



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ESTIMASI LAJU PERNAPASAN BERBASIS PENGOLAHAN
CITRA MENGGUNAKAN KAMERA DENGAN METODE ANALISIS
*PIXEL VALUE***

**ILHAM AKBAR IBRAHIM
NRP. 0231164000096**

**Dosen Pembimbing:
Dr. rer. nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***ESTIMATION OF BREATHING RATE BASED ON IMAGE
PROCESSING USING CAMERA WITH PIXEL VALUE ANALYSIS
METHOD***

**ILHAM AKBAR IBRAHIM
NRP. 02311640000096**

**Supervisors:
Dr. rer. nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.**

***Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020***

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Ilham Akbar Ibrahim
NRP : 02311640000096
Departemen / Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "***ESTIMASI LAJU PERNAPASAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN KAMERA DENGAN METODE ANALISIS PIXEL VALUE***" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 29 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Ilham Akbar Ibrahim
NRP. 02311640000096

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ESTIMASI LAJU PERNAPASAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA
MENGUNAKAN KAMERA DENGAN METODE ANALISIS *PIXEL VALUE***

Oleh:

Ilham Akbar Ibrahim

NRP. 02311640000096

Surabaya, 29 Juli 2020

**Menyetujui,
Pembimbing I**


Surabaya, 05/08/2020

Dr. rer. nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.

NIP. 196711171997021001

**Mengetahui,
Kepala Departemen**

Teknik Fisika FT-IRS-ITS


Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 197111131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ESTIMASI LAJU PERNAPASAN BERBASIS PENGOLAHAN CITRA MENGUNAKAN KAMERA DENGAN METODE ANALISIS *PIXEL* *VALUE*

TUGAS AKHIR


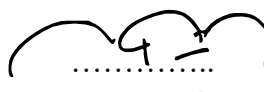
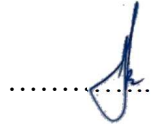

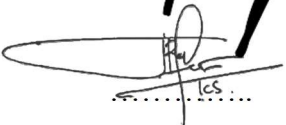
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ilham Akbar Ibrahim

NRP. 0231164000096

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.rer.nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.  (Pembimbing I)
Surabaya, 05/08/2020
2. Agus M. Hatta, S.T., M.Sc., Ph.D.  (Ketua Penguji)
3. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.  (Penguji I)
4. Dr.-Ing Doty Dewi Risanti S.T., M.T.  (Penguji II)
5. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T.  (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ESTIMASI LAJU PERNAPASAN BERBASIS PENGOLAHAN
CITRA MENGGUNAKAN KAMERA DENGAN METODE
ANALISIS *PIXEL VALUE***

Nama : Ilham Akbar Ibrahim
NRP : 02311640000096
Departemen : Teknik Fisika FT-IRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. rer. nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.

ABSTRAK

Monitoring parameter vital fisiologis pada tubuh manusia sangat penting dilakukan untuk mengetahui kondisi kesehatan tubuh manusia. Hal ini dapat digunakan dokter untuk melakukan diagnosis terhadap pasien sejak dini sehingga dapat memberikan perawatan medis yang tepat. Salah satu parameter yang penting untuk dimonitoring adalah laju pernapasan. Pada umumnya pengukuran laju pernapasan bersifat kontak, seperti pengukuran berbasis akustik, menggunakan alat *electrocardiogram (ECG)*, pengukuran berbasis aliran udara, dan lain-lain. Pada penelitian ini dikembangkan metode pengukuran laju pernapasan bersifat non-kontak berbasis pengolahan citra. Ketika pernapasan berlangsung, volume paru-paru akan berubah-ubah yang menyebabkan bagian dada akan berekspansi menjadi lebih besar pada saat proses inspirasi dan memengaruhi nilai *pixel* pada citra. Metode yang digunakan adalah melakukan pengukuran nilai *pixel* pada titik tulang selangka, leher, dan tulang dada ketika proses respirasi berjalan. Berdasarkan hasil penelitian, ditunjukkan bahwa sistem ini dapat mengukur laju pernapasan manusia pada rentang 12 – 40 *breath per minute (brpm)*.

Kata Kunci: laju pernapasan, nilai *pixel*, pengolahan citra

Halaman ini sengaja dikosongkan

***ESTIMATION OF BREATHING RATE BASED ON IMAGE
PROCESSING USING CAMERA WITH PIXEL VALUE
ANALYSIS METHOD***

Name : Ilham Akbar Ibrahim
NRP : 02311640000096
Department : Engineering Physics FT-IRS - ITS
Supervisors : Dr. rer. nat. Ir. Aulia MT Nasution M. Sc.

ABSTRACT

Monitoring the vital physiological parameters of the human body is very important to be done to determine the health condition of the human body. This can be used by doctors to diagnose patients early so they can provide appropriate medical care. One important parameter to monitor is the respiratory rate. In general, measurements of respiratory rate are contact, such as acoustic-based measurements, using an electrocardiogram (ECG), air flow-based measurements, and others. In this study developed a method of measuring respiratory rate which is non-contact based on image processing. When breathing takes place, the volume of the lungs will change which causes the chest to expand to become larger during the process of inspiration and affect the pixel value in the image. The method used is to measure the pixel value at the point of the collarbone, neck, and sternum when the respiration process is running. Based on the results of the study, it was shown that this system can measure the rate of human breathing in the range of 12-40 breaths per minute (brpm).

Keywords: breathing rate, image processing, pixel value

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis. Penulis sangat bersyukur dan telah berusaha sebaik-baiknya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Estimasi Laju Pernapasan Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Kamera Dengan Metode Analisis *Pixel Value*” ini. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, tentunya tidak luput dari bantuan dan dukungan orang-orang baik serta semangat yang diberikan oleh semua pihak untuk penulis. Maka itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS
2. Bapak Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution M. Sc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan dukungan selama penulis menempuh ilmu di Teknik Fisika ITS.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc., Agus M. Hatta, ST, M.Sc., Ph.D., Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc., dan Iwan Cony Setiadi, ST, MT., selaku dosen bidang Rekayasa Fotonika yang senantiasa telah memberikan ilmu serta kritik dan saran yang membangun.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama perkuliahan dan sampai saat ini.
6. Keluarga penulis, Ibu Rully Indriati, Bapak Toto Hendarto, dan Mas Arif Rahman yang selalu memberikan semangat, membimbing, dan mengirimkan doa untuk penulis.
7. Mas Wahyu Anggoro, Putri Angelia, serta rekan-rekan asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika yang telah memberikan banyak sekali bantuan dan semangat kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir bidang Rekayasa Fotonika yang senantiasa menjadi rekan bertukar pikiran dan saling memberikan semangat Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak hal yang belum tersampaikan dengan baik dalam Tugas Akhir ini karena keterbatasan pengetahuan dan waktu yang penulis miliki. Maka itu, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik dan bermanfaat untuk banyak orang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 29 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Pola Pernapasan Manusia	5
2.2 <i>Pixel Value Grayscale</i>	6
2.3 Filter Digital dalam Pemrosesan Sinyal Digital	7
2.4 Kamera <i>Webcam</i>	8
2.5 Akurasi dan Reliabilitas Pengukuran	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	11

3.1	Perumusan Masalah Pengukuran Laju Pernapasan.....	12
3.2	Studi Pustaka.....	12
3.3	Pembuatan Perangkat Lunak.....	12
3.4	Pengujian Perangkat Lunak	15
3.5	Pengambilan Data	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Pengujian Perangkat Lunak	21
4.2	Pengambilan Data Laju Pernapasan.....	21
4.3	Pengujian Reliabilitas Sistem	24
4.4	Analisis Hasil Pengukuran Laju Pernapasan Berdasarkan Titik Pengamatan.....	28
4.5	Analisis Pengukuran Laju Pernapasan Cepat	30
4.6	Analisis Pengaruh Ukuran <i>Pixel</i> dengan Hasil Pengukuran	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA.....		35
LAMPIRAN		39
BIODATA PENULIS.....		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambaran umum proses pernapasan (Weibel & Burri, 2020)	5
Gambar 2.2 Data disetiap <i>pixel</i> (Asaki & Moon, 2019).....	6
Gambar 2.3 Jenis-jenis filter: (a) <i>low-pass filter</i> , (b) <i>high-pass filter</i> , (c) <i>band-pass filter</i> , dan (d) <i>band-reject filter</i> (Strauss, 2000)	7
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	11
Gambar 3.2 Diagram pembuatan perangkat lunak	12
Gambar 3.3 <i>Region of Interest</i> yang ditinjau untuk analisis <i>pixel value</i>	13
Gambar 3.4 Pengukuran nilai <i>pixel</i> saat melakukan pernapasan.....	14
Gambar 3.5 Hasil nilai <i>pixel</i> yang telah difilter dan dinormalisasi	14
Gambar 3.6 Hasil FFT yang dinormalisasi.....	15
Gambar 3.7 Pengujian alat menggunakan simulasi lampu <i>strobe</i>	16
Gambar 3.8 <i>Set up</i> pengambilan data laju pernapasan	17
Gambar 3.9 Hasil pola pernapasan menggunakan mikrofon.....	17
Gambar 3.10 Hasil pola pernapasan menggunakan kamera.....	18
Gambar 3.11 Hasil FFT dari pengukuran menggunakan mikrofon dan kamera. 18	
Gambar 4.1 Hasil perbandingan frekuensi lampu <i>strobe</i> dengan pembacaan kamera.....	21
Gambar 4.2 Hasil pengukuran pada titik selangka.....	22
Gambar 4.3 Hasil pengukuran pada titik leher	23
Gambar 4.4 Hasil pengukuran pada titik dada	24
Gambar 4.5 Hasil reliabilitas sistem pada titik selangka.....	25
Gambar 4.6 Hasil reliabilitas sistem pada titik leher.....	25
Gambar 4.7 Hasil reliabilitas sistem pada titik dada	26
Gambar 4.8 Hasil ekstraksi sinyal nilai <i>pixel</i> pada bagian titik dada.....	29
Gambar 4.9 Hasil pengukuran pola pernapasan cepat.....	30
Gambar 4.10 Hasil pengukuran laju pernapasan cepat	31
Gambar 4.11 Hasil pengukuran dengan ukuran <i>pixel</i> yang berbeda (a) Data ekstraksi nilai <i>pixel</i> , (b) Data pola pernapasan, (c) Data hasil <i>FFT</i> dari pola pernapasan.....	32

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data <i>Coefficient of Variance</i> pada Titik Tulang Selangka.....	26
Tabel 4.2 Data <i>Coefficient of Variance</i> pada Titik Leher	27
Tabel 4.3 Data <i>Coefficient of Variance</i> pada Titik Tulang Dada	27
Tabel 4.4 Data <i>Coefficient of Variance</i> pada pengukuran menggunakan mikrofon	27
Tabel 4.5 Data Akurasi dan Cv Masing-masing Titik.....	28

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Monitoring bagian-bagian vital fisiologis pada manusia sangat penting dilakukan karena dari informasi tersebut dapat diketahui kondisi kesehatan dari tubuh manusia tersebut. Hal ini dapat digunakan dokter untuk melakukan diagnosis terhadap pasien sehingga dapat memberikan perawatan medis yang tepat. Salah satu parameter yang penting untuk dimonitoring adalah laju pernapasan. Pentingnya monitoring laju pernapasan dapat memberikan informasi berupa prediksi penyakit sepsis, *systemic inflammatory response syndrome*, kejang, dan kekurangan nafas (Loughlin et al., 2018). Selain itu, laju pernapasan juga dapat mengindikasikan serangan jantung pada manusia (Cretikos et al., 2008).

Pada umumnya pengukuran laju pernapasan bersifat kontak, seperti pengukuran berbasis akustik, menggunakan alat electrocardiogram (ECG), pengukuran berbasis aliran udara, dan lain-lain (Massaroni et al., 2019). Namun pada teknik pengukuran tersebut memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah masalah kenyamanan saat melakukan pengukuran (Droitcour et al., 2009). Dalam perkembangan zaman, metode pengukuran ataupun monitoring laju pernapasan telah berkembang khususnya untuk pengukuran bersifat non-kontak, seperti pengukuran menggunakan radar dan pengukuran berbasis optik (Al-Khalidi et al., 2011).

Pada penelitian sebelumnya telah dibuat sistem pengukuran laju pernapasan menggunakan kamera *Kinect* dengan metode *Digital Image Correlation*. Data yang diambil dalam penelitian tersebut adalah pernapasan dada dengan pergerakan toraks dan pernapasan perut dengan pergerakan abdominal (Rosohadi & Nasution, 2019). Penelitian lainnya juga telah dibuat sistem pengukuran laju pernapasan menggunakan kamera *Red-Green-Blue (RGB)* dan data diukur pada bagian tengah leher (Massaroni et al., 2018).

