

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI DENYUT NADI MENGGUNAKAN METODE PHASE-BASED MOTION MAGNIFICATION

DESIGN OF PULSE DETECTION SYSTEM BY USING PHASE-BASED MOTION MAGNIFICATION METHOD

Pandu Jati Utomo¹, Inung Wijayanto², R Yunendah Nur Fu'adah³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Elektro, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu Bandung

Email : pandujatiu@gmail.com

Abstrak

Di dalam tubuh manusia terdapat jantung yang memompa darah ke seluruh tubuh dan menghasilkan denyut nadi. Telah dibuat teknologi Elektrokardiogram (EKG) dan alat *pulse oxymetry* untuk mengukur denyut nadi. Teknologi terus dikembangkan agar memungkinkan untuk mengukur denyut nadi tanpa menyentuh tubuh pasien. Lalu berkembanglah sebuah metode yang bernama *phase-based motion magnification*.

Pada penelitian sebelumnya telah diterapkan sebuah metode bernama *Eularian Motion Magnification* untuk mengukur denyut nadi dengan cara mengambil video dari pergelangan tangan pasien, kemudian pergerakan mikro dalam video diperbesar sehingga denyut nadi dapat terlihat, lalu dilakukan proses deteksi untuk menghitung jumlah denyut nadi per menit dalam satuan BPM. Akan tetapi metode tersebut memiliki kelemahan yaitu hasil yang rentan terhadap *noise* setelah proses magnifikasi dan akurasi menurun pada kondisi rendah cahaya. Dalam tugas akhir ini digunakan metode *phase-based motion magnification* untuk menjawab kekurangan dari metode *Eularian*, dengan hasil yang rendah *noise* dan akurasi lebih baik di kondisi rendah cahaya.

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa hasil akurasi terbaik sistem sebesar 86,94% dengan menggunakan *variable sampling rate* 250 Hz, menggunakan *low cut off* 30 Hz, *high cut off* 100 Hz, *alpha* 50 pixel dan menggunakan *sigma* 4 pixel.

Kata Kunci : EKG, Pulse Oximetry, Phase-Based Motion Magnification, Lagrangian, Eulerian.

Abstract

In the human body there is a heart that pumps blood throughout the body and produces a pulse. Electrocardiogram (EKG) and pulse oxymetry devices have been made to measure pulse. Technology continues to be developed to make it possible to measure pulse without touching the patient's body. Then developed a method called *phase-based motion magnification*.

In a previous study a method called *Eularian Motion Magnification* was used to measure pulse by taking video from the patient's wrist, then micro-movement in the video was enlarged so that the pulse could be seen, then the detection process was done to calculate the number of pulses per minute in BPM. However, this method has the disadvantage that the results are susceptible to noise after the magnification process and the accuracy decreases in low light conditions. In this final project, *phase-based motion magnification* method is used to answer the shortcomings of the *Eulerian* method, with low noise results and better accuracy in low light conditions.

The result of simulation has the best accuracy up to 86.94%, using *variable sampling rate* 250 Hz, *low cut off* 30 Hz, *high cut off* 100 Hz, *Alpha* 50 Pixel, and *sigma* 4 pixel.

Keywords : EKG, Pulse Oximetry, Phase-Based Motion Magnification, Lagrangian, Eulerian

1. Pendahuluan

Jantung adalah salah satu organ vital di dalam tubuh manusia yang berfungsi sebagai pompa yang mengedarkan oksigen dan nutrisi yang membawa darah ke seluruh tubuh agar tetap berfungsi [1]. Menurut *American Heart Association*, saat jantung manusia berdetak dan menyebarkan darah ke seluruh tubuh, denyut dapat dirasakan pada bagian dimana arteri berada dekat dengan permukaan kulit antara lain pergelangan tangan, leher, selangkangan, belakang lutut atau bagian atas kaki. Pada artikel *American College of*

Cardiology, setiap umur memiliki nilai denyut jantung yang berbeda dengan rata-rata maksimum denyut jantung adalah 220 dikurangi umur.

