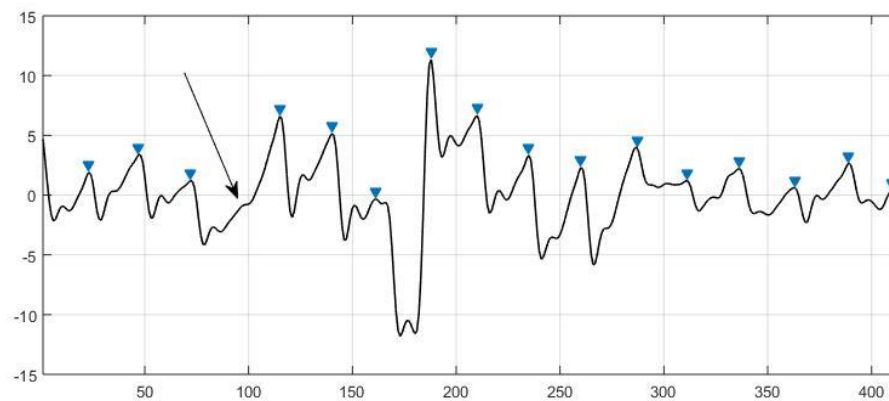


Gambar 4.29 Perhitungan DFT untuk segmen sinyal ke-4 (lihat Gambar 4.28-b)

Hasil deteksi sinyal PPG pada Gambar 4.28 terlihat cukup harmonis tapi pada data ke 150-200 terdapat data yang tidak normal. Perhitungan DFT pada segmen tersebut mengindikasikan bahwa walaupun secara umum segmen tersebut

memiliki frekwensi sebesar 25 frame per detik (lihat Gambar 4.29) tapi sinyal tersebut tidak terlalu harmonis.

Untuk mengetahui perkiraan nilai Heart Rate (HR) pada sinyal hasil proses deteksi PPG maka dilakukan deteksi puncak untuk mengetahui nilai R-R Interval. Nilai rata-rata R-R interval untuk sinyal seperti yang disajikan pada Gambar 4.30 adalah 25.8 frame atau setara dengan 860 ms. Nilai tersebut menandakan bahwa durasi rata-rata antar denyut adalah 860 ms sehingga rata-rata denyut dalam satu menit adalah 69,7 bpm. Walaupun secara keseluruhan sinyal tidak terlalu harmonis tapi R-R interval masih terdeteksi dan hasil perhitungan HR masih dalam kategori normal.



Gambar 4.30 R-R Interval untuk sinyal hasil proses deteksi PPG

Tanda panah pada Gambar 4.30 mendandakan R-R interval yang tidak normal yaitu sebesar 43 frame atau setara dengan 1430 ms. Pada kasus ini peneliti tidak dapat memastikan apakah interval tersebut diakibatkan oleh aktivitas denyut nadi atau kesalahan dalam proses deteksi. Hal ini disebabkan karena peneliti tidak memiliki data sinyal pembanding yang diperoleh dari perangkat lain misalnya EKG.

4.6 Validasi Heart Rate (HR)

Berdasarkan hasil pada bagian 4.1 maka pengambilan data dilakukan menggunakan perangkat yang telah diuji dan menghasilkan sinyal terbaik yaitu

Samsung J1 dan Asus Zenfon C. Perangkat Lenovo A6000 juga menghasilkan sinyal yang cukup baik akan tetapi suhu di permukaan LED cukup tinggi yaitu mencapai 45⁰ C. Penelitian ini membandingkan hasil pengukuran HR dari dua metode ekstraksi yang berbeda yaitu ekstraksi video berdasarkan channel warna R (Red) dan G (Green) untuk video yang dihasilkan dari dua perangkat berbeda (Samsung J1 dan Asus Zenfon C). Inisialisasi untuk empat metode tersebut adalah sebagai berikut:

- M1 : Samsung J1 Red Channel
- M2 : Samsung J2 Green Channel
- M3 : Asus Zenfon C Red Channel
- M4 : Asus Zenfon C Green Channel

Peneliti melakukan ujicoba pengukuran HR menggunakan jumlah sample yang berbeda yaitu pengukuran HR menggunakan durasi 60 detik video dan pengukuran HR menggunakan 20 detik video. Data pembandingan diperoleh dari pengukuran HR menggunakan *niceEshop Health Care Automatic Wrist Digital Blood Pressure Monitor Home Use Measuring Pulse Rate* yang tersedia secara komersil. Selain itu peneliti juga membandingkan hasil pengukuran HR menggunakan data video dengan pengukuran HR menggunakan Oximeter. Oximeter adalah alat berbasis PPG untuk mengukur kadar oksigen dalam darah dan juga nilai HR. Hasil ujicoba tersebut adalah sebagai berikut:

4.6.1 Pengukuran 60 detik Video

Sampel video yang diambil memiliki durasi minimal 60 detik. Pengukuran dalam 60 detik video dilakukan untuk menguji HRV dalam keseluruhan durasi sampel yang diambil.

