

## DETEKSI DETAK JANTUNG MENGGUNAKAN REMOTE PHOTOPLETHYSMOGRAPH DENGAN PERUBAHAN JARAK DAN JENIS KAMERA SECARA DINAMIS

Heri Pratikno<sup>\*1</sup>, Toni Setiawan Jaya<sup>2</sup>, Eka Sari Oktarina<sup>3</sup>, Nicholas Philbert<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Universitas Dinamika, Surabaya

<sup>3</sup>Universitas Telkom, Kampus Surabaya, Surabaya

Email: <sup>1</sup>heri@dinamika.ac.id, <sup>2</sup>toni@dinamika.ac.id, <sup>3</sup>ekasario@telkomuniversity.ac.id,

<sup>4</sup>nicholasphilbert19@gmail.com

<sup>\*</sup>Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 14 November 2024, diterima untuk diterbitkan: 23 April 2024)

### Abstrak

Sinyal *Photoplethysmograph* (PPG) dapat digunakan untuk mengukur saturasi oksigen dalam darah, tekanan darah dan detak jantung. Metode konvensional yang sering kali digunakan untuk mendeteksi detak jantung, diantaranya: oksimetri, tensimeter, *wearable devices* seperti *smartwatch* dan sebagainya. Proses pengukuran dengan menggunakan peralatan konvensional sebagaimana tersebut di atas masih diperlukan kontak secara fisik pada anggota tubuh, jika hal tersebut seringkali dilakukan maka dapat menyebabkan iritasi pada kulit sehingga hal tersebut kurang efektif dan efisien dikarenakan proses interaksinya kurang natural dan intuitif. Pada penelitian ini menerapkan proses deteksi sinyal PPG untuk pembacaan detak jantung melalui dahi secara dinamis menggunakan *computer vision* secara *realtime* tanpa diperlukan kontak fisik, konsep tersebut disebut dengan istilah *remote PhotoPlethysmoGraph* (rPPG). Guna mengetahui seberapa akurat hasil dari pembacaan detak jantung dari metode rPPG maka nilai persentase akurasi akan dibandingkan dengan hasil pembacaan dari alat oksimetri, *smartwatch* serta tensimeter digital terbaru dengan koneksi via *bluetooth* sehingga dapat dimonitor melalui *smartphone*. Hasil dari penelitian ini persentase akurasi terbaik menggunakan kamera internal *laptop* didapatkan pada jarak 40 cm dengan pembacaan pada *smartwatch* sebesar 93,2%, akurasi di oksimeter sebesar 94,4%, sedangkan penggunaan *webcam* eksternal yang memiliki fitur *auto-focus* perbandingan rata-rata akurasi metode rPPG terhadap oksimeter sebesar 97,7% dan rata-rata persentase akurasi rPPG terhadap tensimeter digital 99,55%. Metode rPPG dapat dimanfaatkan medis untuk proses skrining awal deteksi detak jantung atau sebagai pendukung keputusan, untuk meningkatkan nilai persentase akurasi dari metode rPPG maka dapat dilakukan beberapa cara, diantaranya: melalui setting dan konfigurasi yang tepat nilai *impact factor* pada program, penataan pencahayaan dan warna *background* ruangan.

**Kata kunci:** *Beat per minute, computer vision, detak jantung, PPG, remote photoplethysmograph, rPPG*

## HEARTBEAT DETECTION USING REMOTE PHOTOPLETHYSMOGRAPH WITH DYNAMIC CHANGING DISTANCE AND CAMERA TYPE

### Abstract

*Photoplethysmograph (PPG) signals can measure blood oxygen saturation, blood pressure and heart rate. Conventional methods often used to detect heartbeats include oximetry, blood pressure monitors, wearable devices such as smartwatches, etc. As mentioned above, the measurement process using conventional equipment still requires physical contact with body parts; if this is done frequently, it can cause skin irritation, making it less effective and efficient because the interaction process is less natural and intuitive. In this research, the PPG signal detection process is applied to dynamically read heartbeats through the forehead using computer vision in real-time without physical contact, and this concept is called remote PhotoPlethysmoGraph (rPPG). To find out how accurate the results of heart rate readings from the rPPG method are, the accuracy percentage value will be compared with the reading results from oximetry devices, smartwatches and the latest digital tensimeters with a connection via Bluetooth so that they can be monitored via smartphone. The results of this research were that the best percentage of accuracy using the laptop's internal camera was obtained at a distance of 40 cm with readings on the smartwatch of 93.2%, accuracy on the oximeter of 94.4% while using an external webcam that had an auto-focus feature compared the average accuracy The rPPG method for oximeters was 97.7% and the average percentage accuracy of rPPG for digital sphygmomanometers was 99.55%. The rPPG method can be used*

medically for the initial screening process for heartbeat detection or as decision support. Several ways can be done to increase the accuracy percentage value of the Rppg method, including setting and properly configuring the impact factor value in the program, lighting arrangement and room background colour.