Pada tugas akhir ini, dikembangkan sebuah algoritma untuk mengukur laju pernapasan menggunakan kamera dengan melakukan pengolahan citra analisis nilai

pixel dari citra *grayscale*. Pola pernapasan dapat diekstraksi melalui perubahan nilai *pixel* dari citra *grayscale* dan dapat diolah menjadi laju pernapasan. Pengukuran laju pernapasan diambil pada beberapa titik yaitu bagian tengah leher, bagian tulang selangka, dan dada serta dilakukan analisis reliabilitas dari sistem pengukuran laju pernapasan ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini yaitu:

- a) Bagaimana rancangan algoritma sistem pengukuran laju pernapasan secara non-kontak dengan metode analisis nilai *pixel*?
- b) Bagaimana reliabilitas dari sistem pengukuran laju pernapasan secara non-kontak dengan metode analisis nilai *pixel*?

1.3 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah:

- a) Membangun sebuah rancangan algoritma sistem pengukuran laju pernapasan secara non-kontak dengan metode analisis nilai *pixel*.
- b) Mengetahui reliabilitas sistem pengukuran laju pernapasan secara non-kontak dengan metode analisis nilai *pixel*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Parameter yang diukur adalah nilai *pixel* untuk dikorelasikan dengan laju pernapasan dan tidak membahas terkait kapasitas paru-paru.
- b) Bagian tubuh yang dianalisis adalah bagian tengah leher, bagian tulang selangka, dan bagian tulang dada.
- c) Data diambil pada posisi duduk tegak.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini disusun secara sistematis dan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini membahas mengenai penelitian sebelumnya dan membahas dasar-dasar teori pendukung dalam penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas mengenai hasil pengukuran yang dilakukan serta analisis data yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil pengukuran dan analisis pada penelitian yang dilakukan serta terdapat saran untuk penelitian berikutnya.

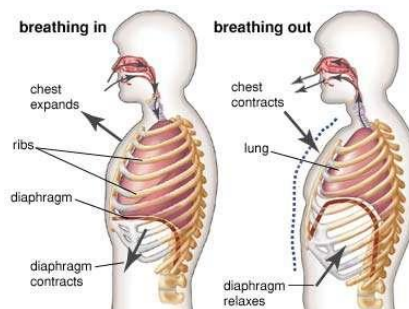
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pola Pernapasan Manusia

Pernapasan atau respirasi merupakan proses pergerakan udara masuk dan keluar dari paru-paru untuk memudahkan pertukaran gas dengan lingkungan internal, terutama pada saat proses pengiriman oksigen dan pembuangan karbon dioksida. Proses pernapasan memiliki fungsi utama sebagai siklus pertukaran udara. Pertukaran tersebut terjadi di paru-paru antara oksigen dengan karbon dioksida. Oksigen dari luar tubuh akan ditransfer ke pembuluh darah dan karbon dioksida akan dikeluarkan dari dalam tubuh ke luar melalui hidung atau mulut. Fungsi lain dari pernapasan adalah sebagai penyaring, penghangat, dan pelembab udara di dalam tubuh (Jiyuan et al., 2015).



Gambar 2.1 Gambaran umum proses pernapasan (Weibel & Burri, 2020)

Proses inhalasi diawali dengan kontraksi diafragma di bawah paru-paru dan diafragma akan turun sebesar 1 cm pada saat pernapasan normal, 10 cm jika dilakukan pernapasan paksa. Kontraksi tersebut menyebabkan otot di toraks menarik ujung anterior setiap tulang rusuk ke atas untuk membesar volume selama inhalasi (Agostoni et al., 1965). Akibatnya, tekanan di dalam toraks (tekanan *intrathoracic*) dan di dalam paru-paru (tekanan intrapulmoner) relatif menurun terhadap tekanan udara di luar atmosfer. Perbedaan tekanan menginduksi udara yang terhirup dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah.

Setelah udara memenuhi paru-paru maka oksigen di dalam paru-paru yang telah bertukar dengan karbon dioksida akan keluar melalui proses penghembusan

napas. Setelah semua udara keluar maka dinding paru-paru dan dada kembali ke posisi semula, proses tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.1. Kurva volume tekanan dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang perubahan paru-paru selama bernafas. Data tersebut dapat menggambarkan perilaku mekanis paru-paru dan dinding dada seperti elastisitas paru-paru dan kemampuannya untuk memperluas dan meregangkan melalui kemiringan kurva tekanan-volume. Dengan adanya proses ini, dapat dihitung laju pernapasan manusia dari pola pernapasan manusia. Pengukuran laju manusia dilakukan selama 60 detik untuk mendapatkan hasil yang akurat (Yuan et al., 2013). Laju pernapasan secara normal untuk dewasa adalah 12-20 *breaths per minute (brpm)* (Barret et al., 2012).

2.2 *Pixel Value Grayscale*

Citra digital dapat dikatakan sebagai representasi diskrit dari pemrosesan data spasial dan intensitas. Sebuah citra digital memiliki satu atau lebih kanal warna yang mendefinisikan intensitas atau warna pada lokasi *pixel* tertentu. Setiap *pixel* yang mewakili gambar yang disimpan di dalam komputer memiliki nilai *pixel* yang menggambarkan seberapa terang *pixel* itu. Untuk gambar *grayscale*, nilai *pixel* adalah nilai yang mewakili kecerahan *pixel*. Format *pixel* yang paling umum digunakan adalah gambar 8-bit yaitu dengan kisaran nilai yang mungkin dari 0 hingga 255. Secara umum, nilai 0 diambil menjadi hitam dan nilai 255 diambil menjadi putih. Nilai-nilai di antaranya membentuk nuansa abu-abu yang berbeda (Vyas et al., 2018).



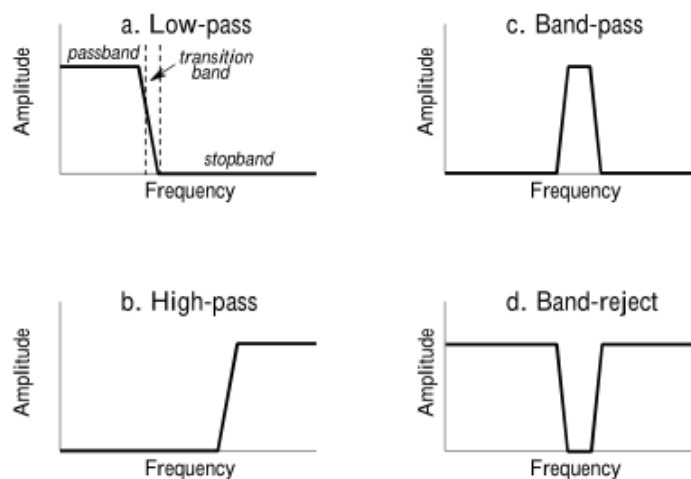
Gambar 2.2 Data disetiap *pixel* (Asaki & Moon, 2019)

Pixel value dapat diekstraksi berdasarkan daerah yang dipilih menggunakan *Region of Interest (ROI)*. *Region of Interest* merupakan sebagian daerah pada

sebuah citra yang akan dianalisis (Van Hecke et al., 2016). Pixel value yang telah diekstraksi dapat dianalisis lebih lanjut seperti mengetahui perubahan *pixel value* yang disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya pada sebuah citra yang direkam oleh kamera. Pada Gambar 2.2, ditunjukkan bahwa apabila intensitas cahaya yang rendah atau gelap akan menunjukkan *pixel value* yang kecil yaitu mendekati nilai 0, sedangkan apabila intensitas cahaya yang tinggi atau terang akan menunjukkan *pixel value* yang besar yaitu mendekati nilai 255.

2.3 Filter Digital dalam Pemrosesan Sinyal Digital

Pemrosesan sinyal digital merupakan tahapan penting untuk melakukan pengolahan data. Salah satu aplikasi dari pemrosesan sinyal digital adalah filter digital. Filter digunakan untuk dua kebutuhan, yaitu pemisahan sinyal dan restorasi sinyal. Pemisahan sinyal digunakan ketika sinyal tersebut telah terkontaminasi dengan interferensi dari sinyal lain ataupun *noise*. Sedangkan restorasi sinyal digunakan ketika sinyal terdistorsi sedemikian rupa sehingga perlu dilakukan tahap ini untuk mengekstraksi sinyal aslinya. Jenis-jenis filter yang sering digunakan adalah *low-pass filter*, *high-pass filter*, *band-pass filter*, dan *band-reject filter* (Strauss, 2000).



Gambar 2.3 Jenis-jenis filter: (a) *low-pass filter*, (b) *high-pass filter*, (c) *band-pass filter*, dan (d) *band-reject filter* (Strauss, 2000)

Filter ini sering digunakan pada aplikasi biomedis, salah satunya pada pengukuran laju pernapasan. Filter dapat diterapkan untuk meminimalkan

gangguan frekuensi tinggi dan dapat menjaga bentuk sinyal pola pernapasan tersebut untuk dianalisis (Daiana da Costa et al., 2019).

2.4 Kamera Webcam

Webcam adalah sebuah kamera yang memberikan citra video secara *realtime* melalui komputer. *Webcam* biasa digunakan sebagai kamera untuk komunikasi seperti *videoconference* namun dalam pengembangannya *webcam* dapat digunakan untuk sistem keamanan. Pada beberapa *webcam*, ada yang di lengkapi dengan software yang mampu mendeteksi pergerakan dan suara. Dengan *software* tersebut, memungkinkan *PC* yang terhubung ke kamera untuk mengamati pergerakan dan suara, serta merekamnya ketika terdeteksi. Kamera *webcam* memiliki resolusi yang beragam mulai dari 320x240 hingga 1920x1080 dengan framerate hingga 60 *frame per second*.

Pada penelitian sebelumnya (Massaroni et al., 2018), telah dibuat sistem untuk ekstraksi pola pernapasan dengan menggunakan satu kamera *webcam RGB* yang terdapat pada laptop. Bagian yang dianalisis adalah pada bagian tengah leher. Dari penelitian tersebut, perekaman citra menggunakan kamera dengan resolusi 640x480 mendapatkan hasil akurasi pengukuran laju pernapasan sebesar 95.6%.

Selanjutnya pada penelitian lainnya (Rosohadi & Nasution, 2019), telah dibuat sistem monitoring laju pernapasan menggunakan kamera *Kinect* dengan metode *Digital Image Correlation*. Data yang diambil dalam penelitian tersebut adalah pernapasan dada dengan pergerakan toraks dan pernapasan perut dengan pergerakan *abdominal*. Rancangan sistem tersebut didapatkan hasil *error* dengan jarak sebesar 0,21 cm dan dapat mengubah frekuensi pembacaan kedalaman citra menjadi laju pernapasan manusia.

2.5 Akurasi dan Reliabilitas Pengukuran

Akurasi dari pengukuran adalah kemampuan pengukuran sebuah instrument untuk memberikan nilai sebenarnya dari variabel yang diukur (Placko, 2010). Akurasi pengukuran dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Massaroni et al., 2018):

$$akurasi = 100 - 100 * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Xi - Yi|}{Xi} \quad (2.1)$$

Dimana:

Xi = nilai pengukuran referensi

Yi = nilai pengukuran alat ukur

n = jumlah sampel

Reliabilitas membahas mengenai sejauh mana pengukuran memberikan hasil yang stabil atau konstan (Taherdoost, 2018). Reliabilitas sebuah instrumen dapat dilihat dari *coefficient of variation* (Cv) yaitu sebuah pengukuran statistik dari keberagaman distribusi pada pengukuran berulang. Nilai CV dapat digunakan untuk mengukur reliabilitas sebuah instrumen karena nilai tersebut menunjukkan stabilitas dari pengukuran berulang. Nilai CV yang besar dapat merefleksikan bahwa terdapat keberagaman yang tinggi antara hasil pengukuran berulang sehingga dapat dikatakan bahwa memiliki reliabilitas yang kecil. Sebaliknya, Nilai CV yang kecil menunjukkan bahwa instrument tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi (Schechtman, 2013). Nilai CV dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

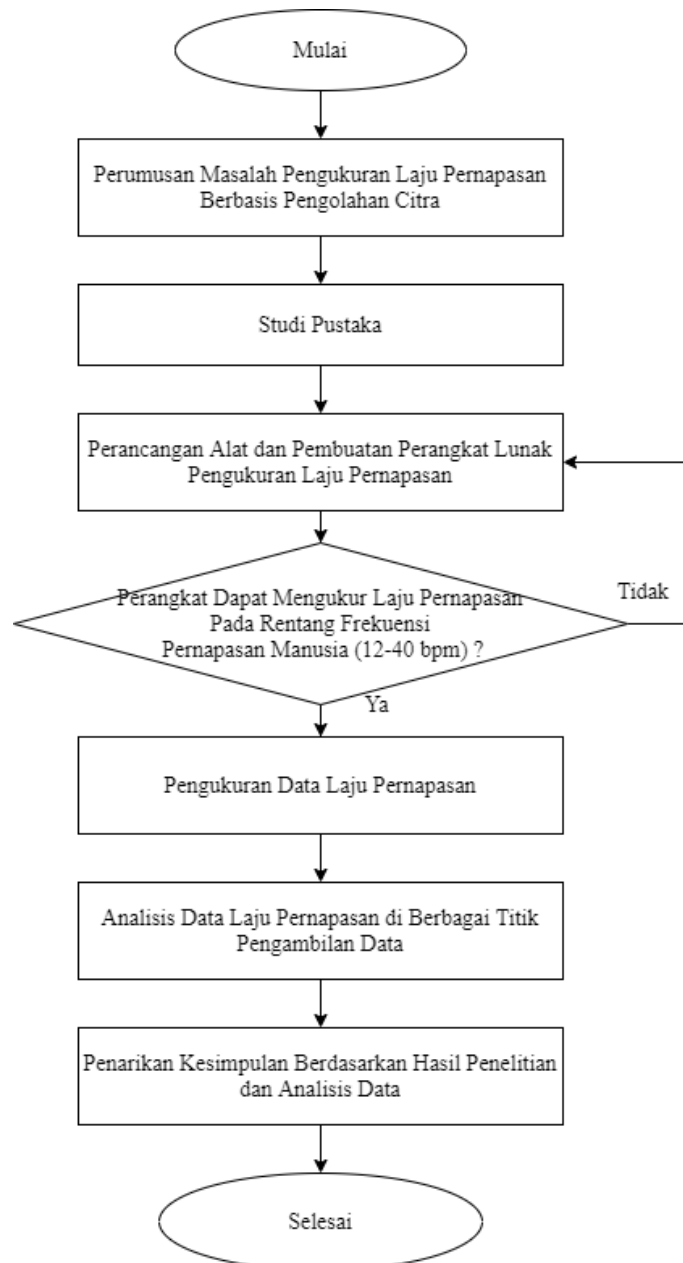
$$CV = \frac{\text{Standar Deviasi}}{\text{Nilai rata - rata}} * 100\% \quad (2.2)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, secara umum dapat dilihat dari diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Perumusan Masalah Pengukuran Laju Pernapasan