Tabel 4-4 Data HRV untuk metode M1 pada durasi video 60 detik dengan HR referensi diperoleh dari Blood Pressure

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN (ms)	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	844.1	52.4	733.3	933.3	200.0	71.1	4.5	70.0	1.08
2	856.5	76.3	633.3	1000.0	366.7	70.1	6.8	66.0	4.05
3	927.6	48.1	800.0	1000.0	200.0	64.7	3.5	63.0	1.68
4	908.2	112.0	633.3	1133.3	500.0	66.1	9.0	63.0	3.06
5	758.0	99.6	633.3	1033.3	400.0	79.2	9.4	81.0	1.84
6	823.8	40.1	733.3	900.0	166.7	72.8	3.6	69.0	3.83
7	776.2	67.2	666.7	966.7	300.0	77.3	6.2	79.0	1.70

Tabel 4-5 Data HRV untuk metode M2 pada durasi video 60 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	862.1	59.4	633.3	933.3	300.0	69.6	5.0	70.0	1.37
2	849.3	91.5	600.0	966.7	366.7	70.6	9.0	66.0	5.07
3	936.5	55.7	733.3	1000.0	266.7	64.1	4.5	63.0	1.65
4	946.0	143.2	533.3	1133.3	600.0	63.4	13.0	63.0	6.97
5	758.0	99.6	633.3	1033.3	400.0	79.2	9.4	81.0	0.15
6	823.8	40.1	733.3	900.0	166.7	72.8	3.6	69.0	3.67
7	776.2	67.2	666.7	966.7	300.0	77.3	6.2	79.0	0.93

Tabel 4-6 Data HRV untuk metode M3 pada durasi video 60 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HrDiff (bpm)
1	653.70	71.53	533.33	833.33	300.00	91.9	9.9	86	5.9
2	630.77	50.70	533.33	766.67	233.33	95.1	7.6	97	1.9
3	673.12	46.30	600.00	800.00	200.00	89.1	6.0	83	6.1
4	691.14	56.67	566.67	833.33	266.67	86.8	7.2	80	6.8
5	628.11	24.13	600.00	666.67	66.67	95.5	3.6	89	6.5
6	624.75	29.42	566.67	700.00	133.33	96.0	4.4	92	4.0
7	672.73	80.76	566.67	933.33	366.67	89.2	9.2	82	7.2

Tabel 4-7 Data HRV untuk metode M4 pada durasi video 60 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	657.9	97.9	533.3	1200.0	666.7	91.2	5.4	86	5.20
2	627.3	39.4	566.7	700.0	133.3	95.7	3.0	97	1.35
3	666.3	42.6	566.7	766.7	200.0	90.1	14.2	83	7.06
4	689.5	58.8	566.7	866.7	300.0	87.0	14.2	80	7.03
5	627.5	24.8	566.7	666.7	100.0	95.6	14.2	89	6.63
6	621.9	28.0	566.7	666.7	100.0	96.5	14.2	92	4.47
7	717.5	146.7	533.3	1133.3	600.0	83.6	14.2	82	1.63

Tabel 4-8 Data statistik untuk 4 metode pengukuran HR menggunakan 60 detik durasi video

Statistik	M1	M2	M3	M4
Mean of Error (BPM)	2.46	2.83	5.50	4.77
Standart Deviation of Error (BPM)	1.17	2.49	1.89	2.44
Pearson's Correlation coefficient	0.97	0.95	0.90	0.85
Success Rate	85%	71%	28%	42%

Data statistik pada Tabel 4-8 menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan perangkat Samsung J1 dengan channel merah (M1) dan durasi 60 detik perekaman video memiliki nilai rata-rata kesalahan yang paling kecil (2,46) diantara metode yang lain. Nilai simpangan baku kesalahan (*Standart deviation of error*) untuk metode ini juga paling kecil diantara metode yang lain yaitu sebesar 1,17. Kofisien korelasi untuk M1 juga cukup tinggi yaitu 0,97 yang menandakan bahwa hasil pengukuran HR berbasis data video berkorelasi signifikan dengan pengukuran HR menggunakan alat yang digunakan sebagai pembanding.