**Keywords:** Beat per minute, computer vision, heart rate, PPG, remote photoplethysmograph, rPPG

## 1. PENDAHULUAN

Pemeriksaan jantung dalam sistem kardiovaskular pada tubuh manusia di dunia medis dapat menggunakan metode *Electrocardiogram* (ECG) dan *Photoplethysmograph* (PPG). *Photoplethysmography* (PPG) digunakan untuk memperkirakan aliran darah pada kulit menggunakan cahaya inframerah. PPG mempunyai beberapa kelebihan sebagai media diagnostik yang bersifat *non-invasif*, harga operasionalnya murah, dan nyaman dalam penggunaannya. Secara tradisional, sinyal PPG dapat digunakan sebagai skrining dini oleh dokter umum yang dimanfaatkan untuk mengukur saturasi oksigen, tekanan darah, detak jantung, dan sebagainya. Kata *plethysmograph* adalah kombinasi dari dua kata Yunani kuno '*plethysmos*' yang berarti peningkatan (Shelley, 2007) dan '*graphic*' yang merupakan kata untuk menulis (Alnaeb *et al.*, 2007), merupakan instrumen yang terutama digunakan untuk menentukan dan mencatat variasi volume darah atau aliran darah dalam tubuh yang terjadi setiap detak jantung.

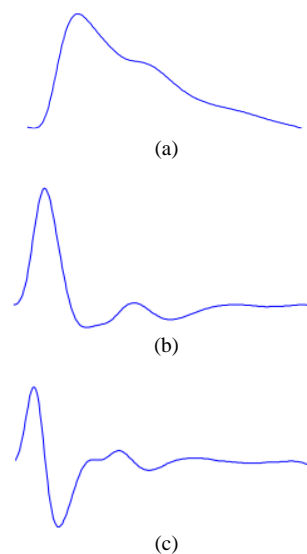
*Plethysmography* fotolistrik, juga dikenal sebagai foto *plethysmography* dan akronimnya dalam beberapa literatur, adalah (PTG/PPG) dan bila disebut *Pulsa Volume Digital*, maka akronimnya adalah (DVP). Dalam penelitian ini, singkatan PPG merupakan istilah yang akan digunakan, sinyal PPG mudah diatur, nyaman, sederhana dan efisien secara ekonomi dibandingkan dengan jenis *plethysmograph* lainnya, terlebih lagi tidak perlu kontak langsung dengan permukaan kulit. *Plethysmograph* menggunakan *probe* yang berisi sumber cahaya dan detektor untuk mendeteksi gelombang denyut jantung kardiovaskular yang merambat melalui tubuh.

Sinyal PPG mencerminkan pergerakan darah di pembuluh darah, yang mengalir dari jantung ke ujung jari dan kaki melalui pembuluh darah dalam gerakan seperti gelombang (Tokutaka *et al.*, 2009), ini adalah teknik pengukuran *optic* yang menggunakan cahaya inframerah tak terlihat yang dikirim ke jaringan dan jumlah cahaya hamburan balik sesuai dengan variasi volume darah. Hertzman adalah orang pertama yang melakukannya menemukan hubungan antara intensitas hamburan balik cahaya dan volume darah pada tahun 1938 (Hertzman, 1938).

Teknologi berbasis optik yang berbiaya rendah dan sederhana ini dapat menawarkan manfaat yang signifikan terhadap layanan kesehatan, misalnya dalam layanan primer yang menggunakan teknik diagnostik *non-invasive*, akurat, dan mudah digunakan. Pengembangan lebih lanjut dari PPG dapat menempatkan metodologi ini diantara alat-alat

lain yang digunakan dalam pengelolaan penyakit pembuluh darah.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 1(a) pada arah sumbu y menunjukkan amplitudo (V) dan sumbu x merupakan fungsi waktu (s), kontur gelombang sinyal PPG adalah sederhana, belum dianalisis dan diselidiki karena kesulitan dalam mendeteksi perubahan fase fleksi. Oleh karena itu, Ozawa (Takazawa *et al.*, 1998) memperkenalkan yang pertama dari turunan kedua dari sinyal PPG, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(b) dan Gambar 1(c) untuk memfasilitasi interpretasi gelombang PPG asli. Turunan pertama dan kedua dari sinyal PPG dikembangkan sebagai metode yang memungkinkan pengenalan titik belok lebih akurat dan lebih mudah dalam menginterpretasikan gelombang PPG asli.



Gambar 1. Pengukuran sinyal, (a) Fotoplethysmogram ujung jari asli, (b) gelombang turunan pertama dari photoplethysmogram dan (c) gelombang turunan kedua dari photoplethysmogram.

Sinyal PPG di ujung jari mencerminkan pergerakan darah masuk yang bergerak dari jantung sampai ke ujung jari dalam gerakan seperti gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(a). Hal ini dipengaruhi oleh detak jantung, hemodinamik dan kondisi fisiologis yang disebabkan oleh perubahan sifat-sifat arteriol. Dampaknya dapat diamati sebagai distorsi pada profil gelombang, menganalisis bentuk gelombang PPG menjadi daya Tarik terutama pada bidang peredaran darah (Reisner *et al.*, 2008) dan pemantauan pernapasan (Nilsson, Johansson and Kalman, 2005).

Pada penelitian (Romadhoni, Setioningsih and Putra, 2019) merancang dan membangun alat yang

dapat menampilkan sinyal PPG, nilai saturasi oksigen dan *beat per minute* pada LCD TFT dengan hasil pembacaan rata-rata *error* saturasi oksigen 0,49% dan rata-rata *error* pembacaan bpm sebesar 0,68%. Sistem deteksi dan monitoring detak jantung menggunakan *photoplethysmograph* dan analisis *Heart Rate Variability* (HRV) menggunakan pengubahan domain waktu ke domain frekuensi *Short Time Fourier Transform* (STFT) dengan hasil pembacaan *error rate* HRV sebesar 6%.