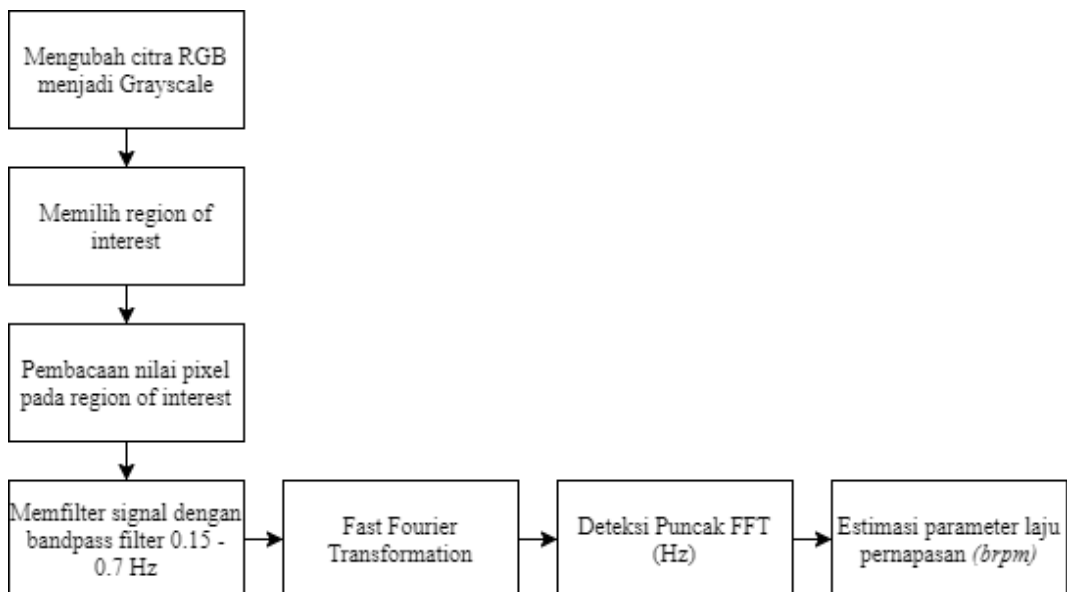
Tahap pertama adalah tahap perumusan masalah yaitu menentukan dan mengidentifikasi setiap masalah yang ada dalam metode yang telah dilakukan dalam pengukuran laju pernapasan pada manusia dan berdasarkan masalah-masalah tersebut akan dirumuskan suatu rumusan masalah yang akan dijadikan tujuan dan bahan dasar di dalam pembuatan tugas akhir.

3.2 Studi Pustaka

Pada tahap studi pustaka akan dilakukan pencarian dan pembelajaran terhadap setiap penelitian dan sumber lain yang berkaitan dengan laju pernapasan, pengolahan citra, dan metode dalam pengambilan data tersebut. Setelah metode-metode tersebut dipelajari maka teori penunjang di dalam metode tersebut akan menjadi teori dasar dalam pengambilan data laju pernapasan dengan menggunakan kamera serta algoritma yang diperlukan dalam mengolah data yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

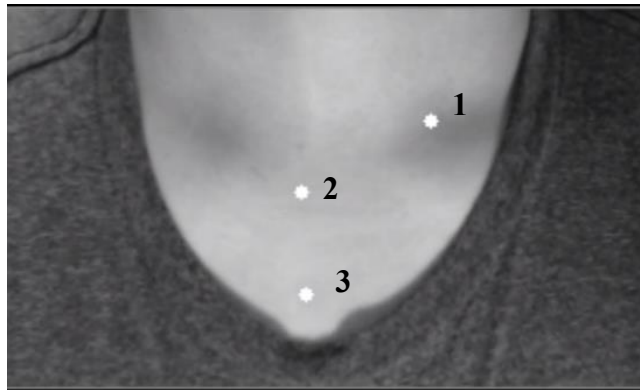
3.3 Pembuatan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan digunakan dalam membuat algoritma pembacaan laju pernapasan adalah *python*. Setelah program yang akan digunakan ditentukan maka akan dibuat algoritma pembuatan program seperti pada Gambar 3.2.



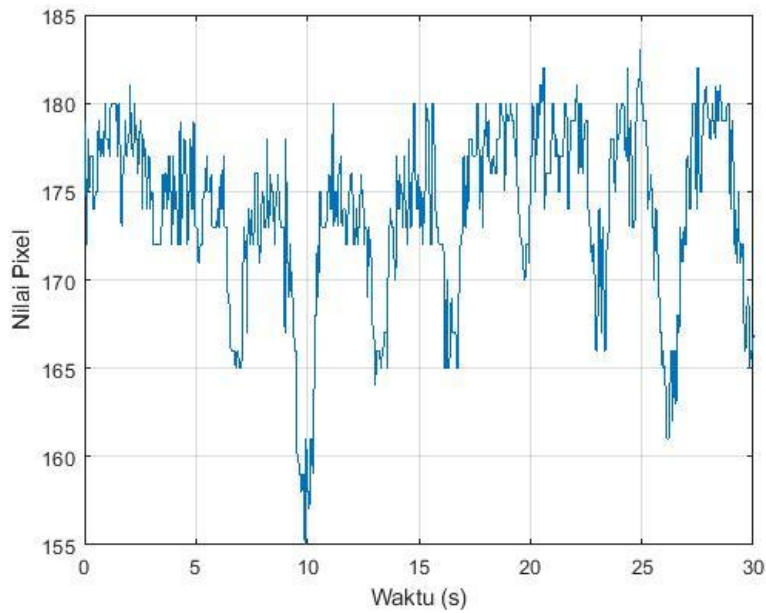
Gambar 3.2 Diagram pembuatan perangkat lunak

Pada sistem ini digunakan kamera webcam 8-bit untuk menangkap citra. Citra RGB 8-bit yang didapat dari kamera webcam akan diubah menjadi citra *grayscale* untuk dianalisis nilai *pixel*-nya. Hal ini dikarenakan nilai *pixel grayscale* memiliki skala keabuan dengan range 0-255 yang mempermudah untuk menganalisis citra. Nilai *pixel* nol diambil menjadi hitam, dan 255 diambil menjadi putih, sedangkan nilai-nilai di antaranya membentuk nuansa abu-abu yang berbeda. Ketika melakukan inspirasi, pada bagian titik putih tersebut, akan mengalami perubahan nilai *pixel* yaitu menjadi lebih kecil dikarenakan pada bagian tersebut intensitas cahayanya berkurang. Selanjutnya ketika melakukan ekspirasi, terjadi perubahan nilai *pixel* menjadi lebih besar, dikarenakan intensitas cahayanya bertambah.



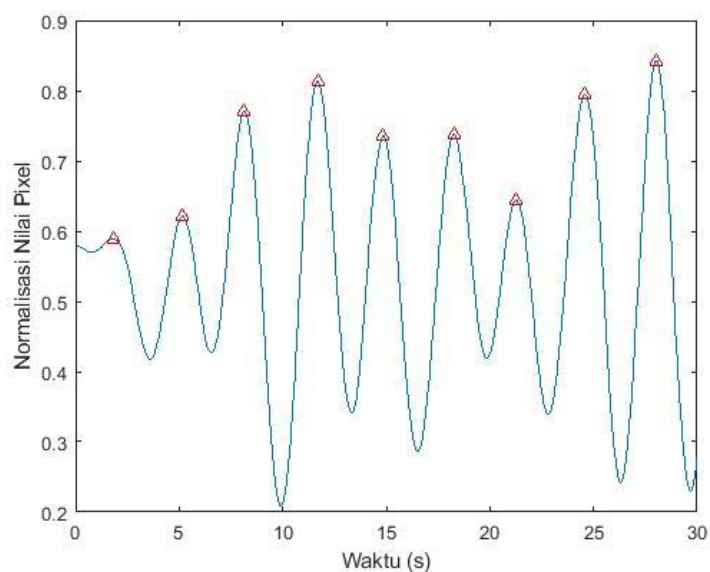
Gambar 3.3 *Region of Interest* yang ditinjau untuk analisis *pixel value*.

Pada Gambar 3.3, *region of interest* pada gambar ditunjukkan oleh titik putih pada citra dengan mengekstraksi nilai *pixel* pada titik tersebut. Bagian yang dianalisis adalah bagian tulang selangka yang ditunjukkan oleh titik nomor 1, bagian tengah leher yang ditunjukkan oleh titik nomor 2, dan bagian dada yang ditunjukkan oleh titik nomor 3. Hasil salah satu pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.4.



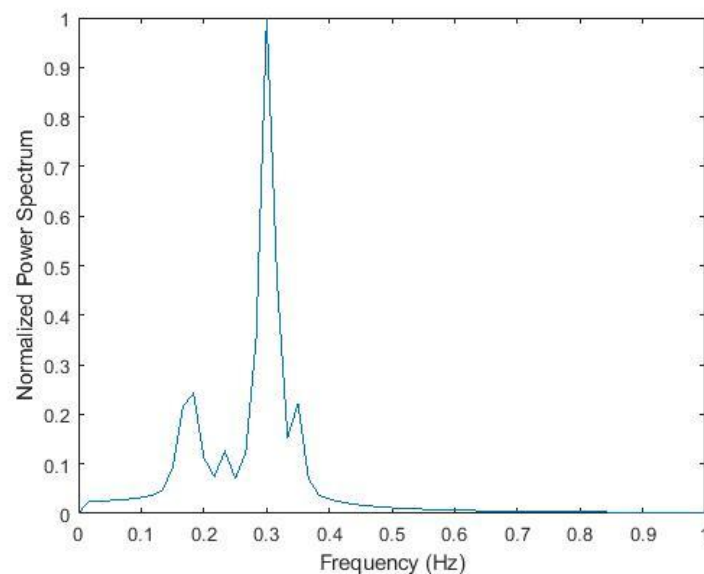
Gambar 3.4 Pengukuran nilai *pixel* saat melakukan pernapasan

Nilai *pixel* tersebut kemudian akan difilter menggunakan *bandpass* filter untuk menghilangkan *noise* pada sinyal tersebut. *Range* dari *bandpass* filter tersebut adalah 0.15 Hz hingga 0.7 Hz karena pada bagian tersebut merupakan *range* laju pernapasan manusia sekitar 12-40 *brpm*. Filter ini digunakan untuk mempermudah analisis osilasi pola pernapasan yang diekstraksi dari perubahan nilai *pixel*.



Gambar 3.5 Hasil nilai *pixel* yang telah difilter dan dinormalisasi

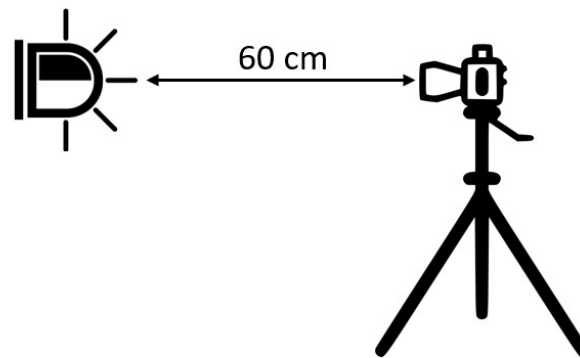
Sinyal yang telah difilter dari Gambar 3.5 akan dilakukan *fast fourier transformation* untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dan dilakukan normalisasi data serta dilanjutkan dengan analisis penentuan puncak frekuensi yang merupakan pembacaan parameter laju pernapasan seperti pada Gambar 3.6. Pembacaan dari hasil *fast fourier transformation* tersebut masih dalam satuan Hz sehingga perlu dikonversikan menjadi *brpm* yang merupakan satuan yang umum digunakan sebagai satuan parameter laju pernapasan dimana 1 Hz sama dengan 60 *brpm*.



Gambar 3.6 Hasil FFT yang dinormalisasi.

3.4 Pengujian Perangkat Lunak

Pada pengujian perangkat lunak dilakukan uji pembacaan data frekuensi menggunakan lampu *strobe* dengan rentang frekuensi sebesar 0.2 – 0.33 Hz. Lampu *strobe* disimulasikan menggunakan *smartphone android* dengan aplikasi “*Strobe*”. Pengukuran dilakukan pada interval 1 *brpm* atau 0.1667 Hz dan dilakukan selama 3x1 menit untuk setiap frekuensinya.

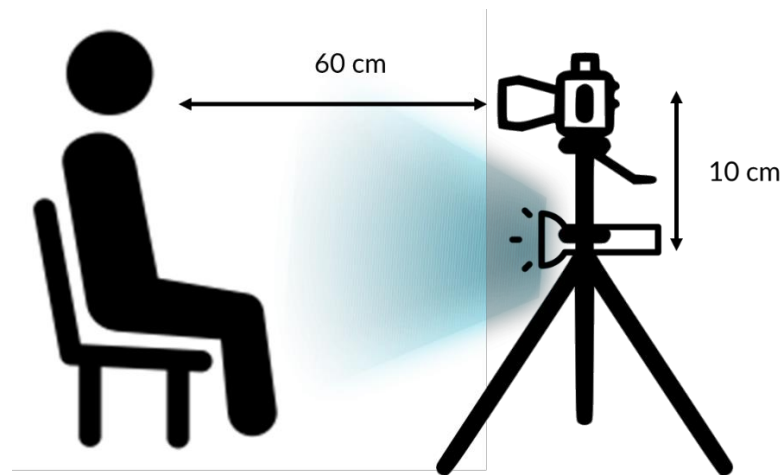


Gambar 3.7 Pengujian alat menggunakan simulasi lampu *strobe*

Selanjutnya dilakukan analisis data dengan melihat error antara nilai aktual dengan nilai pengukuran, apabila *error* yang dihasilkan kurang dari 5% maka dapat dilanjutkan ke pengambilan data laju pernapasan manusia.

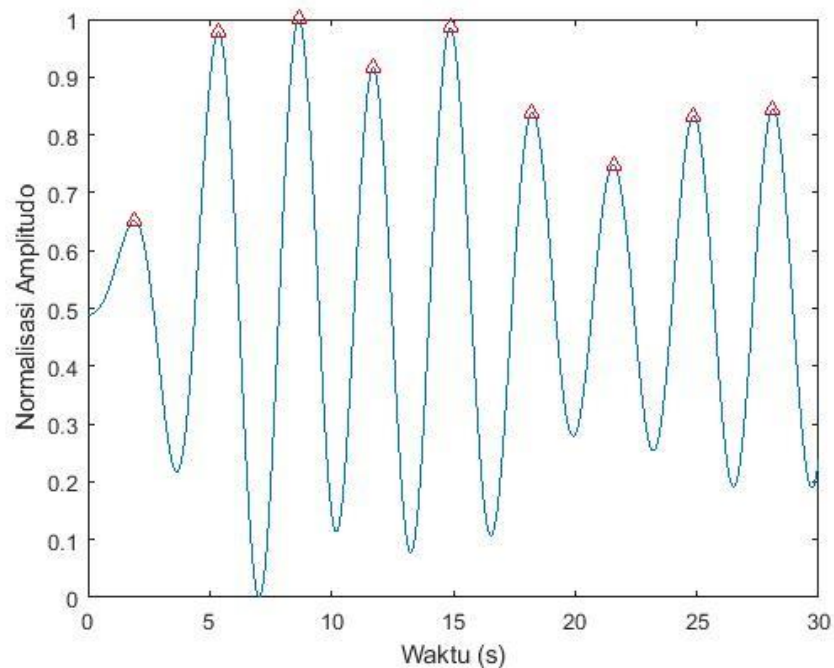
3.5 Pengambilan Data

Saat pengambilan data, digunakan sebuah *webcam* dan sumber cahaya putih yaitu lampu LED untuk pengambilan video dari subjek yang ditinjau. Kamera yang digunakan adalah kamera *webcam* Logitech C922. Data video yang diambil memiliki parameter resolusi sebesar 640x480 dan 25 *frame per second*. Jarak antara webcam dan objek yaitu sebesar 60 cm. Jarak tersebut merupakan jarak maksimal dari sistem untuk mengekstraksi laju pernapasan. Hal ini disebabkan karena apabila jarak antara objek dengan kamera semakin jauh, ukuran objek pada citra yang ditinjau akan semakin kecil sehingga resolusi dari citra tersebut menjadi lebih kecil dan memiliki banyak *noise* serta akuisisi data menjadi tidak akurat. *Set up* pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3.8. Objek yang ditinjau adalah perubahan nilai intensitas *pixel* pada *region of interest*. Bagian yang dianalisis pada tubuh partisipan adalah bagian tulang selangka, bagian tengah leher, dan bagian tulang dada.

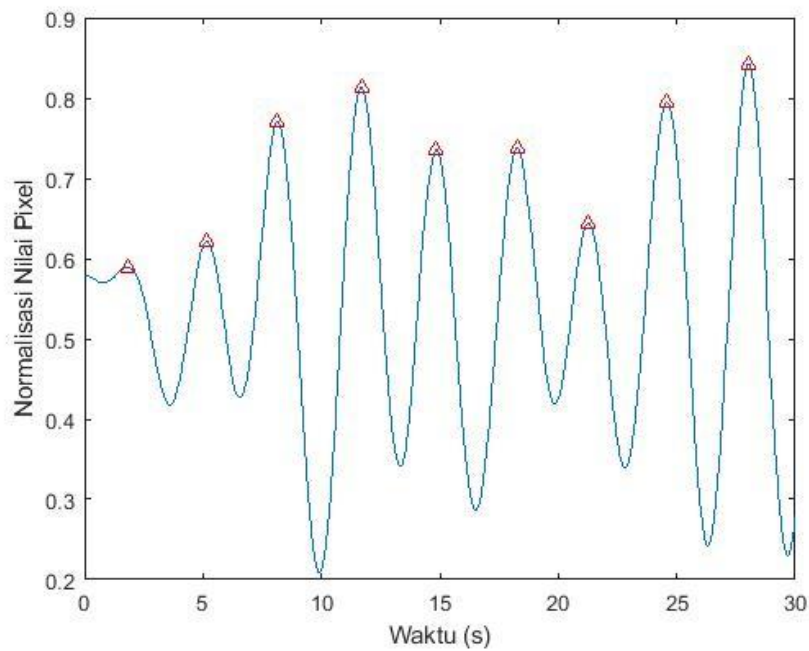


Gambar 3.8 *Set up* pengambilan data laju pernapasan

Partisipan diminta untuk bernapas dengan normal, duduk tegak dan menghadap ke kamera dan data diambil selama 1 menit untuk masing-masing partisipan. Sebagai pembandingan, dilakukan pengukuran laju pernapasan menggunakan mikrofon secara bersamaan saat dilakukan pengambilan data (Nam et al., 2016). Data dari mikrofon direkam menggunakan *software Audacity* dengan sample rate sebesar 1000 Hz. Berikut ini merupakan salah satu perbandingan hasil pengukuran menggunakan mikrofon dan kamera selama 30 detik:

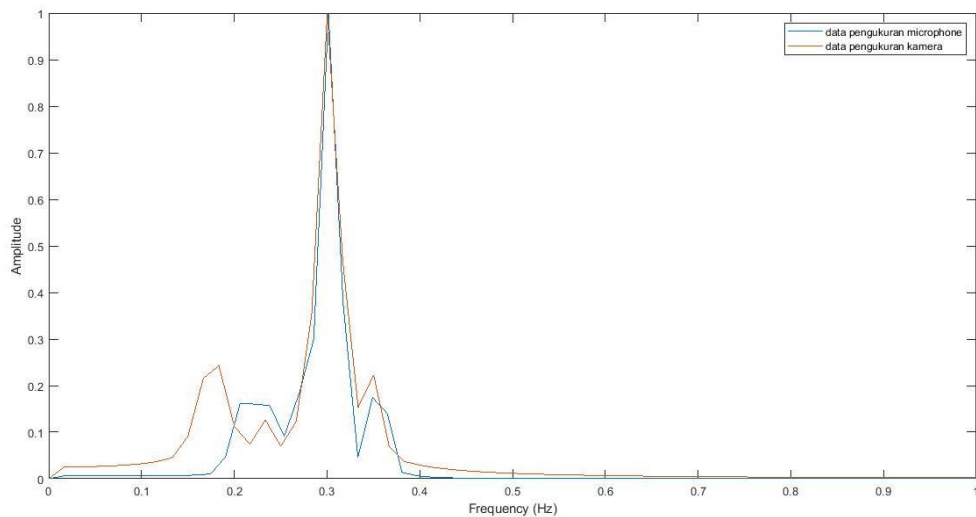


Gambar 3.9 Hasil pola pernapasan menggunakan mikrofon



Gambar 3.10 Hasil pola pernapasan menggunakan kamera

Selanjutnya dari kedua data tersebut dilakukan *fast fourier transformation* untuk dianalisis nilai puncak spektrumnya dimana nilai tersebut menunjukkan estimasi laju pernapasan yang telah diukur.



Gambar 3.11 Hasil FFT dari pengukuran menggunakan mikrofon dan kamera

Untuk pengujian reliabilitas sistem, dilakukan pengukuran laju pernapasan secara berulang sebanyak 3 kali untuk setiap laju pernapasan pada *range* 12 – 20 *brpm* dengan interval 2 *brpm*. Partisipan diminta untuk bernapas dengan frekuensi

yang telah ditentukan menggunakan lampu *strobe*. Lampu *strobe* ini digunakan sebagai tanda acuan partisipan untuk bernapas. Ketika lampu *strobe* tersebut menyala, partisipan diminta untuk melakukan inspirasi. Data laju pernapasan yang diambil dilakukan selama 1 menit pada setiap frekuensinya untuk masing-masing partisipan dengan interval 2 *brpm*.

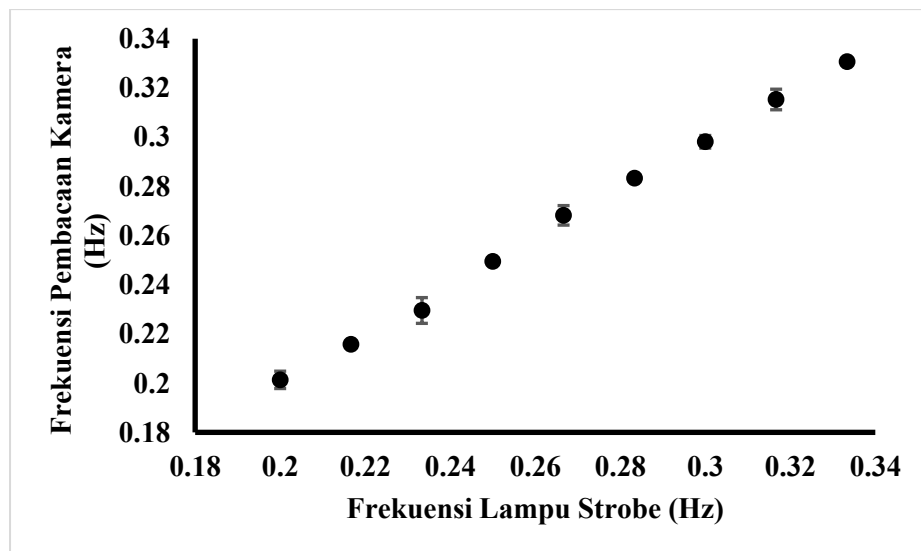
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Perangkat Lunak

Pada pengujian perangkat lunak digunakan lampu *strobe* untuk menyimulasikan frekuensi pernapasan yaitu sebesar 0.2 – 0.33 Hz atau 12 – 20 siklus per menit (CPM). Lampu *strobe* tersebut diatur siklusnya sesuai dengan frekuensi pernapasan dengan interval sebesar 0.033 Hz atau 1 CPM. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian perangkat lunak yang telah dilakukan:



Gambar 4.1 Hasil perbandingan frekuensi lampu *strobe* dengan pembacaan kamera

Berdasarkan data diatas, sistem ini memiliki karakteristik *range* sebesar 0.2 – 0.33 Hz, *span* sebesar 0.13 Hz dengan resolusi 0.033 Hz dan sensitivitas sebesar 0.96975. Dengan mengonversikan hasil pembacaan kamera dalam satuan Hz ke satuan laju pernapasan yaitu *brpm*, sistem ini dapat membaca laju pernapasan manusia normal, yaitu sebesar 12 – 20 *brpm*.

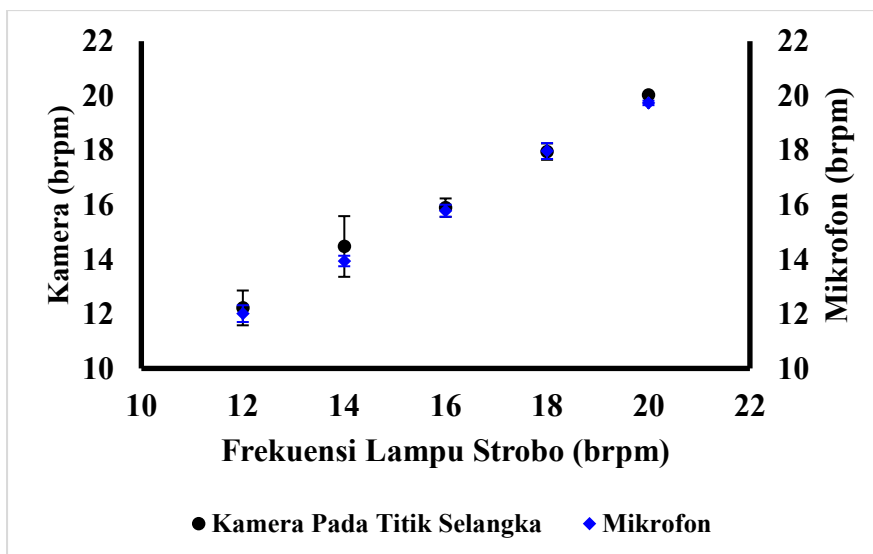
4.2 Pengambilan Data Laju Pernapasan

Pada pengambilan data laju pernapasan diambil data dari tiga orang partisipan. Seluruh partisipan bersedia untuk diambil data laju pernapasannya. Partisipan diminta untuk duduk tegak lurus menghadap kamera dan bernapas

dengan normal selama 1 menit. Sebagai pembanding, pengukuran juga dilakukan menggunakan mikrofon dan diletakkan di bawah lubang hidung sejauh 5 cm. Pemasangan mikrofon tersebut tidak mengganggu hasil citra yang dianalisis karena tidak terlihat pada bagian *region of interest*. Data yang ditinjau memiliki 3 titik yaitu pada bagian tulang selangka, bagian leher, dan tulang dada. Parameter laju pernapasan yang diatur sesuai dengan pola lampu *strobe* yaitu sebesar 12 – 20 *brpm* dengan interval 2 *brpm*. Partisipan diminta untuk bernapas dengan mengikuti pola lampu *strobe*, yaitu ketika lampu *strobe* tersebut menyala partisipan diminta untuk melakukan inhalasi. Pembacaan dari hasil sistem ini masih dalam satuan Hz sehingga perlu dikonversikan menjadi *brpm* yang merupakan satuan yang umum digunakan sebagai satuan parameter laju pernapasan dimana 1 Hz sama dengan 60 *brpm*.

4.2.1 Hasil Pengukuran Laju Pernapasan pada Titik Tulang Selangka

Hasil Pengukuran laju pernapasan pada titik tulang selangka ini diekstraksi melalui pengukuran nilai *pixel* yang berubah-ubah diakibatkan oleh proses respirasi. Pada proses respirasi, bagian tulang selangka bergerak disebabkan oleh pergerakan dada dan membentuk bayangan pada titik tersebut sehingga intensitas cahayanya berubah-ubah. Perubahan tersebut dapat diekstraksi menjadi pola pernapasan yang digunakan untuk analisis laju pernapasan. Berikut ini merupakan hasil dari pengukuran laju pernapasan pada titik tulang selangka:

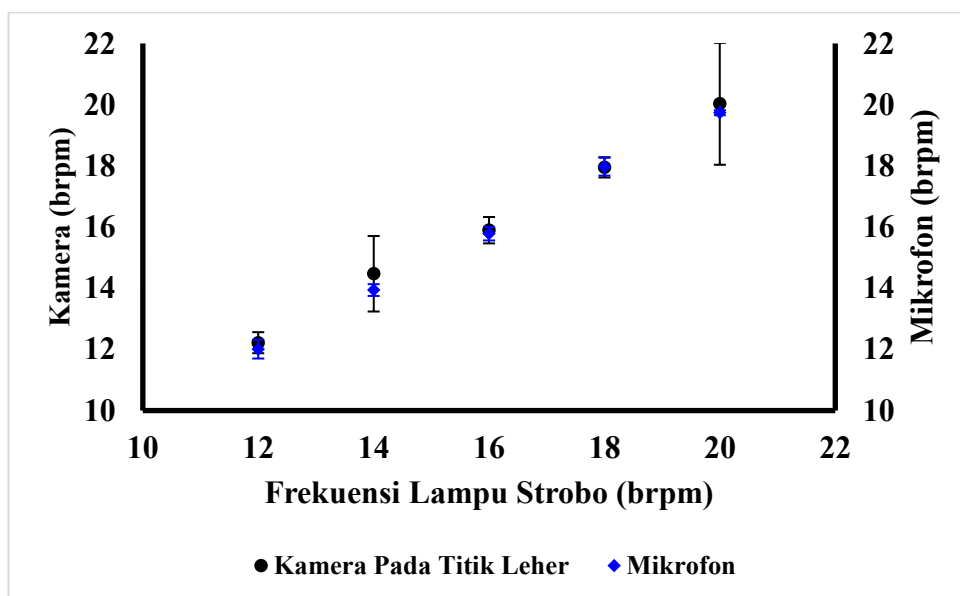


Gambar 4.2 Hasil pengukuran pada titik selangka

Berdasarkan Gambar 4.2, menunjukkan hasil perbandingan antara pengukuran menggunakan kamera pada titik selangka dan menggunakan mikrofon. Dari 45 data pengukuran, dapat dihitung nilai akurasi rata-rata pada pengukuran ini menggunakan rumus (2.1) sebesar 97.37%.

4.2.2 Pengukuran Laju Penapasan pada Titik Leher

Hasil Pengukuran laju pernapasan pada titik leher ini diekstraksi melalui pengukuran nilai *pixel* yang berubah-ubah diakibatkan oleh proses respirasi. Pada proses respirasi, bagian leher bergerak disebabkan oleh pergerakan dada dan membentuk bayangan pada titik tersebut sehingga intensitas cahayanya berubah-ubah. Perubahan tersebut dapat diekstraksi menjadi pola pernapasan yang digunakan untuk analisis laju pernapasan. Berikut ini merupakan hasil dari pengukuran laju pernapasan pada titik leher:

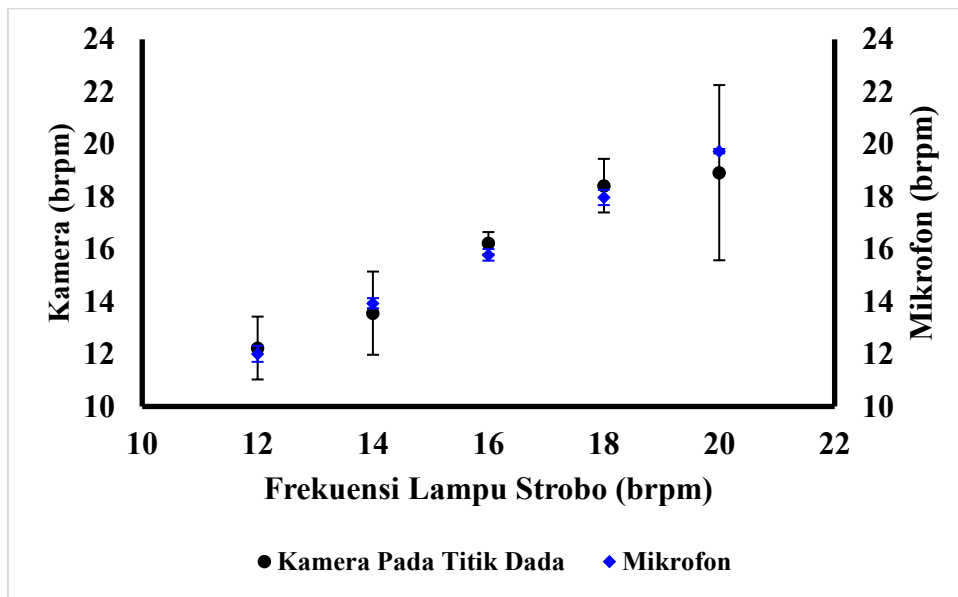


Gambar 4.3 Hasil pengukuran pada titik leher

Berdasarkan Gambar 4.3, menunjukkan hasil perbandingan antara pengukuran menggunakan kamera pada titik leher dan menggunakan mikrofon. Dari 45 data pengukuran, dapat dihitung nilai akurasi rata-rata pada pengukuran ini menggunakan rumus (2.1) sebesar 96.57%.

4.2.3 Pengukuran Laju Pernapasan pada Titik Tulang Dada

Hasil Pengukuran laju pernapasan pada titik tulang dada ini diekstraksi melalui pengukuran nilai *pixel* yang berubah-ubah diakibatkan oleh proses respirasi. Pada proses respirasi, bagian dada mengembang ketika melakukan inspirasi dan bagian dada mendekati sumber cahaya sehingga akan dihasilkan pembacaan intensitas cahaya yang lebih besar. Berikut ini merupakan hasil dari pengukuran laju pernapasan pada titik tulang dada:



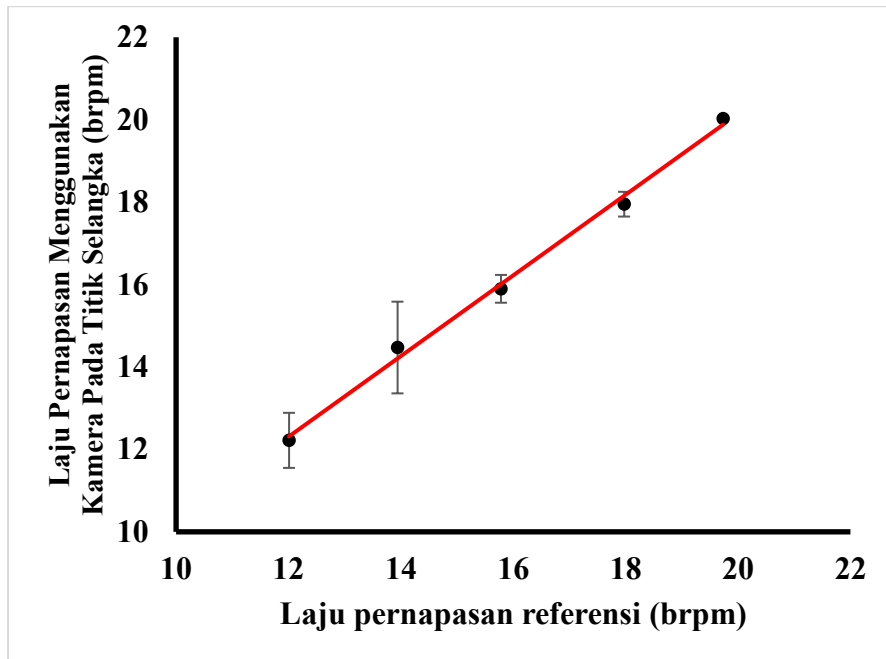
Gambar 4.4 Hasil pengukuran pada titik dada

Berdasarkan Gambar 4.4, menunjukkan hasil perbandingan antara pengukuran menggunakan kamera pada titik dada dan menggunakan mikrofon. Dari 45 data pengukuran, dapat dihitung nilai akurasi rata-rata pada pengukuran ini menggunakan rumus (2.1) sebesar 94.6%.

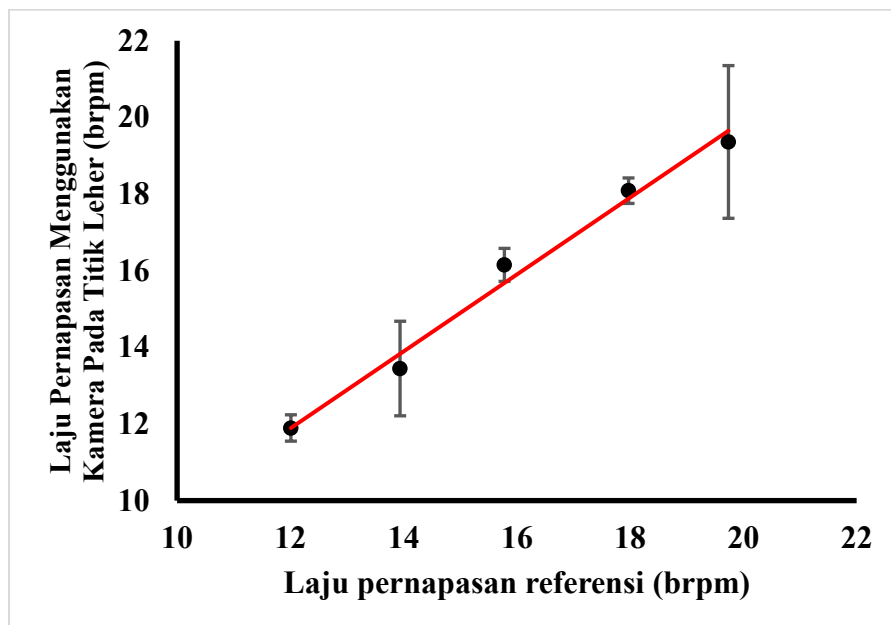
4.3 Pengujian Reliabilitas Sistem

Pengujian reliabilitas sistem dilakukan dengan pengambilan data berulang dengan parameter laju pernapasan yang diatur sesuai dengan pola lampu *strobe* yaitu sebesar 12 – 20 *brpm* dengan interval 2 *brpm*. Partisipan diminta untuk bernapas dengan mengikuti pola lampu *strobe*, yaitu ketika lampu *strobe* tersebut menyala partisipan diminta untuk melakukan inhalasi. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dengan 3 partisipan pada masing-masing laju pernapasan dan

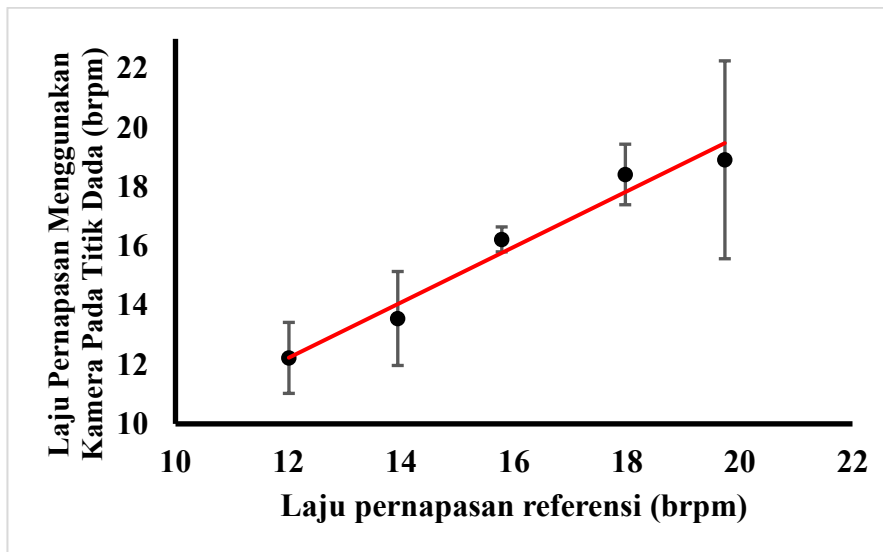
diambil pada titik selangka, titik leher, dan titik dada. Berikut ini merupakan hasil pengukuran laju pernapasan pada ketiga titik tersebut:



Gambar 4.5 Hasil reliabilitas sistem pada titik selangka



Gambar 4.6 Hasil reliabilitas sistem pada titik leher



Gambar 4.7 Hasil reliabilitas sistem pada titik dada

Berdasarkan hasil pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran dari ketiga titik pengamatan memiliki *trend* naik. Selanjutnya, dapat dihitung nilai *coefficient of variance* untuk mengetahui reliabilitas dari sistem pengukuran menggunakan kamera pada masing-masing titik pengamatan. Semakin kecil nilai *coefficient of variance* maka sistem memiliki reliabilitas yang tinggi untuk melakukan pengukuran berulang kali. *Coefficient of variance* dapat dihitung menggunakan rumus (2.2) berdasarkan data standar deviasi dan rata-rata pembacaan sistem. Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan *coefficient of variance* pada ketiga titik tersebut:

Tabel 4.1 Data *Coefficient of Variance* pada Titik Tulang Selangka

Referensi (brpm)	Hasil Pembacaan Sistem (Hz)	Hasil Pembacaan Sistem (brpm)	Standar Deviasi (Hz)	Standar deviasi (brpm)	Coefficient of Variance (Cv) (%)
12	0.20366	12.2193	0.0106	0.6380	5.22146
14	0.2412	14.472	0.0185	1.1129	7.68996
16	0.26493	15.896	0.0056	0.3372	2.12122
18	0.29917	17.95	0.0050	0.3001	1.67206
20	0.3338	20.028	0.0005	0.0294	0.14676

Tabel 4.2 Data *Coefficient of Variance* pada Titik Leher

Referensi (brpm)	Hasil Pembacaan Sistem (Hz)	Hasil Pembacaan Sistem (brpm)	Standar Deviasi (Hz)	Standar deviasi (brpm)	Coefficient of Variance (Cv) (%)
12	0.19827	11.896	0.0057	0.3439	2.8908
14	0.22412	13.4473	0.0206	1.2338	9.17526
16	0.26919	16.1513	0.0072	0.4309	2.66808
18	0.30146	18.0873	0.0055	0.3324	1.83771
20	0.32266	19.3593	0.0332	1.9927	10.2931

Tabel 4.3 Data *Coefficient of Variance* pada Titik Tulang Dada

Referensi (brpm)	Hasil Pembacaan Sistem (Hz)	Hasil Pembacaan Sistem (brpm)	Standar Deviasi (Hz)	Standar deviasi (brpm)	Coefficient of Variance (Cv) (%)
12	0.2038	12.228	0.0200	1.1983	9.79939
14	0.22597	13.558	0.0264	1.5864	11.7006
16	0.27048	16.2287	0.0070	0.4214	2.59676
18	0.30701	18.4207	0.0170	1.0222	5.54945
20	0.31527	18.916	0.0557	3.3406	17.6603

Tabel 4.4 Data *Coefficient of Variance* pada pengukuran menggunakan mikrofon

Referensi (brpm)	Hasil Pembacaan Sistem (Hz)	Hasil Pembacaan Sistem (brpm)	Standar Deviasi (Hz)	Standar deviasi (brpm)	Coefficient of Variance (Cv) (%)
12	0.20016	12.0093	0.00512	0.3075	2.56049
14	0.23232	13.9393	0.00321	0.19272	1.38256
16	0.26303	15.782	0.00368	0.22107	1.40075
18	0.29953	17.972	0.00486	0.29163	1.62271
20	0.32894	19.7367	0.00138	0.08255	0.41824

Dari hasil Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3, menunjukkan bahwa hasil pengukuran sistem pada titik selangka memiliki nilai Cv rata-rata sebesar 3.37%, hasil pengukuran pada titik leher memiliki nilai Cv rata-rata sebesar 5.37% dan

pengukuran pada titik dada memiliki nilai Cv rata-rata sebesar 9.46%. Sedangkan pada Tabel 4.4 ditunjukkan hasil pengukuran laju pernapasan menggunakan mikrofon dan memiliki nilai Cv rata-rata sebesar 1.48%.

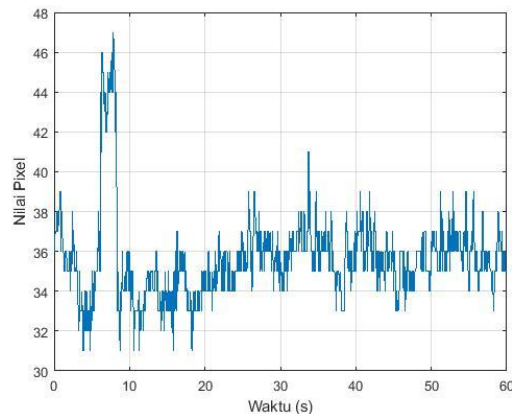
4.4 Analisis Hasil Pengukuran Laju Pernapasan Berdasarkan Titik Pengamatan

Telah dilakukan pengambilan data berdasarkan tiga titik pengamatan yang berbeda yaitu pada titik tulang selangka, titik leher, dan pada tulang dada menggunakan kamera berbasis pengolahan citra dengan metode analisis *pixel value*. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh data akurasi dan data *coefficient of variance* sebagai berikut:

Tabel 4.5 Data Akurasi dan Cv Masing-masing Titik

Titik Pengamatan	Akurasi	Cv
Titik selangka	97.37%	3.37%
Titik leher	96.57%	5.37%
Titik dada	94.6%	9.46%

Pada Tabel 4.4, telah dipaparkan nilai akurasi dan nilai Cv masing-masing titik. Hasil pengukuran laju pernapasan pada titik selangka memiliki nilai akurasi yang paling tinggi, yaitu sebesar 97.37%. Sedangkan untuk hasil yang paling rendah yaitu pada pengukuran laju pernapasan pada titik dada dengan akurasi sebesar 94.6%. Dan nilai akurasi pengukuran laju pernapasan pada titik leher memiliki nilai sebesar 96.57%. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran laju pernapasan pada titik dada tidak dapat digunakan karena memiliki nilai akurasi kurang dari 95%. Nilai akurasi yang rendah ini disebabkan karena pada pengukuran laju pernapasan di titik dada memiliki *noise* yang lebih banyak dibandingkan dari ketiga titik lainnya. *Noise* ini disebabkan karena pada bagian titik dada ketika dilakukan pengambilan data, bagian dada tersebut tidak terjadi perubahan intensitas cahaya yang signifikan ketika proses bernapas berlangsung.



Gambar 4.8 Hasil ekstraksi sinyal nilai pixel pada bagian titik dada

Pada Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa dari hasil ekstraksi nilai *pixel* pada bagian dada memiliki banyak *noise* dibandingkan dengan titik lainnya sehingga ketika dilakukan pengolahan data menunjukkan hasil yang tidak sesuai. Hal ini akan mengganggu pembacaan osilasi pola pernapasan sehingga korelasi antara pengukuran menggunakan kamera dengan mikrofon menjadi rendah. Sehingga, hasil akurasi pada titik dada ini lebih rendah dibandingkan dengan titik pengamatan lainnya.

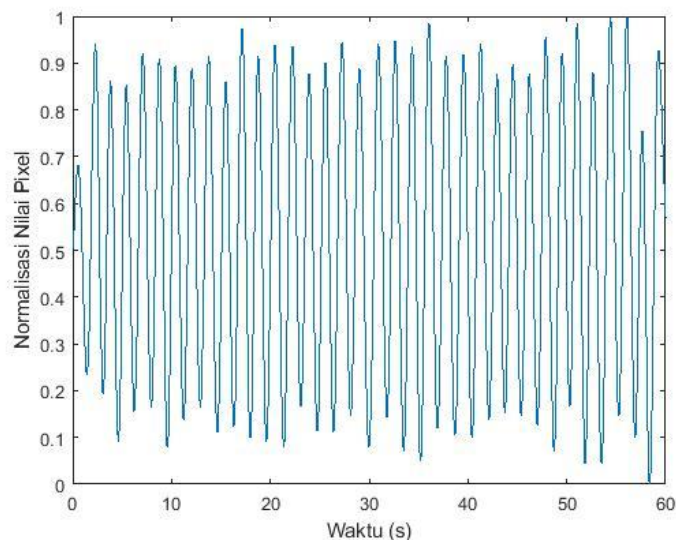
Nilai Cv digunakan untuk mengetahui reliabilitas dari sebuah sistem ketika melakukan pengukuran berulang. Semakin kecil nilai Cv maka semakin besar nilai reliabilitasnya. Pengukuran laju pernapasan pada titik selangka memiliki nilai Cv yang paling rendah yaitu sebesar 3.37%, pada titik leher sebesar 5.37% dan nilai Cv yang paling tinggi yaitu pada titik dada sebesar 9.46%. Reliabilitas pengukuran dari ketiga titik pengamatan ini memiliki nilai Cv <10% sehingga dapat dikatakan bahwa sistem ini memiliki reliabilitas yang tinggi. Hasil nilai Cv yang didapatkan dari pengukuran laju pernapasan menggunakan mikrofon juga menunjukkan bahwa pengukuran tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi, yaitu dengan nilai Cv sebesar 1.48%.

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa rancangan algoritma ini dapat membaca laju pernapasan manusia normal. Namun, terdapat kekurangan pada sistem ini yaitu tidak dapat membaca laju pernapasan ketika bagian *region of interest* tertutup kain, dikarenakan perubahan nilai pixel pada bagian yang tertutup kain tidak signifikan sehingga tidak dapat memberikan hasil

yang sebenarnya. Selain itu jarak antara kamera dengan objek dibandingkan dengan penelitian sebelumnya relatif lebih pendek yaitu sebesar 60 cm.

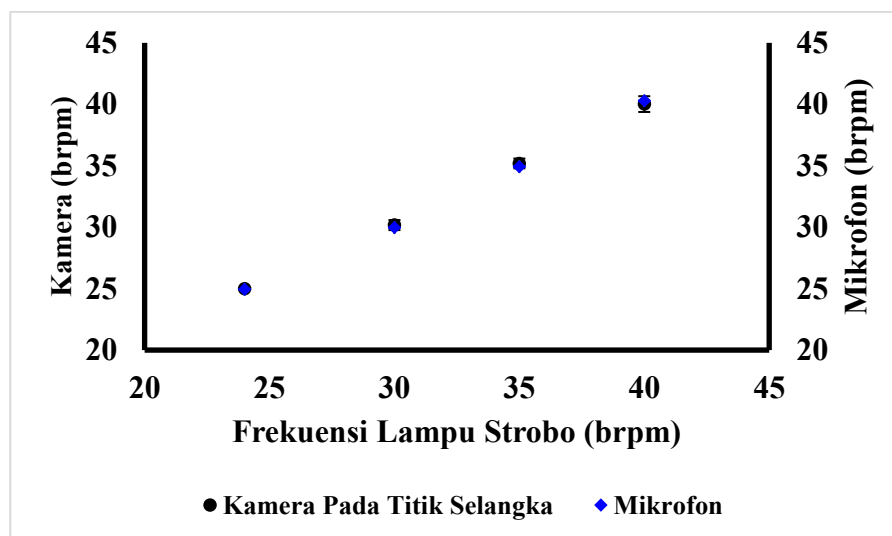
4.5 Analisis Pengukuran Laju Pernapasan Cepat

Setelah diketahui bahwa pengukuran pada titik selangka memiliki nilai akurasi yang paling tinggi pada pengukuran laju pernapasan normal yaitu sebesar 12 - 20 *brpm*, dilakukan analisis untuk pengukuran laju pernapasan cepat. Pernapasan cepat terjadi ketika seseorang telah melakukan aktivitas fisik, seperti lari di tempat sehingga laju pernapasan akan meningkat hingga 40 *brpm*. Salah satu hasil pembacaan pola pernapasan cepat ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil pengukuran pola pernapasan cepat

Parameter laju pernapasan diatur sesuai dengan pola lampu *strobe* yaitu sebesar 25 – 40 *brpm* dengan interval 5 *brpm*. Partisipan diminta untuk bernapas sesuai dengan pola lampu *strobe* tersebut dan sebagai pembanding digunakan mikrofon untuk dilakukan pengukuran laju pernapasan secara bersamaan. Pengambilan data setiap laju pernapasannya diambil sebanyak 3 kali. Berikut merupakan hasil pengukuran laju pernapasan cepat pada titik selangka:

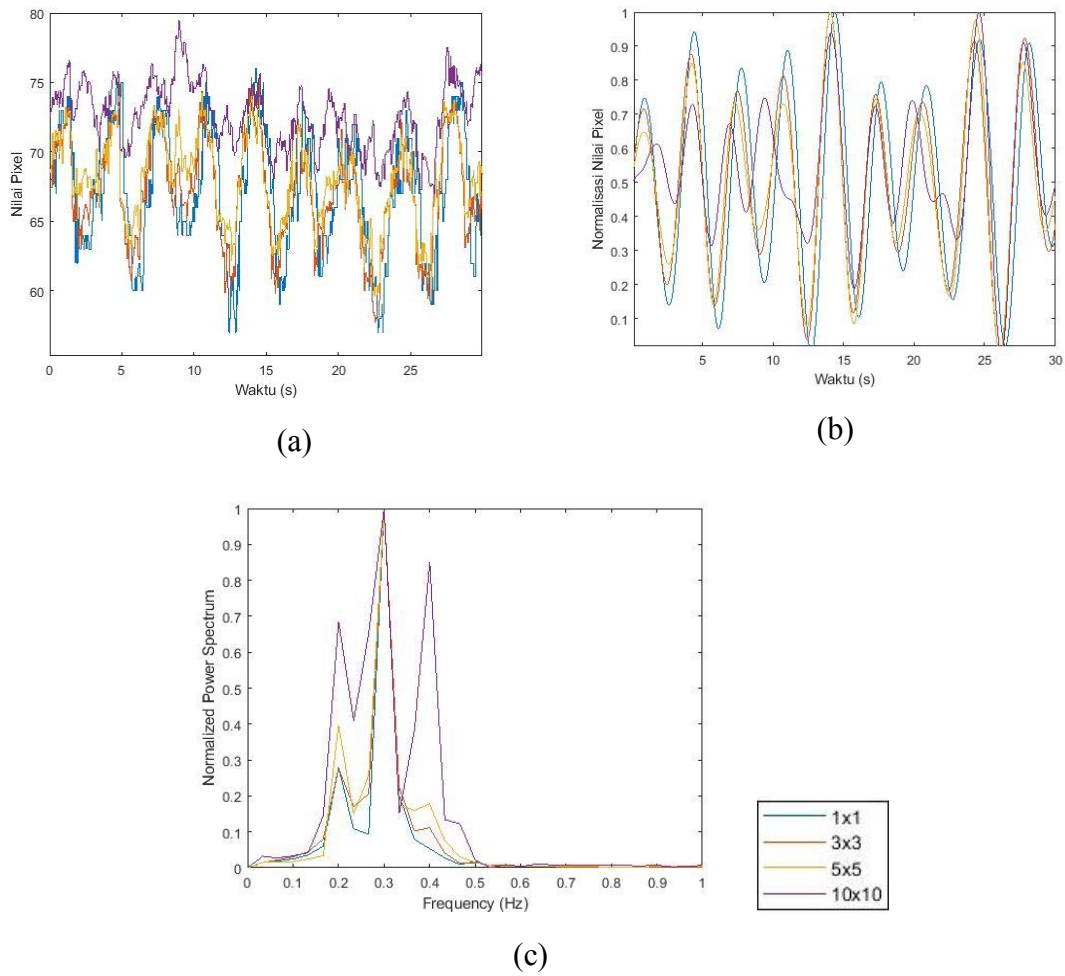


Gambar 4.10 Hasil pengukuran laju pernapasan cepat

Bedasarkan hasil yang ditampilkan pada Gambar 4.10, diketahui bahwa sistem ini dapat mengukur laju pernapasan cepat hingga 40 *brpm*. Hal ini dikarenakan pengukuran kamera dilakukan pada *framerate* sebesar 25 *frame per second* atau *sampling rate* sebesar 25 Hz sehingga dapat membaca frekuensi pola pernapasan hingga sebesar 40 *brpm* atau sebesar 0.6667 Hz.

4.6 Analisis Pengaruh Ukuran *Pixel* dengan Hasil Pengukuran

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran pengaruh ukuran *pixel* terhadap hasil pengukuran laju pernapasan manusia. Variasi *pixel* yang dianalisis pada penelitian ini adalah *pixel* dengan ukuran 1x1 dan 3x3, 5x5 dan 10x10. Pengukuran diambil melalui rekaman *video* dan diambil pada titik yang sama untuk masing-masing variasi ukuran *pixel*. Dari pengukuran yang telah dilakukan, berikut ini merupakan hasil dari pengukuran tersebut:



Gambar 4.11 Hasil pengukuran dengan ukuran *pixel* yang berbeda (a) Data ekstraksi nilai *pixel*, (b) Data pola pernapasan, (c) Data hasil *FFT* dari pola pernapasan

Berdasarkan Gambar 4.11, dapat dilihat bahwa tidak adanya pengaruh yang signifikan dari perubahan ukuran *pixel* terhadap laju pernapasan. Hal ini disebabkan karena sinyal yang diekstraksi dari hasil pengukuran dengan ukuran *pixel* yang berbeda memiliki frekuensi osilasi atau frekuensi laju pernapasan yang sama sehingga setelah dilakukan analisis *fast fourier transformation* menunjukkan hasil yang sama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dari serangkaian pengerjaan penelitian tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Telah dilakukan perancangan algoritma sistem pengukuran laju pernapasan berbasis pengolahan citra dengan metode analisis *pixel* value secara akurat. Algoritma yang dapat mengukur laju pernapasan manusia normal dan cepat yaitu, citra yang ditangkap oleh kamera diubah menjadi citra *grayscale* dari citra *RGB*, selanjutnya dilakukan pembacaan nilai *pixel* pada *region of interest* dan melihat perubahan intensitas *pixel* ketika proses bernapas berlangsung, dan sinyal yang telah diekstraksi dilakukan proses filterisasi dan *fast fourier transformation* untuk mengetahui frekuensi dominannya. Hasil pembacaan dari *fast fourier transformation* dikonversikan ke *brpm* untuk mengetahui estimasi laju pernapasan.
- b) Reliabilitas sistem dalam melakukan pengukuran berulang kali memiliki nilai yang baik yaitu dengan nilai CV sebesar 3.37%, 5.37% dan 9.46% untuk masing-masing pengukuran pada titik selangka, titik leher dan titik dada.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ke depan terkait tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Perlu dilakukan perbandingan pengukuran menggunakan alat standar medis dalam pengukuran laju pernapasan.
- b) Pengembangan algoritma sistem agar dapat membaca laju pernapasan manusia ketika dalam posisi tidur.
- c) Dapat dikembangkan untuk pembacaan parameter denyut jantung.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Agostoni, E., Mognoni, P., Torri, G., & Saracino, F. (1965). Relation between changes of rib cage circumference and lung volume. *Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1152/jappl.1965.20.6.1179>
- Al-Khalidi, F. Q., Saatchi, R., Burke, D., Elphick, H., & Tan, S. (2011). Respiration rate monitoring methods: A review. *Pediatric Pulmonology*, *46*(6), 523–529. <https://doi.org/10.1002/ppul.21416>
- Asaki, T., & Moon, H. A. (2019). Anisotropic variation formulas for imaging applications. *AIMS Mathematics*, *4*(3), 576–592. <https://doi.org/10.3934/math.2019.3.576>
- Barret, K. E., BARman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. L. (2012). Ganong's Review of Medical Physiology 24th Edition's Review of Medical Physiology. In *Ganong's Review of Medical Physiology 24th Edition's Review of Medical Physiology*.
- Cretikos, M. A., Bellomo, R., Hillman, K., Chen, J., Finfer, S., & Flabouris, A. (2008). Respiratory rate: The neglected vital sign. *Medical Journal of Australia*, *188*(11), 657–659. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2008.tb01825.x>
- Daiana da Costa, T., de Fatima Fernandes Vara, M., Santos Cristino, C., Zoraski Zanella, T., Nunes Nogueira Neto, G., & Nohama, P. (2019). Breathing Monitoring and Pattern Recognition with Wearable Sensors. *Wearable Devices - the Big Wave of Innovation*, *i*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85460>
- Droitcour, A. D., Seto, T. B., Park, B. K., Yamada, S., Vergara, A., El Hourani, C., Shing, T., Yuen, A., Lubecke, V. M., & Boric-Lubecke, O. (2009). Non-contact respiratory rate measurement validation for hospitalized patients. *Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine, EMBC 2009*. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5332635>
- Jiyuan, T., Kiao, I., & Goodarz, A. (2015). Computational Fluid and Particle

- Dynamics in the Human Respiratory System. In *CEUR Workshop Proceedings*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Loughlin, P. C., Sebat, F., & Kellett, J. G. (2018). Respiratory Rate: The Forgotten Vital Sign—Make It Count! In *Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.jcjq.2018.04.014>
- Massaroni, C., Lopes, D. S., Lo Presti, D., Schena, E., & Silvestri, S. (2018). Contactless monitoring of breathing patterns and respiratory rate at the pit of the neck: A single camera approach. *Journal of Sensors*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4567213>
- Massaroni, C., Nicolò, A., Presti, D. Lo, Sacchetti, M., Silvestri, S., & Schena, E. (2019). Contact-based methods for measuring respiratory rate. *Sensors (Switzerland)*, 19(4), 1–47. <https://doi.org/10.3390/s19040908>
- Nam, Y., Reyes, B. A., Member, S., Chon, K. H., & Member, S. (2016). *Estimation of Respiratory Rates Using the Built-in Microphone of a Smartphone or Headset*. 20(6), 1493–1501.
- Placko, D. (2010). Fundamentals of Instrumentation and Measurement. In *Fundamentals of Instrumentation and Measurement*. <https://doi.org/10.1002/9780470612026>
- Rosohadi, I. R., & Nasution, A. (2019). *Sistem Monitoring Laju Pernapasan Menggunakan Teknik Korelasi Citra Digital Berbasis Kamera Microsoft Kinect*.
- Schectman, O. (2013). Methods of Clinical Epidemiology. *Methods of Clinical Epidemiology*, Cv, 33–49. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37131-8>
- Strauss, W. (2000). Digital signal processing. In *IEEE Signal Processing Magazine* (Vol. 17, Issue 2). <https://doi.org/10.1109/79.826412>
- Taherdoost, H. (2018). Validity and Reliability of the Research Instrument; How to Test the Validation of a Questionnaire/Survey in a Research. *SSRN Electronic Journal*, January 2016. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3205040>
- Van Hecke, W., Emsell, L., & Sunaert, S. (2016). Diffusion Tensor Imaging: A Practical Handbook. *Diffusion Tensor Imaging: A Practical Handbook*, January, 1–440. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3118-7>
- Vyas, A., Yu, S., & Paik, J. (2018). Fundamentals of digital image processing. In

Signals and Communication Technology. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7272-7_1

Weibel, E., & Burri, P. (2020). *Human respiratory system*. Encyclopædia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/science/human-respiratory-system/The-mechanics-of-breathing>

Yuan, G., Drost, N., & McIvor, R. (2013). Respiratory Rate and Breathing Pattern. *Mumj.Org*, *10*(1), 23–25. http://www.mumj.org/Issues/v10_2013/articles/v10_23.pdf

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Data Pengujian Perangkat Lunak

Tabel A.1 Data pengujian perangkat lunak

Aktual (CPM)	Percobaan ke			Rata-Rata (Hz)
	1	2	3	
12	0.1995	0.2054	0.1991	0.201333333
13	0.216	0.2148	0.2167	0.215833333
14	0.2335	0.2236	0.2315	0.229533333
15	0.2493	0.2496	0.2496	0.2495
16	0.2639	0.269	0.2717	0.2682
17	0.2833	0.2833	0.2833	0.2833
18	0.2957	0.2978	0.3008	0.2981
19	0.3167	0.3106	0.3186	0.3153
20	0.3295	0.3315	0.3309	0.330633333

B. Data Pengukuran Laju Pernapasan

Tabel B.1 Data pengukuran laju pernapasan pada titik selangka

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Microphone (brpm)	Estimasi Kamera (brpm)
1	0.198	0.2003	11.88	12.018
2	0.1963	0.2003	11.778	12.018
3	0.2003	0.2	12.018	12
4	0.1977	0.1997	11.862	11.982
5	0.2017	0.2	12.102	12
6	0.2131	0.2002	12.786	12.012
7	0.1984	0.2007	11.904	12.042
8	0.1989	0.232	11.934	13.92
9	0.197	0.1997	11.82	11.982
10	0.2315	0.2508	13.89	15.048
11	0.2311	0.2333	13.866	13.998
12	0.2381	0.2502	14.286	15.012
13	0.2317	0.2838	13.902	17.028
14	0.2277	0.2333	13.662	13.998
15	0.234	0.2202	14.04	13.212
16	0.2349	0.2329	14.094	13.974
17	0.2334	0.233	14.004	13.98

Tabel B.1 Lanjutan

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Micrphone (brpm)	Estimasi Kamera (brpm)
18	0.2285	0.2333	13.71	13.998
19	0.2641	0.2667	15.846	16.002
20	0.2595	0.2671	15.57	16.026
21	0.27	0.2669	16.2	16.014
22	0.2655	0.25	15.93	15
23	0.2627	0.2658	15.762	15.948
24	0.2651	0.2667	15.906	16.002
25	0.259	0.2667	15.54	16.002
26	0.2586	0.2669	15.516	16.014
27	0.2628	0.2676	15.768	16.056
28	0.2997	0.298	17.982	17.88
29	0.2957	0.3	17.742	18
30	0.3097	0.3002	18.582	18.012
31	0.2945	0.299	17.67	17.94
32	0.2961	0.2995	17.766	17.97
33	0.2997	0.2883	17.982	17.298
34	0.2977	0.3	17.862	18
35	0.3048	0.308	18.288	18.48
36	0.2979	0.2995	17.874	17.97
37	0.3287	0.3333	19.722	19.998
38	0.3285	0.3344	19.71	20.064
39	0.33	0.3336	19.8	20.016
40	0.3294	0.3344	19.764	20.064
41	0.3291	0.3344	19.746	20.064
42	0.3259	0.3336	19.554	20.016
43	0.33	0.3333	19.8	19.998
44	0.3283	0.3333	19.698	19.998
45	0.3306	0.3339	19.836	20.034

Tabel B.2 Data pengukuran laju pernapasan pada titik leher

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Micrphone (brpm)	Estimasi Kamera (brpm)
1	0.198	0.2003	11.88	12.018
2	0.1963	0.2003	11.778	12.018
3	0.2003	0.2	12.018	12
4	0.1977	0.183	11.862	10.98
5	0.2017	0.2	12.102	12
6	0.2131	0.2002	12.786	12.012
7	0.1984	0.2007	11.904	12.042
8	0.1989	0.2002	11.934	12.012
9	0.197	0.1997	11.82	11.982
10	0.2315	0.2341	13.89	14.046
11	0.2311	0.2167	13.866	13.002
12	0.2381	0.2502	14.286	15.012
13	0.2317	0.1836	13.902	11.016
14	0.2277	0.2333	13.662	13.998
15	0.234	0.2	14.04	12
16	0.2349	0.2329	14.094	13.974
17	0.2334	0.233	14.004	13.98
18	0.2285	0.2333	13.71	13.998
19	0.2641	0.2883	15.846	17.298
20	0.2595	0.2671	15.57	16.026
21	0.27	0.2669	16.2	16.014
22	0.2655	0.2667	15.93	16.002
23	0.2627	0.2658	15.762	15.948
24	0.2651	0.2667	15.906	16.002
25	0.259	0.2667	15.54	16.002
26	0.2586	0.2669	15.516	16.014
27	0.2628	0.2676	15.768	16.056
28	0.2997	0.298	17.982	17.88
29	0.2957	0.3	17.742	18
30	0.3097	0.3002	18.582	18.012
31	0.2945	0.299	17.67	17.94
32	0.2961	0.2995	17.766	17.97
33	0.2997	0.3	17.982	18
34	0.2977	0.3	17.862	18
35	0.3048	0.3003	18.288	18.018

Tabel B.2 Lanjutan

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Micrphone (<i>brpm</i>)	Estimasi Kamera (<i>brpm</i>)
36	0.2979	0.3161	17.874	18.966
37	0.3287	0.3333	19.722	19.998
38	0.3285	0.2341	19.71	14.046
39	0.33	0.3336	19.8	20.016
40	0.3294	0.3344	19.764	20.064
41	0.3291	0.3344	19.746	20.064
42	0.3259	0.3336	19.554	20.016
43	0.33	0.3333	19.8	19.998
44	0.3283	0.3333	19.698	19.998
45	0.3306	0.3339	19.836	20.034

Tabel B.3 Data pengukuran laju pernapasan pada titik dada

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Micrphone (<i>brpm</i>)	Estimasi Kamera (<i>brpm</i>)
1	0.198	0.2003	11.88	12.018
2	0.1963	0.2003	11.778	12.018
3	0.2003	0.25	12.018	15
4	0.1977	0.1997	11.862	11.982
5	0.2017	0.1833	12.102	10.998
6	0.2131	0.2002	12.786	12.012
7	0.1984	0.1839	11.904	11.034
8	0.1989	0.2168	11.934	13.008
9	0.197	0.1997	11.82	11.982
10	0.2315	0.2341	13.89	14.046
11	0.2311	0.2333	13.866	13.998
12	0.2381	0.1668	14.286	10.008
13	0.2317	0.2333	13.902	13.998
14	0.2277	0.2333	13.662	13.998
15	0.234	0.2	14.04	12
16	0.2349	0.2496	14.094	14.976
17	0.2334	0.25	14.004	15
18	0.2285	0.2333	13.71	13.998
19	0.2641	0.2667	15.846	16.002
20	0.2595	0.2671	15.57	16.026

Tabel B.3 Lanjutan

Pengambilan Data	Mikrofon (Hz)	Kamera (Hz)	Estimasi Micrphone (brpm)	Estimasi Kamera (brpm)
21	0.27	0.2669	16.2	16.014
22	0.2655	0.2667	15.93	16.002
23	0.2627	0.2824	15.762	16.944
24	0.2651	0.2667	15.906	16.002
25	0.259	0.2833	15.54	16.998
26	0.2586	0.2669	15.516	16.014
27	0.2628	0.2676	15.768	16.056
28	0.2997	0.298	17.982	17.88
29	0.2957	0.3	17.742	18
30	0.3097	0.3002	18.582	18.012
31	0.2945	0.299	17.67	17.94
32	0.2961	0.2995	17.766	17.97
33	0.2997	0.35	17.982	21
34	0.2977	0.3	17.862	18
35	0.3048	0.3003	18.288	18.018
36	0.2979	0.3161	17.874	18.966
37	0.3287	0.3333	19.722	19.998
38	0.3285	0.3344	19.71	20.064
39	0.33	0.3336	19.8	20.016
40	0.3294	0.3344	19.764	20.064
41	0.3291	0.3344	19.746	20.064
42	0.3259	0.1668	19.554	10.008
43	0.33	0.3333	19.8	19.998
44	0.3283	0.3333	19.698	19.998
45	0.3306	0.3339	19.836	20.034

C. Data Pengukuran Pernapasan Cepat

Tabel C.1 Data Pengukuran Pernapasan Cepat

Pengambilan Data	Estimasi Micrphone (brpm)	Estimasi Kamera (brpm)
1	24.966	25.02
2	24.9	25.002
3	24.924	25.02
4	29.8	31.002
5	30.08	30
6	29.9	30.024
7	34.8	35.028
8	35.004	35.028
9	34.9	36
10	40.02	39
11	40.02	40.062
12	40.1	41.028
13	40.266	40.002
14	41.226	40.002
15	40.086	40.002
16	35.004	35.022
17	35.004	35.022
18	34.872	35.022
19	30.078	30
20	30.078	30
21	29.856	30
22	24.966	25.002
23	24.966	25.002
24	24.924	25.002

D. Data Pengujian Reliabilitas Sistem

Tabel D.1 Data pengukuran pada titik selangka

Percobaan	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)
1	0.2003	0.2508	0.2667	0.298	0.3333
2	0.2003	0.2333	0.2671	0.3	0.3344
3	0.2	0.2502	0.2669	0.3002	0.3336
4	0.1997	0.2838	0.25	0.299	0.3344
5	0.2	0.2333	0.2658	0.2995	0.3344
6	0.2002	0.2202	0.2667	0.2883	0.3336
7	0.2007	0.2329	0.2667	0.3	0.3333
8	0.232	0.233	0.2669	0.308	0.3333
9	0.1997	0.2333	0.2676	0.2995	0.3339
Rata-rata	0.2037	0.2412	0.2649	0.2992	0.3338
Standar deviasi	0.0106	0.0185	0.0056	0.0050	0.0005
Cv (%)	5.2215	7.6900	2.1212	1.6721	0.1468

Tabel D.2 Data pengukuran pada titik leher

Percobaan	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)
1	0.2003	0.2341	0.2883	0.298	0.3333
2	0.2003	0.2167	0.2671	0.3	0.2341
3	0.2	0.2502	0.2669	0.3002	0.3336
4	0.183	0.1836	0.2667	0.299	0.3344
5	0.2	0.2333	0.2658	0.2995	0.3344
6	0.2002	0.2	0.2667	0.3	0.3336
7	0.2007	0.2329	0.2667	0.3	0.3333
8	0.2002	0.233	0.2669	0.3003	0.3333
9	0.1997	0.2333	0.2676	0.3161	0.3339
Rata-rata	0.1983	0.2241	0.2692	0.3015	0.3227
Standar deviasi	0.0057	0.0206	0.0072	0.0055	0.0332

Tabel D.2 Lanjutan

Percobaan	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)
Cv (%)	2.8908	9.1753	2.6681	1.8377	10.2931

Tabel D.3 Data pengukuran pada titik dada

Percobaan	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)	Kamera (Hz)
1	0.2003	0.2341	0.2667	0.298	0.3333
2	0.2003	0.2333	0.2671	0.3	0.3344
3	0.25	0.1668	0.2669	0.3002	0.3336
4	0.1997	0.2333	0.2667	0.299	0.3344
5	0.1833	0.2333	0.2824	0.2995	0.3344
6	0.2002	0.2	0.2667	0.35	0.1668
7	0.1839	0.2496	0.2833	0.3	0.3333
8	0.2168	0.25	0.2669	0.3003	0.3333
9	0.1997	0.2333	0.2676	0.3161	0.3339
Rata-rata	0.2038	0.2260	0.2705	0.3070	0.3153
Standar deviasi	0.0200	0.0264	0.0070	0.0170	0.0557
Cv (%)	9.7994	11.7006	2.5968	5.5494	17.6603

Tabel D.4 Data pengukuran menggunakan mikrofon

Percobaan n	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)
1	0.198	0.2315	0.2641	0.2997	0.3287
2	0.1963	0.2311	0.2595	0.2957	0.3285
3	0.2003	0.2381	0.27	0.3097	0.33
4	0.1977	0.2317	0.2655	0.2945	0.3294
5	0.2017	0.2277	0.2627	0.2961	0.3291
6	0.2131	0.234	0.2651	0.2997	0.3259
7	0.1984	0.2349	0.259	0.2977	0.33

Tabel D.4 Lanjutan

Percobaan n	Referensi Lampu <i>Strobe</i> (CPM)				
	12	14	16	18	20
	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)	Mikrofon (Hz)
8	0.1989	0.2334	0.2586	0.3048	0.3283
9	0.197	0.2285	0.2628	0.2979	0.3306
Rata-rata	0.2001555 56	0.2323222 22	0.2630333 33	0.2995333 33	0.3289444 44
Standar deviasi	0.0051249 66	0.003212	0.0036844 27	0.0048605 56	0.0013757 83
Cv (%)	2.5604915 69	1.3825625 63	1.4007451 6	1.6227093 89	0.4182416 3

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ilham Akbar Ibrahim yang lahir di Jakarta pada tanggal 22 Maret 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Parkit Tebet Timur yang lulus pada tahun 2004, SDN Tebet Timur 19 yang lulus pada tahun 2010, SMPN 73 Jakarta yang lulus pada tahun 2013, dan SMAN 8 Jakarta yang lulus pada tahun 2016 dan kemudian melanjutkan studinya ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi dan kepanitiaan baik di dalam kampus maupun diluar kampus. Penulis pernah menjadi bagian dari Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) ITS sebagai Kepala Departemen pada tahun 2018-2019. Selain itu, penulis juga pernah menjabat sebagai Koordinator Asisten Laboratorium pada Laboratorium Rekayasa Fotonika di ITS dan menjadi bagian dalam berbagai acara seperti *Engineering Physics Week*, *Youth Speak Forum 2018*, dan acara berskala internasional pada *International Seminar on Photonics, Optics, and its Applications* pada tahun 2018 dan 2020 serta berbagai kegiatan lainnya. Pada tahun terakhir perkuliahan, penulis melakukan magang di PT. Inti Karya Persada Tehnik, Jakarta. Penulis dapat dihubungi melalui email di ilhamakbaribra@gmail.com.