Perangkat Asus dengan chanel merah (M3) memiliki nilai koefisien korelasi yang lebih besar (0,9) daripada perhitungan HR menggunakan chanel hijau (M4). Jika dibandingkan dengan perangkat lain yaitu Samsung J1 yang juga menunjukkan korelasi signifikan untuk channel merah (M1) maka dapat disimpulkan bahwa

channel warna yang paling baik digunakan untuk memperoleh sinyal PPG adalah channel merah untuk sampel dengan durasi 60 detik video.

4.6.2 Pengukuran 20 Detik Video

Pengukuran HR menggunakan data video berdurasi 20 detik bertujuan untuk mengetahui tingkat korelasi nilai HR yang diperoleh dengan data referensi dalam durasi pengambilan sample yang lebih pendek. Dalam hal ini, durasi terpendek yang diujicoba adalah 20 detik perekaman video. Data yang digunakan dalam ujicoba ini adalah data video 60 detik yang hanya diambil 20 detik pada bagian awal.

Tabel 4-9 Data HRV untuk metode M1 pada durasi video 20 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	862.1	59.4	633.3	933.3	300.0	69.6	5.0	70.0	0.4
2	849.3	91.5	600.0	966.7	366.7	70.6	9.0	66.0	4.6
3	936.5	55.7	733.3	1000.0	266.7	64.1	4.5	63.0	1.1
4	946.0	143.2	533.3	1133.3	600.0	63.4	13.0	63.0	0.4
5	758.0	99.6	633.3	1033.3	400.0	79.2	9.4	81.0	1.8
6	823.8	40.1	733.3	900.0	166.7	72.8	3.6	69.0	3.8
7	776.2	67.2	666.7	966.7	300.0	77.3	6.2	79.0	1.7

Tabel 4-10 Data HRV untuk metode M2 pada durasi video 20 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	862.1	59.4	666.7	966.7	300.0	69.6	5.0	70.0	0.4
2	844.9	153.9	600.0	1266.7	666.7	71.0	13.6	66.0	5.0
3	936.5	54.7	733.3	1000.0	266.7	64.1	4.5	63.0	1.1
4	840.6	175.8	533.3	1133.3	600.0	71.4	18.4	63.0	8.4
5	756.5	112.6	600.0	1100.0	500.0	79.3	10.6	81.0	1.7
6	812.7	64.5	700.0	933.3	233.3	73.8	6.1	69.0	4.8
7	775.6	105.0	533.3	1066.7	533.3	77.4	11.2	79.0	1.6

Tabel 4-11 Data HRV untuk metode M3 pada durasi video 20 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	653.7	71.5	533.3	833.3	300.0	91.8	9.9	86.0	5.8
2	636.4	56.7	566.7	766.7	200.0	94.3	7.8	97.0	2.7
3	676.8	42.0	600.0	766.7	166.7	88.7	5.6	83.0	5.7
4	736.4	50.3	633.3	833.3	200.0	81.5	5.7	80.0	1.5
5	638.3	22.1	600.0	666.7	66.7	94.0	3.3	89.0	5.0
6	633.3	35.6	600.0	700.0	100.0	94.7	5.2	92.0	2.7
7	648.5	40.5	566.7	700.0	133.3	92.5	5.9	82.0	10.5

Tabel 4-12 Data HRV untuk metode M4 pada durasi video 20 detik

Subjek	Mean NN (ms)	SDNN	Min NN (ms)	Max NN (ms)	MinMaxRRDiff (ms)	Mean HR (bpm)	SDHR	HR Reference (bpm)	HRDiff (bpm)
1	649.0	66.8	566.7	766.7	200.0	92.4	5.0	86.0	6.4
2	629.2	60.3	533.3	700.0	166.7	95.4	4.5	97.0	1.6
3	675.4	41.7	566.7	766.7	200.0	88.8	18.4	83.0	5.8
4	729.0	59.7	566.7	833.3	266.7	82.3	18.4	80.0	2.3
5	639.5	22.7	600.0	666.7	66.7	93.8	18.4	89.0	4.8
6	630.9	24.3	600.0	666.7	66.7	95.1	18.4	92.0	3.1
7	675.0	106.5	566.7	866.7	300.0	88.9	18.4	82.0	6.9

Tabel 4-13 Data statistik untuk 4 metode pengukuran HR menggunakan 20 detik durasi video

Statistik	M1	M2	M3	M4
Mean of Error (BPM)	1.99	3.29	4.84	4.44
Standart Deviation of Error (BPM)	1.65	2.88	3.00	2.09
Pearson's Correlation coefficient	0.94	0.86	0.73	0.88
Success Rate	85%	57%	42%	42%