Telah dibuat teknologi Elektrokardiogram (EKG) dan alat *pulse oxymetry* untuk mengukur denyut nadi. EKG adalah hasil berupa grafik dari voltase yang dihasilkan oleh jantung [1]. Sedangkan *pulse oxymetry* bergantung pada pengukuran sinyal fisiologis yang disebut *photoplethysmography*, yang merupakan pengukuran optik pada perubahan volume darah di arteri [2]. Teknologi ini memacu para ilmuwan untuk mengembangkan teknik-teknik yang memungkinkan untuk mengukur denyut nadi tanpa menyentuh tubuh pasien. Lalu berkembanglah sebuah metode yang bernama *phase-based motion magnification*.

Phase-based motion magnification merupakan sebuah teknik untuk memanipulasi gerakan mikro atau kecil dalam video berdasarkan analisis gerak dalam piramida gambar bernilai kompleks [3]. Metode ini tidak menghasilkan perhitungan optik melainkan mendukung faktor amplifikasi yang lebih besar dan secara signifikan lebih kurang sensitif terhadap *noise* [3]. Metode ini meningkatkan efisiensi untuk memproses dan memanipulasi gerakan kecil dalam video standar dengan menganalisa fase lokal dari waktu ke waktu pada orientasi dan skala yang berbeda [3].

2. Dasar Teori

2.1 Denyut Nadi

Denyut nadi adalah ekspansi berirama dan kontraksi arteri yang disebabkan oleh darah yang dipompa oleh jantung. Denyut nadi dapat dirasakan dengan jari-jari pada titik tekanan nadi yang berbeda di seluruh tubuh dan dapat didengar melalui alat bantu dengar yaitu stetoskop [10]. Denyut nadi dapat diperiksa saat bangun di pagi hari dan sebelum melakukan aktifitas untuk mendapat hasil yang akurat dikarenakan saat itu kondisi tubuh masih relaks dan terbebas dari zat-zat pengganggu [10].

Faktor-faktor yang dapat meningkatkan frekuensi denyut nadi yaitu antara lain rasa sakit, demam, stress, olahraga, pendarahan, penurunan tekanan darah, dan mengkonsumsi obat-obatan tertentu yang memicu adrenalin seperti aminofilin [11]. Denyut jantung normal pada orang dewasa adalah 60 hingga 100 bpm, untuk Tachycardia denyut nadi yang cepat yaitu lebih dari 100 bpm, sedangkan untuk Bradycardia denyut nadi dibawah 60 bpm pada orang dewasa [11]. Adapun denyut nadi normal berdasarkan umur antara lain [11]:

Tabel 2.1 Tabel Range Denyut Nadi Normal Berdasarkan Umur

Umur	Range	Rata-Rata
Baru lahir – 1 bulan	120 – 160	140
1 bulan – 12 bulan	80 – 140	120
12 bulan – 2 tahun	80 – 130	110
2 tahun – 6 tahun	75 – 120	100
6 tahun – 12 tahun	75 – 110	95
Remaja hingga dewasa	60 – 100	80

Denyut nadi mungkin dapat berfluktuasi dan meningkat dengan olahraga, penyakit, cedera, dan emosi. Anak perempuan 12 tahun hingga wanita dewasa cenderung memiliki denyut jantung lebih cepat dari pada laki-laki dan pria dewasa [11]. Penting untuk mengukur denyut nadi, karena berhubungan dengan kesehatan karena setiap perubahan jumlah denyut nadi per menit dapat menunjukkan perubahan kondisi medis dari tubuh seseorang [10].

2.1 Phase-Based Motion Magnification

Phase-Based Motion Magnification merupakan teknik untuk memanipulasi gerakan kecil dalam video berdasarkan analisis gerak piramida citra kompleks. Variasi fasa dari koefisien piramida *steerable* yang bernilai kompleks sepanjang waktu sesuai dengan gerakan dan dapat diproses dan diperkuat secara temporer untuk mengungkapkan gerakan yang tidak terlihat, atau dilemahkan untuk menghilangkan perubahan yang mengganggu [3]. Piramida *steerable* memiliki koefisien yang tidak terorientasi, rendah dan tinggi yang bernilai real yang menggambarkan sisa komponen sinyal yang tidak ditangkap oleh filter *bandpass* [3]. Pada domain frekuensi, proses dalam membentuk dan mengurai piramida dapat diformulasikan dengan rumus berikut :

$$\tilde{I}_R = \sum \tilde{S}_{\omega,\theta} \psi_{\omega,\theta} = \sum \tilde{I} \psi_{\omega,\theta}^2 \quad (1)$$

$\tilde{I}_R$ = proses membentuk dan mengurai piramida

$\tilde{S}_{\omega,\theta}$ = frekuensi spasial *bands*, dengan DFT $\tilde{S}_{\omega,\theta(x,y)} = \tilde{I} \psi_{\omega,\theta}^2$

$\psi_{\omega,\theta}$ = *bands* yang berorientasi

$\tilde{I} \psi_{\omega,\theta}^2$ = persamaan DFT $\tilde{S}_{\omega,\theta(x,y)}$

Phase-based menggunakan pendekatan yang bergantung pada piramida *steerable* yang bernilai kompleks, karena memungkinkan untuk mengukur dan memodifikasi gerakan lokal. Pertama menggunakan

dekomposisi *Fourier*, dengan f sebagai profil intensitas gambar pada waktu t , $f(x + \delta(t))$, untuk beberapa perubahan fungsi $\delta(t)$. Pada gerakan yang sudah dimodifikasi dapat disatukan dengan formula $f(x + (1 + \alpha)\delta(t))$, untuk faktor magnifikasi α . Menggunakan dekomposisi *Fourier*, profil gambar yang dipindahkan dapat dituliskan dengan rumus,

$$f(x + \delta(t)) = \sum_{\omega=-\infty}^{\infty} A_{\omega} e^{i\omega(x + \delta(t))} \quad (2)$$

pada setiap koresponden *band* terhadap satu frekuensi ω .

Dari persamaan (2), *band* untuk frekuensi ω adalah sinusoidal yang kompleks.

$$S_{\omega}(x, t) = A_{\omega} e^{i\omega(x + \delta(t))} \quad (3)$$

Karena S_{ω} adalah sinusoidal, fase $\omega(x + \delta(t))$ berisikan informasi gerakan. Menurut *Fourier*, kita dapat memanipulasi gerakan dengan memodifikasi fase. Lalu untuk memisahkan gerakan pada suatu frekuensi sementara, langkah awal yaitu melakukan *filter* pada fase $\omega(x + \delta(t))$ pada rumus (3) dengan filter penyeimbangan DC untuk menghapuskan komponen DC ωx . Maka menghasilkan,

$$B_{\omega}(x, t) = \omega \delta(t) \quad (4)$$

Langkah akhir yaitu memperbesar fase *bandpassed* $B_{\omega}(x, t)$ dengan α dan menambah fase *sub-band* $S_{\omega}(x, t)$ dengan jumlah ini untuk mendapatkan gerak *sub-band* yang diperbesar.

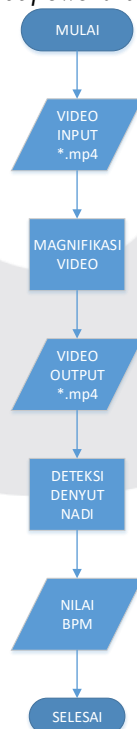
$$\hat{S}_{\omega}(x, t) := S_{\omega}(x, t) e^{i\alpha B_{\omega}} = A_{\omega} e^{i\omega(x + (1 + \alpha)\delta(t))} \quad (5)$$

Hasil $\hat{S}_{\omega}(x, y)$ merupakan sinusoidal kompleks yang memiliki pergerakan $(1 + \alpha)$ kali *input*. Dari ini pembesaran gerak video dapat dikonstruksi dengan mengurai piramida pada frame video.

3. Perancangan dan Simulasi

3.1 Desain Sistem

Terdapat dua proses dalam desain pemodelan sistem penelitian ini yaitu proses magnifikasi video dan proses deteksi denyut nadi. Berikut *flowchart* dari cara kerja sistem :



Gambar 3. 1 Flowchart Desain Sistem

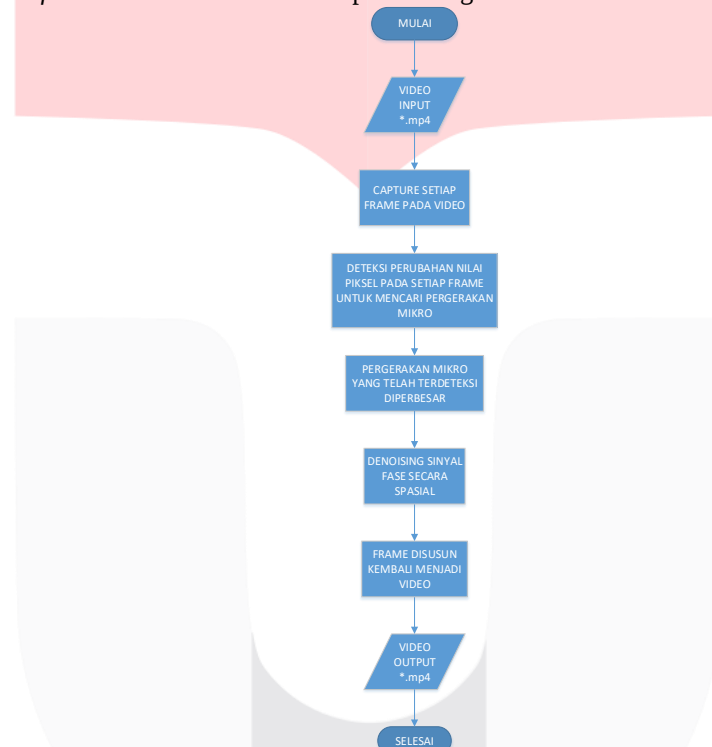
Desain pemodelan sistem pada penelitian ini dimulai dari input video denyut nadi yang sudah diambil untuk kemudian dilakukan proses magnifikasi, lalu hasil video yang telah ter-magnifikasi dilakukan proses deteksi untuk mendeteksi gerak denyut nadi dan dihitung jumlah denyutan dengan satuan Bit Per Minute (BPM). Video yang di-*input*-kan yaitu berupa file .mp4 berdurasi 10 detik

berjumlah sebanyak 30 sampel video. Proses megnifikasi video menggunakan metode *phase-based video magnification* yang akan menghasilkan keluaran berupa video .avi yang akan diteruskan ke langkah selanjutnya yaitu deteksi denyut nadi. Hasil magnifikasi akan diolah kedalam proses deteksi denyut nadi yang akan mengeluarkan nilai BPM.

3.2 Proses Magnifikasi Video

Proses magnifikasi video input pada pergerakan mikro sehingga denyut nadi yang tidak terlihat jelas atau bahkan tidak terlihat menjadi terlihat. Proses magnifikasi ini menggunakan metode *phase-based motion magnification* dengan tahapan yang dijelaskan pada *flowchart*. Diawali dengan *input* video dengan format .mp4 berdurasi 10 detik, setiap *frame* pada video di-*capture* lalu dilakukan pendeteksian setiap perubahan nilai piksel pada setiap *frame* untuk mencari pergerakan mikro yang akan dimodifikasi untuk dilakukan pembesaran. Setelah itu pergerakan mikro yang terdeteksi akan diperbesar, dilakukan *denoising* sinyal secara spasial, untuk membentuk membrane baru dengan skala dan orientasi berbeda. Lalu setiap *frame* yang telah terurai disatukan kembali dan disusun menjadi video dengan menghasilkan video *output* berformat .avi berdurasi sama 10 detik dengan denyut nadi yang terlihat naik-turun. Video *output* ini akan diolah kembali pada proses deteksi denyut nadi untuk mendapatkan nilai BPM.

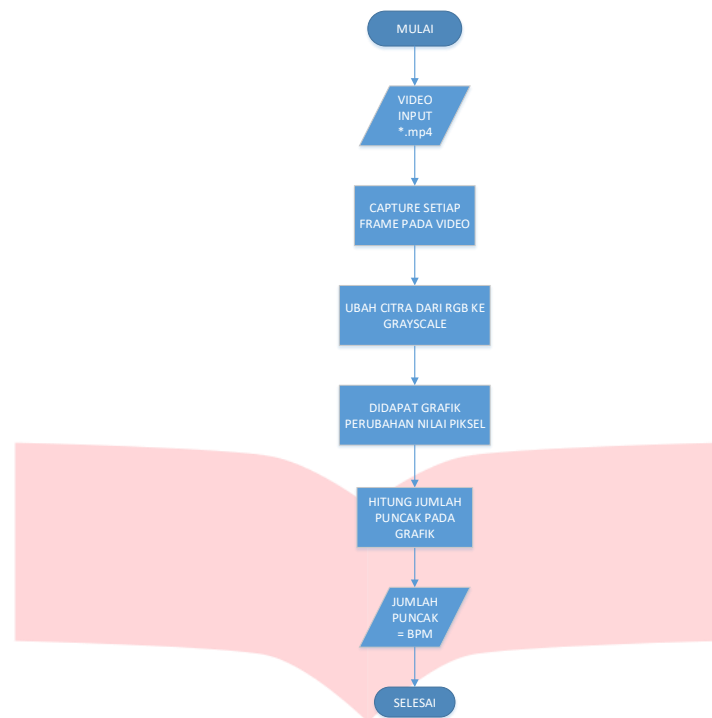
Berikut *flowchart* untuk keseluruhan proses magnifikasi video :



Gambar 3.2 *Flowchart* Proses Magnifikasi Video

3.1 Proses Deteksi Denyut Nadi

Setelah melalui proses magnifikasi, maka denyut nadi pada video akan terlihat. Selanjutnya akan dilakukan proses deteksi denyut nadi pada video output, untuk memperoleh nilai *beat per minute* (bpm). Berikut *flowchart* dari proses deteksi denyut nadi :



Gambar 3.3 Flowchart Proses Deteksi Denyut Nadi

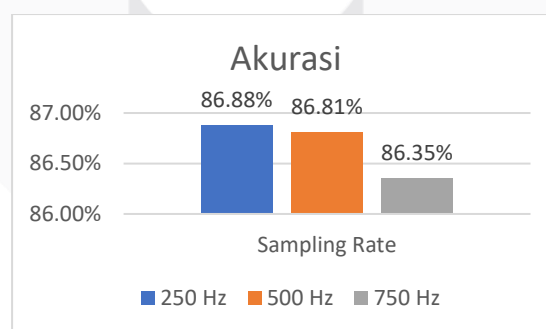
4. Pengukuran dan analisis

4.1 Skenario 1

Pada skenario ini akan dilakukan pengujian sistem berdasarkan variasi kombinasi parameter *Sampling Rate* sebagai data dinamis, dengan parameter *low cut off*, *high cut off*, *alpha* dan *sigma* sebagai data statis. Variasi *sampling rate* yang digunakan yaitu sebesar 250 Hz, 500 Hz dan 750Hz, dengan nilai parameter *low cut off* sebesar 30 Hz, nilai *high cut off* 75 Hz, nilai *alpha* 50 Pixel, dan nilai *sigma* 4 Pixel. Data lengkap tabel percobaan dapat dilihat pada lampiran buku ini. Berikut adalah tabel pengujian yang dilakukan pada skenario pertama.

Tabel 4.1 Pengaruh Parameter *Sampling Rate* Terhadap Akurasi Sistem

<i>Sampling Rate</i>	Akurasi
250 Hz	86,88%
500 Hz	86,81%
750 Hz	86,35%



Gambar 4.1 Grafik Tingkat Akurasi Pada Skenario 1

Dari grafik di atas terlihat bahwa penggunaan parameter *sampling rate* sebesar 250 Hz menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan ketika diberikan *sampling rate* sebesar 500Hz dan 750Hz. Dari analisis yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan : Hasil akurasi yang didapat dari pengujian sistem diatas adalah 86,88% Adapun nilai *sampling rate* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 250 Hz. Maka pada pengujian selanjutnya akan menggunakan *sampling rate* 250 Hz.

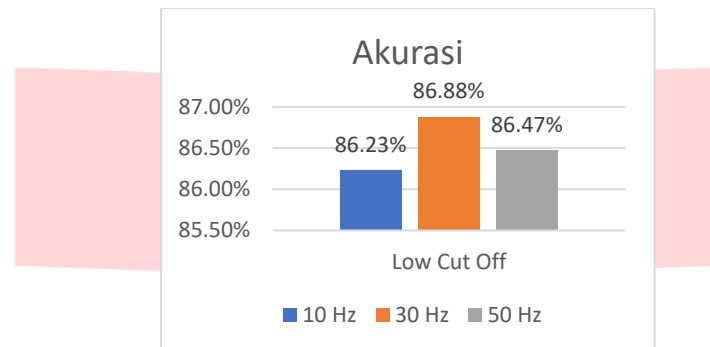
4.2 Skenario 2

Setelah didapatkan hasil *sampling rate* yang menghasilkan performansi terbaik, selanjutnya dilakukan pengujian sistem menggunakan variasi kombinasi parameter *low cut off* sebagai data dinamis,

dengan parameter *sampling rate*, *high cut off*, *alpha* dan *sigma* sebagai data statis. Variasi *low cut off* yang digunakan yaitu sebesar 10 Hz, 30 Hz dan 50 Hz, dengan nilai parameter *sampling rate* sebesar 250 Hz, nilai *high cut off* 75 Hz, nilai *alpha* 50 Pixel, dan nilai *sigma* 4 Pixel. Data lengkap tabel percobaan dapat dilihat pada lampiran buku ini. Berikut adalah tabel pengujian yang dilakukan pada skenario kedua.

Tabel 4.2 Pengaruh Parameter *Low Cut Off* terhadap Akurasi Sistem

<i>Low Cut Off</i>	Akurasi
10 Hz	86,23%
30 Hz	86,88%
50 Hz	86,47%



Gambar 4.2 Grafik Tingkat Akurasi Pada Skenario 2

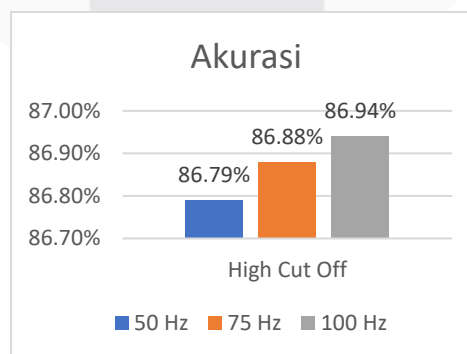
Dari grafik di atas terlihat bahwa parameter *Low Cut Off* sebesar 30Hz menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan ketika diberikan parameter *Low Cut Off* sebesar 10 Hz dan 50Hz. Dari analisis yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan : Hasil akurasi yang didapat dari pengujian sistem diatas adalah 86,88% Adapun nilai *low cut off* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 30 Hz. Maka pada pengujian selanjutnya akan menggunakan *low cut off* 30 Hz.

4.3 Skenario 3

Setelah didapatkan hasil *sampling rate* dan *low cut off* yang menghasilkan performansi terbaik, pada skenario ini akan dilakukan pengujian sistem berdasarkan variasi kombinasi parameter *high cut off* sebagai data dinamis, dengan parameter *sampling rate*, *low cut off*, *alpha* dan *sigma* sebagai data statis. Variasi *high cut off* yang digunakan yaitu sebesar 50 Hz, 75 Hz dan 100 Hz, dengan nilai parameter *sampling rate* sebesar 250 Hz, nilai *low cut off* 30 Hz, nilai *alpha* 50 Pixel, dan nilai *sigma* 4 Pixel. Data lengkap tabel percobaan dapat dilihat pada lampiran buku ini. Berikut adalah tabel pengujian yang dilakukan pada skenario ketiga.

Tabel 4.3 Pengaruh Parameter *High Cut Off* terhadap Akurasi Sistem

<i>High Cut Off</i>	Akurasi
50 Hz	86,79%
75 Hz	86,88%
100 Hz	86,94%



Gambar 4.3 Grafik Tingkat Akurasi Pada Skenario 3

Dari grafik di atas terlihat bahwa parameter *High Cut Off* sebesar 100 Hz menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan parameter *High Cut Off* sebesar 50 Hz dan 75Hz. Dari analisis yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan : Hasil akurasi yang didapat dari

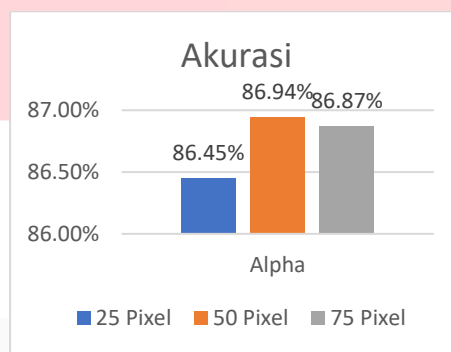
pengujian sistem diatas adalah 86,94% Adapun nilai *high cut off* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 100 Hz. Maka pada pengujian selanjutnya akan menggunakan *high cut off* 100 Hz.

4.4 Skenario 4

Setelah didapatkan hasil nilai *sampling rate*, *low cut off* dan *high cut off* yang menghasilkan performansi terbaik, pada skenario ini akan dilakukan pengujian sistem berdasarkan variasi kombinasi parameter *alpha* sebagai data dinamis dengan parameter *sampling rate*, *low cut off*, *high cut off*, dan *sigma* sebagai data statis. Variasi *alpha* yang digunakan yaitu sebesar 25 Pixel, 50 Pixel dan 75 Pixel, dengan nilai parameter *sampling rate* sebesar 250 Hz, nilai *low cut off* 30 Hz, nilai *high cut off* 100 Hz, dan nilai *sigma* 4 Pixel. Data lengkap tabel percobaan dapat dilihat pada lampiran buku ini. Berikut adalah tabel pengujian yang dilakukan pada skenario keempat.

Tabel 4.4 Pengaruh Parameter Alpha Terhadap Akurasi Sistem

Alpha	Akurasi
25 Pixel	86,45%
50 Pixel	86,94%
75 Pixel	86,87%



Gambar 4.4 Grafik Tingkat Akurasi Pada Skenario 4

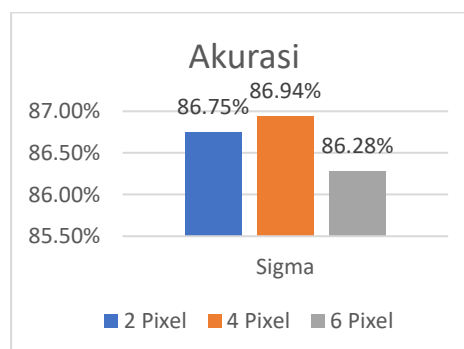
Dari grafik di atas terlihat bahwa parameter *Alpha* sebesar 75 Pixel menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibanding dengan parameter *Alpha* sebesar 25 Pixel dan 50 Pixel. Dari analisis yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan : Hasil akurasi yang didapat dari pengujian sistem diatas adalah 86,94% Adapun nilai *alpha* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 50 Pixel. Maka pada pengujian selanjutnya akan menggunakan *alpha* 50 Pixel.

4.5 Skenario 5

Setelah didapatkan hasil nilai *sampling rate*, *low cut off*, *high cut off* dan *alpha* yang menghasilkan performansi terbaik, pada skenario ini akan dilakukan pengujian sistem berdasarkan variasi kombinasi parameter *sigma* sebagai data dinamis dengan parameter *sampling rate*, *low cut off*, *high cut off*, dan *alpha* sebagai data statis. Variasi *alpha* yang digunakan yaitu sebesar 2 Pixel, 4 Pixel dan 6 Pixel, dengan nilai parameter *sampling rate* sebesar 250 Hz, nilai *low cut off* 30 Hz, nilai *high cut off* 100 Hz, dan nilai *alpha* 50 Pixel. Data lengkap tabel percobaan dapat dilihat pada lampiran buku ini. Berikut adalah tabel pengujian yang dilakukan pada skenario kelima.

Tabel 4.5 Pengaruh Parameter Sigma Terhadap Akurasi Sistem

Sigma	Akurasi
2 Pixel	86,75%
4 Pixel	86,94%
6 Pixel	86,28%



Gambar 4. 5 Grafik Tingkat Akurasi Pada Skenario 5

Dari grafik di atas terlihat bahwa parameter *Sigma* sebesar 4 Pixel menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibanding dengan parameter *Sigma* sebesar 2 Pixel dan 6 Pixel. Saat dilakukan pengujian dengan *Sigma* 4 Pixel didapatkan akurasi rata-rata sebesar 87,51%. Dari analisis yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan : Hasil akurasi yang didapat dari pengujian sistem diatas adalah 86,94% Adapun nilai *sigma* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 4 Pixel.

5. Kesimpulan

Dari seluruh pengujian yang telah dilakukan pada penelitian diatas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai dari *Sampling rate* dari metode *Phase-Based Motion Magnification* sangat berpengaruh terhadap akurasi sistem. Adapun nilai terbaik yang dihasilkan pada penelitian kali ini yaitu nilai *Sampling Rate* 250 Hz.
2. Nilai *Low Cut Off* terbaik yang dihasilkan pada penelitian kali ini yaitu nilai *Low Cut Off* 30 Hz.
3. Nilai *High Cut Off* terbaik yang dihasilkan pada penelitian kali ini yaitu nilai *High Cut Off* 100 Hz.
4. Nilai *Alpha* yang menghasilkan performansi terbaik pada penelitian diatas adalah nilai *Alpha* 50 Pixel.
5. Nilai *Sigma* yang menghasilkan performansi terbaik pada penelitian diatas adalah nilai *Sigma* 4 Pixel.
6. Sistem ini bekerja secara optimal pada *Sampling rate* 250 Hz, *Low Cut Off* 30 Hz, *High Cut Off* 100 Hz, *Alpha* 50 Pixel dan *Sigma* 4 Pixel dengan akurasi tertinggi yang dihasilkan sebesar 86,94%.

Daftar Pustaka

- [1] C. K. Li, H. David and O. Tim, "Heart Rate Monitor," *Analogue Electronics*, vol. 1, pp. 2-10, October 2010.
- [2] T. B. U. S. Esrat Jahan, "An Overview on Heart Rate Monitoring and Pulse Eximetry System," *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 148-152, September-October 2014.
- [3] N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand and W. T. Freeman, "Phase-Based Video Motion Processing," *SIGGRAPH*, 2013.
- [4] C. Liu, A. Torralba, W. T. Freeman, F. Durand and E. H. Adelson, "Motion Magnification," *ACM Trans*, p. 24, 2005.
- [5] W. Neal, R. Michael, F. Durand and W. T. Freeman, "Riesz Pyramids for Fast Phase-Based Video Magnification," *IEEE Computational Photography (ICCP)*, 2014.
- [6] M. Simone, W. Oliver, Z. Henning, M. Grosse and A. Sorkine-Hornung, "Phase-Based Frame Interpolation for Video," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 1410-1418, June 2015.
- [7] M. Rubinstein, C. Liu, P. Sand, F. Durand and W. T. Freeman, "Motion Denoising with Application to Time-lapse Photography," *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, June 2011.
- [8] P. Ming-Zher, S. Nicholas C. and P. Rosalind W., "Motion-Tolerant Magnetic Earring Sensor and Wireless Earpiece for Wearable Photoplethysmography," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, p. 3, May 2010.
- [9] R. Sokwoo, Y. Boo-Ho and A. H. Haruhiko, "Artifact-Resistant Power-Efficient Design of Finger-Ring Plethysmographic Sensors," *IEEE Transactional on Biomedical Engineering*, vol. 48, p. 7, July 2001.
- [10] Westat, "Pulse and Blood Pressure Procedures for Household Interviewers," in *National Health and Nutrition Examination Survey III Cycle 2*, Rockville, 1650 Research Boulevard, 1993, pp. 1-33.
- [11] C. Vogel, C. Wolpert and M. Wehling, "How to measure heart rate?," *Eur J Clin Pharmacol*, vol. 461, no. 6, p. 60, 2004.
- [12] H. Clemens, "Video File Formats," in *Using Video Data*, Berlin, ATLAS.ti, 2011, pp. 5-16.
- [13] B. A. F. Medica, "Perancangan Sistem Pendeteksi Denyut Nadi Menggunakan Metode Eularian Motion Magnification," Telkom University, Bandung, 2015.
- [14] R. A. Losada, "Design Finite Impulse Response Digital Filters Part II," *Microwaves&RF*, vol. 43, pp. 70-84, 2004.
- [15] S. Daniels, P. Khoury and J. Morisson, "The Utility of Body Mass Index as a Measure of Body Fatness in Children and Adolescents : Difference by Race and Gender," *Pediatrics*, pp. 804-807, 1997.
- [16] J. Himes, "Challenges of Accurately Measuring and Using BMI and Other Indicators of Obesity in Children," *Pediatrics*, Vols. Suppl 1:S3-22, p. 124, 2009.
- [17] C. Juan and P. Shamim, "Dynamics of Civil Structures, Volume 2," in *Proceedings of the 36th IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics*, Switzerland, 2018.