Pada Penelitian (Babgei, Sasongko and Sardjono, 2022) mengimplementasikan algoritma rPPG dengan STFT untuk memperkirakan laju detak jantung dalam berbagai kondisi pencahayaan *lux* (260, 19 dan 11) melalui analisa spectral perubahan frame video pada area dahi dalam ruang warna HSV dengan persentase *error* rata-rata 0,095, 0,212 dan 0,24 sedangkan persentase *error* rata-rata *Green Channel* 0,038, 0,118 dan 0,229. Selanjutnya penelitian lain terkait dengan penerapan beberapa metode rPPG yang menggunakan input pengujian tidak secara *realtime* tetapi menggunakan *ground truth* dari video (Apriani, 2023) didapatkan hasil pengujian dengan metode *Plane Orthogonal to Skin* (POS) mempunyai kinerja terbaik dengan kesalahan prediksi nilai MAE yang dihasilkan sebesar 2,59 dan RMSE sebesar 4,65.

Sinyal PPG dapat digunakan untuk mengukur volume stroke dari jantung menggunakan metode *Deep Convolutional Neural Networks* (DCNN) (Liu *et al.*, 2020). Penelitian lain (Ma, Tobón and El Saddik, 2020) terkait dengan rPPG untuk deteksi detak jantung menggunakan kamera *monochrome* dan kamera warna, hasilnya kamera lebih unggul terkait stabilitas ketika artefak wajah ditampilkan daripada *webcam*. Pada penelitian (Dasari *et al.*, 2021) telah mengumpulkan data denyut nadi dan video wajah dari subjek manusia di India dan Sierra Leone, untuk mengukur ketidakpastian dalam metode estimasi denyut nadi tanpa kontak menggunakan metode rPPG. Hasil penelitiannya bahwa perbedaan rata-rata antara denyut nadi yang diukur dengan metode rPPG sebesar ~2% serta metode rPPG menunjukkan variabilitas denyut nadi sebesar ~15% (11 bpm). Penelitian lain (Allado *et al.*, 2022) terkait pencitraan fotoplethysmografi jarak jauh (rPPG) yang digunakan untuk mengukur tanda-tanda vital, seperti laju pernapasan (*respiratory rate*) dengan menggunakan *webcam*, mempunyai interval kepercayaan sampai 95% dalam *plot Bland-Altman*.

Berdasarkan latar belakang semua penelitian lain sebagaimana yang telah dibahas di atas maka pada penelitian ini penulis menerapkan metode rPPG yang digunakan untuk mendeteksi detak jantung melalui kulit di dahi secara *realtime* dan *non-invasive* menggunakan *webcam* internal *laptop* yang *manual-focus* dan jenis *webcam* eksternal yang memiliki fitur *auto-focus*. Hasil pengujian pada penelitian ini tidak berdasarkan perubahan pencahayaan seperti pada penelitian lain sebelumnya akan tetapi dilakukan

melalui perubahan jarak antara *voulunteer* dan *webcam* dengan titik fokus yang berubah secara dinamis. Perubahan jarak antara *voulunteer* dengan *webcam* yang *manual-focus* dan *auto-focus* dilakukan untuk mengetahui kinerja terbaik metode rPPG melalui jarak deteksi terbaik yang ditandai dengan persentase akurasi tertinggi.

Perubahan jarak antara *voulunteer* dan *webcam* yang telah ditentukan (28 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm dan 110 cm) sebagai bentuk representasi jarak yang ideal agar tidak terlalu dekat dan terlalu jauh karena performa terbaik proses deteksi dari *webcam* dalam visi komputer *range*-nya antara 15 cm hingga 1.5 meteran. Adanya perubahan jarak yang telah ditentukan tersebut maka akan mengurangi faktor pergerakan dari subjek sehingga posisi *voulunteer* lebih stabil (*motion stabilization*), karena efek gerakan subjek merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh algoritma r-PPG. Guna melihat performa dari sistem rPPG pada penelitian ini maka hasil pengujiannya akan dibandingkan dengan hasil pembacaan 3 alat berbeda yang sudah biasa digunakan secara medis, yaitu: oksimeter, *smartwatch* dan tensimeter digital.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini diperlukan perangkat keras *laptop* yang mempunyai *webcam* internal serta diperbandingkan dengan penggunaan *webcam* eksternal yang mempunyai fitur *auto-focus* untuk dianalisis hasil komparasinya terhadap persentase akurasi beserta *frame per second*-nya (FPS), disamping itu juga diperlukan instalasi program Visual Studio Code sebagai antarmuka media pemrogramannya, Python for Windows, *library* yang digunakan adalah OpenCV dan Numpy. Alat kalibrasi sebagai pembanding pembacaan *beat per second* (bps) terhadap tingkat akurasi dari hasil deteksi bps menggunakan metode rPPG, antara lain: oksimeter dengan tampilan seperti pada Gambar 2, *smartwatch* sebagaimana tampak pada Gambar 3, sedangkan alat tensimeter digital terlihat pada Gambar 4 di bawah.



Gambar 2. Alat saturasi oksigen (oksimeter)



Gambar 3. Alat *smartwatch*

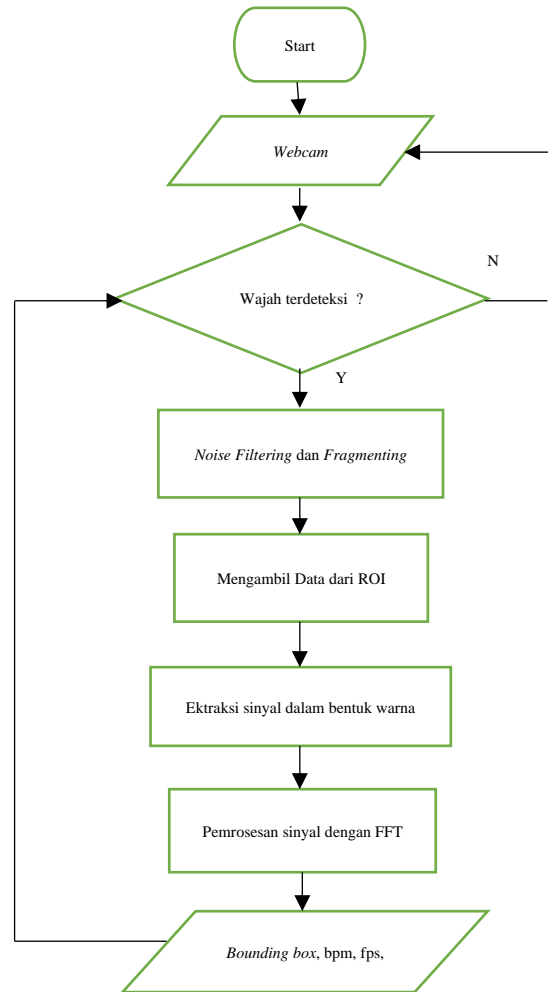


Gambar 4. Alat tensimeter digital

#### Flowchart Sistem

Tampilan diagram alir dari metode rPPG dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan bentuk blok diagramnya tampak pada Gambar 6. Data hasil dari penelitian ini diambil dengan spesifikasi perangkat keras *laptop* dengan prosesor i5, RAM 12 GB dengan resolusi *webcam* internal 720 piksel dengan dukungan 30 *frame per second*. Proses akuisisi data dilakukan oleh *webcam*, video hasil *capture* dari *webcam* tiap *frame*-nya dikonversi ke ruang warna *grayscale*, jika wajah terdeteksi maka titik koordinat *Region of Interest* (ROI) disesuaikan dengan area wajah. Proses selanjutnya mengekstrak ROI dengan penerapan teknik *pre-processing* seperti pemfilteran median, pemfilteran spasial, dan kompensasi gerakan untuk menghitung dan menampilkan perubahan warna rata-rata dalam ROI.

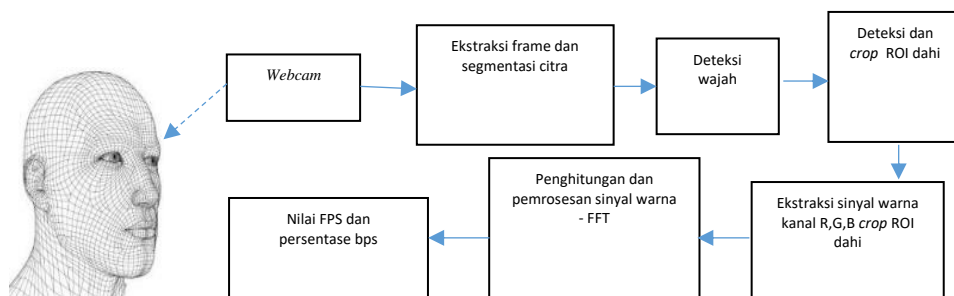
Hasil dari proses ROI dilanjutkan dengan komputasi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) sebagaimana tampak sinyal bagian bawah pada Gambar 6 di bawah untuk mendapatkan *Power Spectral Density* (PSD) dengan maksimum lokal untuk identifikasi frekuensi puncak dari PSD dikonversi menjadi denyut per menit (*beat per minute*), sedangkan tampilan sinyal pada bagian atas pada Gambar 7 menggambarkan *raw optical intensity*. Denyut jantung yang terdeteksi disimpan dalam daftar kemudian dirata-ratakan setelah melakukan eliminasi *outlier*, nilai rata-rata bpm ditampilkan diatas kotak ROI, sumbu y sebagai detak jantung. *Peak frequency* sinyal adalah sinyal datamentang yang didapat dari PSD, yang belum diolah oleh sistem yang menjadi acuan sinyal detak jantung, kemudian di-*enhance* atau diolah oleh sistem agar menjadi sinyal detak jantung seperti tampilan pada Gambar 8. Sistem melakukan *looping* untuk mendeteksi keberadaan wajah secara terus-menerus hingga menunggu penekanan tombol “q” pada *keyboard* untuk menghentikan program.



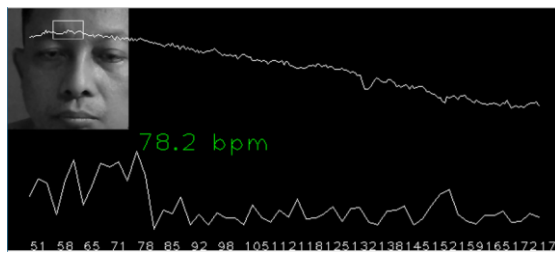
Gambar 5. Flowchart sistem rPPG

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

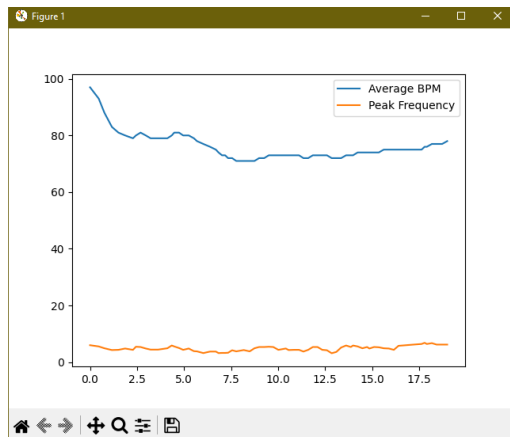
Pengambilan data pada penelitian ini secara total dilakukan pada 10 orang *voulunteer* atau sukarelawan, 5 orang sukarelawan dengan perubahan pada jarak, yaitu: 28 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm dan 110 cm antara wajah dan *webcam internal* yang *manual-focus*, pada kelima perubahan jarak tersebut data diambil sebanyak 5 kali, sehingga total data yang didapat sebanyak 75 *dataset*. Hasil deteksi pembacaan FPS dari rPPG akan dibandingkan dengan oksimeter, *smartwatch* dan tensimeter digital.



Gambar 6. Blok diagram sistem rPPG



Gambar 7. Tampilan proses deteksi detak jantung



Gambar 8. Tampilan sinyal bpm

### 3.1. Pengujian Hasil *Heartrate*

Berdasarkan data pada Tabel 1, Jarak yang memiliki tingkat akurasi paling tinggi pada uji coba Subjek 1 terletak pada jarak 40 cm dengan rata-rata tingkat akurasi pada *smartwatch* adalah 95.7%, sedangkan rata-rata tingkat akurasi pada jarak 80 cm dengan alat oksimeter adalah 95.3% dan *frame per second* tertinggi pada jarak 60 cm sebesar 24.4 FPS. Pada Tabel 2, Jarak yang memiliki tingkat akurasi paling tinggi pada uji coba Subjek 2 terletak pada jarak 60 cm dengan rata-rata tingkat akurasi oksimeter adalah 94.3% dan *smart watch* sebesar 95.1% dengan *frame per second* 22.6 FPS.

Berdasarkan data pada Tabel 3, jarak yang memiliki tingkat akurasi paling tinggi hasil uji coba Subjek 3 pada jarak 28 cm, rata-rata tingkat akurasi *smartwatch* adalah 94.4% sedangkan rata-rata tingkat akurasi pada jarak 40 cm dengan oksimeter sebesar 95.6% tingkat *realtime* tertinggi pada jarak 60 cm sebesar 25.6 FPS. Tabel 4 jarak yang memiliki tingkat rata-rata akurasi paling tinggi pada uji coba Subjek 4 terletak pada jarak 28 cm pada oksimeter adalah 95.3%, *smartwatch* sebesar 96.9% sedangkan *frame per second* tertinggi pada jarak 80 cm sebesar 25.6 FPS.

Berdasarkan data dari Tabel 5, Jarak yang memiliki rata-rata tingkat akurasi paling tinggi pada uji coba Subjek 5 terletak pada jarak 28 cm pada *smart watch* adalah 91.9% sedangkan rata-rata tingkat akurasi pada jarak 40 cm pada oksimeter sebesar 96%, adapun tingkat *realtime* tertinggi pada jarak 80 cm sebesar 24.6 FPS. Analisi data perubahan jarak terhadap akurasi dari alat oksimeter dan *smartwatch*

sebagaimana tampak pada Tabel 6 didapatkan hasil sebagai berikut: jarak antara *webcam* dengan wajah subjek yang paling efektif dari sistem dalam mendeteksi detak jantung melalui dahi pada wajah secara *computer vision* menggunakan metode *Remote Photoplethysmograph* adalah pada jarak 40 cm, hasil akurasi dari kedua alat pembanding yaitu alat oksimeter dan *smartwatch* menunjukkan hasil akurasi tertinggi yaitu 94.4% dan 93.2%, sedangkan nilai *frame per second* tertinggi didapat pada jarak 60 cm.

Tabel 1. Hasil pengujian sistem *voulunteer* 1

No	Nama	Jarak (cm)	Hasil			FPS
			rPPG (bpm)	Oksimeter (bpm)	Smartwatch (bpm)	
1	Subjek 1	28	84	82	78	20
			82	77	82	21
			72	73	73	18
			71	66	77	19
			53	68	70	26
		40	65	65	65	19
			72	69	72	26
			75	69	69	18
			65	70	71	23
			74	67	71	27
		60	80	63	61	24
			83	66	68	22
			86	68	67	24
			88	70	69	26
			88	65	68	18
		80	71	67	66	23
			72	68	65	24
			76	72	70	25
			68	70	71	26
			68	65	65	21
		110	85	71	71	26
			115	72	71	23
			89	69	71	24
			90	76	74	23
			104	67	64	26

Tabel 2. Hasil pengujian sistem *voulunteer* 2

No	Nama	Jarak (cm)	Hasil			FPS
			rPPG (bpm)	Oksimeter (bpm)	Smartwatch (bpm)	
2	Subjek 2	28	79	73	70	23
			78	70	68	19
			74	63	64	24
			71	66	67	25
			80	68	70	18
		40	84	82	78	20
			82	77	82	25
			72	73	73	23
			71	66	67	18
			75	81	70	26
		60	73	81	80	24
			76	83	83	20
			77	74	76	18
			77	71	69	22
			78	74	72	20
		80	73	65	65	27
			63	64	67	20
			81	66	66	21
			70	65	67	19
			57	67	68	21
		110	95	66	67	26
			45	68	68	19
			50	78	76	24
			53	75	75	20
			48	68	70	24



Tabel 3. Hasil pengujian sistem *voulunteer 3*

No	Nama	Jarak (cm)	Hasil			FPS
			rPPG (bpm)	Oksimeter (bpm)	Smartwatch (bpm)	
3	Subjek 3	28	70	65	65	20
			72	69	72	23
			73	69	70	22
			65	70	71	22
			73	68	68	21
		40	77	78	65	22
			72	73	72	22
			71	66	69	23
			70	76	71	21
			76	79	71	23
		60	74	77	85	24
			75	81	76	25
			73	86	81	23
			75	67	71	25
			77	70	70	27
		80	73	70	70	22
			76	66	65	23
			75	69	69	26
			84	72	70	23
			65	71	71	21
		110	47	70	70	27
			45	76	74	24
			51	72	77	26
			46	68	70	26
			49	67	67	25

Tabel 4. Hasil pengujian sistem *voulunteer 4*

No	Nama	Jarak (cm)	Hasil			FPS
			rPPG (bpm)	Oksimeter (bpm)	Smart Watch (bpm)	
4	Subjek 4	28	71	74	73	23
			67	66	68	22
			70	73	73	25
			75	80	77	22
			72	67	68	21
		40	68	74	67	25
			78	72	68	22
			75	73	67	23
			74	70	69	22
			70	77	68	22
		60	84	73	74	25
			86	72	72	27
			85	70	71	22
			90	73	73	25
			87	75	75	22
		80	57	67	65	26
			65	71	70	25
			72	62	64	27
			66	66	70	24
			72	65	65	26
		110	53	69	72	25
			57	64	69	26
			45	73	70	24
			48	74	73	25
			43	75	75	24

Hasil akurasi yang berbeda pada jarak tertentu hal tersebut dikarenakan piksel pada ROI lebih mudah terlihat pada jarak yang lebih dekat, semakin jauh wajah terhadap *webcam* maka semakin sulit *webcam* melihat perubahan pantulan cahaya pada dahi. Pada penelitian ini proses pengambilan data dilakukan pada hari dan tempat yang sama, apabila tempat pengambilan data berubah serta tingkat kecerahan cahaya berbeda maka dapat mempengaruhi hasil dari pembacaan bpm oleh sistem sehingga hasilnya juga akan berbeda pula. Apabila dilakukan pengujian ulang dengan tempat berbeda maka hasilnya juga akan berbeda. Gambar 9 menampilkan perbandingan rata-rata akurasi hasil proses deteksi

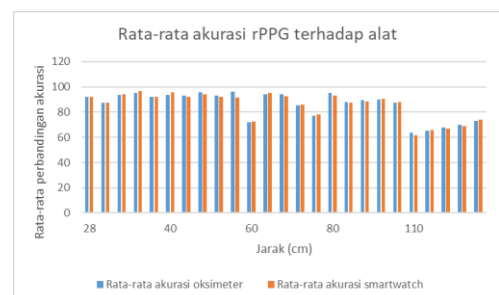
detak jantung oleh rPPG dan hasil pembacaan alat oksimeter dan *smartwatch*.

Tabel 5. Hasil pengujian sistem *voulunteer 5*

No	Nama	Jarak (cm)	Hasil			FPS
			rPPG (bpm)	Oksimeter (bpm)	Smart Watch (bpm)	
5	Subjek 5	28	77	67	66	25
			67	68	65	22
			65	72	70	22
			70	70	71	22
			73	65	65	24
		40	76	78	66	21
			72	68	65	22
			76	72	70	25
			69	70	71	23
			68	65	65	22
		60	95	76	76	26
			93	73	74	24
			92	75	75	23
			88	74	76	25
			94	78	78	23
		80	71	69	65	23
			77	62	62	25
			58	65	63	23
			79	73	74	26
			61	73	69	26
		110	56	69	72	24
			47	64	65	25
			49	68	67	23
			47	73	67	25
			53	71	70	24

Tabel 6. Analisis data jarak terhadap akurasi alat

No	Nama	Jarak (cm)	Rata-rata Hasil Tabel		
			Akurasi sistem dengan Oksimeter (%)	Akurasi sistem dengan smartwatch (%)	Rata-rata FPS
1	Subjek 1	28	92	92.1	20.8
	Subjek 2		87.5	87.3	21.8
	Subjek 3		93.5	94.4	21.6
	Subjek 4		95.3	96.9	22.6
	Subjek 5		92.3	91.9	23
2	Subjek 1	40	93.9	95.7	22.6
	Subjek 2		93.2	92.3	22.4
	Subjek 3		95.6	94	22.2
	Subjek 4		93.2	92.3	22.8
	Subjek 5		96	91.6	22.6
3	Subjek 1	60	71.9	72.3	22.8
	Subjek 2		94.3	95.1	20.8
	Subjek 3		94.3	92.8	24.8
	Subjek 4		85.5	86	24.2
	Subjek 5		77.1	78.1	24.2
4	Subjek 1	80	95.3	93.1	23.8
	Subjek 2		88.2	87.7	21.6
	Subjek 3		89.3	88.3	23
	Subjek 4		89.9	90.3	25.6
	Subjek 5		87.5	88.1	24.6
5	Subjek 1	110	63.6	61.8	24.4
	Subjek 2		65.5	65.9	22.6
	Subjek 3		67.6	66.6	25.6
	Subjek 4		69.9	68.7	24.8
	Subjek 5		73.1	73.8	24.2



Gambar 9. Perbandingan rata-rata akurasi rPPG terhadap alat

### 3.2. Pengujian Hasil *Heartrate* dengan Webcam Eksternal *Auto-focus*

Pengambilan data kedua pada penelitian ini dilakukan pada 5 orang sukarelawan yang lain dengan menggunakan webcam eksternal 2K dengan fitur *auto-focus*, resolusi hingga 2560x1920 serta *frame rate*-nya 60 FPS. Penggunaan webcam eksternal yang *auto-focus* ini dilakukan untuk mengetahui performa atau kinerja dari rPPG bila dibandingkan dengan menggunakan webcam internal bawaan laptop yang belum mendukung teknologi *auto-focus*. Berdasarkan data hasil pengujian sistem rPPG menggunakan webcam yang *auto-focus*, jarak terdekat antara webcam dan wajah yang akan dideteksi detak jantungnya minimal 50 cm, jika jaraknya kurang dari 50 cm maka sistem rPPG tidak bisa mendeteksi dahi, sedangkan jarak pembacaan terbaik pada sistem rPPG menggunakan webcam yang *auto-focus* antara 60 cm hingga 80 cm. Pengambilan data dilakukan pada 5 orang *voulunteer* dan diulang sebanyak 5 kali pada jarak antara 60 – 80 cm, hasil pembacaan data dari sistem rPPG akan dikomparasi dengan hasil dari pembacaan alat menggunakan oksimeter dan tensimeter digital.

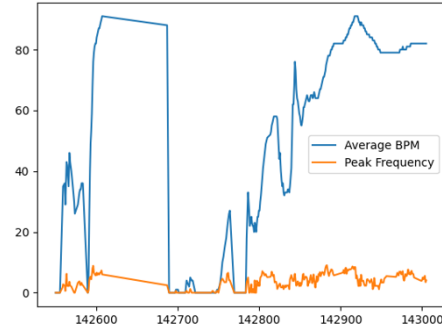
Salah satu contoh bentuk tampilan proses deteksi detak jantung menggunakan program rPPG terlihat pada Gambar 10 dengan tampilan grafik frekuensi puncak dan *beat per minute* sebesar 82 bpm tampak pada Gambar 11 di bawah. Hasil dari proses deteksi rPPG di atas, selanjutnya dibandingkan dengan hasil deteksi dari alat menggunakan oksimeter terlihat pada Gambar 12, sedangkan Gambar 13 menampilkan hasil deteksi bpm antara dari alat oksimeter dengan alat tensimeter digital merk OMRON serie HEM-7156T-A yang mempunyai akurasi pembacaan 5% serta adanya dukungan layanan koneksi via *bluetooth* ke *smartphone* menggunakan aplikasi CONNECT sehingga data dan grafiknya bisa tersimpan seperti terlihat pada Gambar 14.



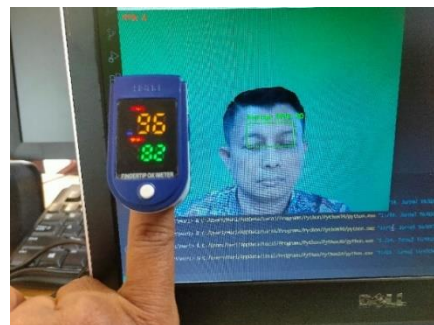
Gambar 10. Hasil deteksi bpm dengan program Rppg

Rata-rata hasil deteksi bpm dari metode rPPG serta hasil pembacaan bpm dari alat oksimeter dan tensimeter dari kelima orang *voulunteer* dapat dilihat sebagaimana tampak pada Gambar 15. Rata-rata *error* terbesar hasil dari deteksi bpm ada di sukarelawan bernama Subjek B sebesar 3,66% terhadap oksimeter dan *error rate* 4,94% terhadap

tensimeter, hal ini dikarenakan sukarelawan Subjek B mempunyai kulit yang paling putih diantara sukarelawan yang lainnya sehingga daya serap cahaya pada dahinya tidak sebesar dari relawan yang berkulit lebih gelap.



Gambar 11. Tampilan grafik bpm dari program rPPG



Gambar 12. Hasil deteksi bpm dengan oksimeter

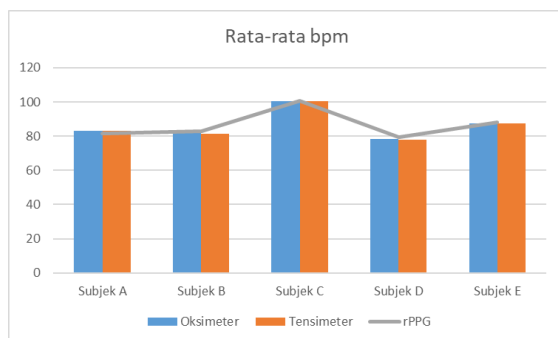


Gambar 13. Perbandingan hasil deteksi bpm oksimeter dengan tensimeter

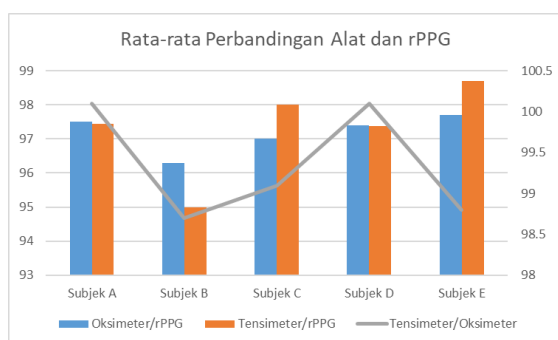
Berdasarkan data dari Gambar 16 di atas, sukarelawan Subjek E mempunyai rata-rata hasil perbandingan tertinggi antara hasil pembacaan oksimeter terhadap deteksi metode rPPG sebesar 97,7% serta tertinggi juga hasil pembacaan dari tensimeter terhadap hasil deteksi metode rPPG yang sebesar 99,55%, hal ini dikarenakan sukarelawan yang bernama Subjek E mempunyai kulit yang paling gelap diantara relawan yang lainnya. Adapun hasil rata-rata perbandingan pembacaan bpm dengan persentase akurasi tertinggi antara alat oksimeter dan tensimeter didapatkan dari sukarelawan Subjek A dan Subjek D yang masing-masing sebesar 100%, artinya pada sukarelawan tersebut hasil pembacaan oksimeter dan tensimeter mempunyai angka yang sama persis.



Gambar 14. Tampilan data *history* grafik bpm dari tensimeter di *smartphone*



Gambar 15. Perbandingan rata-rata akurasi rPPG terhadap alat



Gambar 16. Perbandingan rata-rata akurasi rPPG terhadap alat

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil menerapkan proses deteksi detak jantung melalui dahi dengan perubahan jarak secara dinamis antara wajah para *voulunteer* dengan 2 jenis *webcam* yang berbeda, yaitu: *webcam* internal laptop (*manual-focus*) serta *webcam* eksternal (*auto-focus*) menggunakan metode rPPG dalam lingkungan *computer vision* yang dapat berjalan dalam waktu nyata (*realtime*) tanpa diperlukan kontak secara fisik sehingga proses

interaksinya lebih natural dan intuitif. Hasil persentase akurasi terbaik menggunakan kamera laptop didapatkan pada jarak 40 cm dengan pembacaan rata-rata perbandingan persentase antara metode rPPG dengan alat *smartwatch* sebesar 93,2% dan rata-rata akurasi dengan perbandingan terhadap alat oksimeter sebesar 94,4%.

Hasil eksperimen secara empiris dengan penggunaan *webcam* eksternal yang memiliki fitur *auto-focus* didapatkan perbandingan rata-rata akurasi metode rPPG terhadap oksimeter sebesar 97,7% dan rata-rata persentase akurasi rPPG terhadap tensimeter digital 99,55%. Penerapan metode rPPG pada penelitian ini akurasi masih dipengaruhi tingkat kecerahan atau kegelapan warna kulit si *voulunteer* sehingga diperlukan tindakan setting dan konfigurasi yang tepat terkait dengan nilai *impact factor* pada program, penataan pencahayaan dan warna *background* ruangan.

Guna meningkatkan stabilitas proses deteksi detak jantung dengan penerapan metode rPPG pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan dengan metode lain sebagai contoh dengan metode *Gaussian Pyramid* agar lebih *robust* terhadap perubahan gerakan artefak wajah. Pengembangan lainnya dapat diarahkan pada penerapan *artificial intelligence* (AI) dengan menggunakan *machine learning* maupun *deep learning* untuk meningkatkan persentase nilai akurasi dan presisinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ALLADO, E. *et al.* 2022. Remote Photoplethysmography Is an Accurate Method to Remotely Measure Respiratory Rate: A Hospital-Based Trial. *Journal of clinical medicine*, 11(13). doi: 10.3390/jcm11133647.
- ALNAEB, M. E. *et al.* 2007. Optical techniques in the assessment of peripheral arterial disease. *Current vascular pharmacology*, 5(1), pp. 53–59. doi: 10.2174/157016107779317242.
- BABGEI, A. F., SASONGKO, M. W. and Sardjono, T. A. 2022. Analisis Photoplethysmography Jarak Jauh dalam berbagai Kondisi Pencahayaan. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 12(2), p. 169. doi: 10.22146/ijeis.78715.
- DASARI, A. *et al.* 2021. Evaluation of biases in remote photoplethysmography methods, *NPJ digital medicine*, 4(1), p. 91. doi: 10.1038/s41746-021-00462-z.
- HERTZMAN, A. B. 1938. The Blood Supply Of Various Skin Areas As Estimated By The Photoelectric Plethysmograph. *American Journal of Physiology*, 124, pp. 328–340. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:102089762>.
- LIU, S. H. *et al.* 2020. Classification of photoplethysmographic signal quality with



- deep convolution neural networks for accurate measurement of cardiac stroke volume. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(13), pp. 1–16. doi: 10.3390/app10134612.
- MA, X., TOBÓN, D. P. AND EL SADDIK, A. 2020. Remote Photoplethysmography (rPPG) for Contactless Heart Rate Monitoring Using a Single Monochrome and Color Camera', in McDaniel, T. et al. (eds) *Smart Multimedia*. Cham: Springer International Publishing, pp. 248–262.
- NILSSON, L., JOHANSSON, A. AND KALMAN, S. 2005. Respiration can be monitored by photoplethysmography with high sensitivity and specificity regardless of anaesthesia and ventilatory mode. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, 49(8), pp. 1157–1162. doi: 10.1111/j.1399-6576.2005.00721.x.
- REISNER, A. *et al.* 2008. Utility of the photoplethysmogram in circulatory monitoring. *Anesthesiology*, 108(5), pp. 950–958. doi: 10.1097/ALN.0b013e31816c89e1.
- ROMADHONI, T., SETIONINGSIH, E. D. & PUTRA, M. P. A. T. 2019 'Photoplethysmograph Portable. *Jurnal Teknokes*, 12(1), pp. 21–26. doi: 10.35882/teknokes.v12i1.4.
- SHELLEY, K. H. 2007. Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. *Anesthesia and analgesia*, 105(6 Suppl), pp. S31–S36. doi: 10.1213/01.ane.0000269512.82836.c9.
- TAKAZAWA, K. *et al.* 1998. Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform. *Hypertension (Dallas, Tex. : 1979)*, 32(2), pp. 365–370. doi: 10.1161/01.hyp.32.2.365.
- TOKUTAKA, H. *et al.* 2009. Construction of a General Physical Condition Judgment System Using Acceleration Plethysmogram Pulse-Wave Analysis', in Principe, J. C. and Miikkulainen, R. (eds) *Advances in Self-Organizing Maps*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 307–315.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*