Pada durasi 20 detik pengambilan sample, perangkat Samsung J1 dengan *channel* merah (M1) menunjukkan koefisien korelasi yang paling tinggi dibandingkan dengan metode lainnya. Standar deviasi untuk M1 juga menunjukkan nilai yang cukup kecil dibandingkan dengan metode lain. Akan tetapi, pada perangkat Asus menunjukkan bahwa *channel* hijau (M4) lebih baik daripada *channel* merah (M3) untuk sampel dengan durasi 20 detik video.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian menunjukkan bahwa penentuan metode ROI (Region of Interest) secara adaptif dapat mendeteksi sinyal PPG yang lebih baik dibandingkan dengan penentuan ROI secara statis. Channel warna yang paling baik digunakan sebagai acuan ekstraksi fitur warna untuk memperoleh sinyal PPG adalah channel merah. Sinyal PPG juga terdeteksi pada channel hijau tapi dengan amplitudo lebih kecil dibandingkan dengan channel merah. Selain itu hasil ujicoba menunjukkan bahwa pengukuran HR yang diperoleh dari ekstraksi channel hijau memiliki nilai koefisien korelasi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai HR yang diekstraksi dari channel merah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal PPG yang merupakan representasi dari aktifitas denyut nadi manusia dapat terdeteksi pada video yang direkam menggunakan kamera utama *smartphone*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi antara data HR yang diukur berdasarkan sinyal PPG yang terdeteksi pada video dengan data HR referensi.

5.2 Saran

Penelitian ini hanya menguji denyut nadi manusia menggunakan sumber data video yang direkam melalui *smartphone*. Beberapa literatur menyatakan bahwa selain denyut nadi, sinyal PPG juga memuat informasi mengenai kadar oksigen dalam darah (*oxyhemoglobin*). Informasi mengenai *oxyhemoglobin* juga merupakan data yang cukup penting untuk memantau kondisi kesehatan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, J., 2007. Photoplethysmography and its application in clinical. *PHYSIOLOGICAL MEASUREMENT*, Volume 28, p. R1–R39.
- B.M, J. & Holi, M. . S., 2015. An Estimation Technique using FFT for Heart Rate Derived from PPG Signal. *Global Journal of Researches in Engineering*, 15(7), pp. 44-51.
- Bolkhovskiy, J. B. & Christopher , S. G., 2012. *Statistical Analysis of Heart Rate and Heart Rate Variability Monitoring Through the Use of Smart Phone Cameras*. San Diego, California USA, IEEE.
- Clifford, G. D., 2012. *Signal Processing Methods for Heart Rate Variability*. Oxford: University of Oxford.
- Peng, R.-C., Zhou, X.-L., Lin, W.-H. & Zhang, Y.-T., 2015. Extraction of Heart Rate Variability from Smartphone Photoplethysmograms. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Volume 2015, Article ID 516826(11), pp. 1-11.
- Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M. & Yoshida, M., 2014. Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present. *Electronics*, pp. 282-302.
- Yu, Y.-P.et al., 2013. *Video-Based Heart Rate Measurement Using Short-time Fourier Transform*. Naha, s.n., pp. 704-707.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Farid suryanto lahir di Banjarnegara Kabupaten Jawa Tengah pada September 1985. Anak kedua dari dua bersaudara ini menghabiskan masa studi Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Wanayasa Kabupaten Banjarnegara. Sekolah Menengah Pertama (SMP) ia tempuh di SMP Negeri 1 Karangobar Kabupaten Banjarnegara dan berlanjut ke SMA Negeri 1 Karangobar.

Setelah menyelesaikan studi ditingkat menengah dia melanjutkan ke jenjang Perguruan Tinggi di Yogyakarta yaitu Universitas Ahmad Dahlan (UAD). Di UAD dia mengambil program studi Pendidikan Matematika dan lulus pada tahun 2009.

Sebagai sarjana, dia mengabdikan ilmu yang diperoleh dengan menjadi seorang guru di SMP Muhammadiyah 1 Banjarnegara (2009-2010) dan MTs Muhammadiyah Ahmad Dahlan Kabupaten Tegal (2010-2014). Keinginan keras untuk belajar membuat ia bertekad untuk meneruskan jenjang pendidikan yang lebih tinggi yaitu S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya mengambil Jurusan Elektro dengan konsentrasi Jaringan Cerdas Multimedia. Masa studi S2 ini ia tempuh dalam kurun waktu 3 semester dan lulus pada tahun 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan