TESIS – SF185401

ANALISIS *SELF-MIXING INTERFEROMETRY* SEBAGAI SENSOR GETARAN PADA APLIKASI DETEKTOR DETAK JANTUNG MANUSIA

MOH. AINUL YAQIN
01111850010015

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

TESIS – SF185401

ANALISIS *SELF-MIXING INTERFEROMETRY* SEBAGAI SENSOR GETARAN PADA APLIKASI DETEKTOR DETAK JANTUNG MANUSIA

MOH. AINUL YAQIN
NRP 01111850010015

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TESIS – SF185401

SELF-MIXING INTERFEROMETRY ANALYSIS AS A VIBRATION SENSOR IN HUMAN HEART RATE DETECTOR APPLICATIONS

MOH. AINUL YAQIN
NRP 01111850010015

Supervisor
Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc

Department of Physics
Faculty of Science and Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

”This page intentionally left blank

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOH. AINUL YAQIN

NRP. 01111850010015

Tanggal Ujian : Agustus 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh :

1. **Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc.** **(Pembimbing)**
   NIP. 19650619.198903.1.001

2. **Endarko, M.Si, Ph.D.** **(Penguji)**
   NIP. 19741117.199903.1.001

3. **Dr. Ali Yunus Rohedi, MT** **(Penguji)**
   NIP. 19670514.199303.1.016

Kepala Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data

Dr. Gatut Yudhoyono, M.T
NIP. 19640616198903.1.004

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Analisis *Self-Mixing Interferometry* sebagai Sensor Getaran pada Aplikasi Detektor Detak Jantung Manusia

Nama	:	Moh. Ainul Yaqin
NRP	:	01111850010015
Pembimbing	:	Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian sinyal *Self-Mixing Interferometry* (SMI) dengan sinyal detak jantung manusia. Prinsip kerja SMI menggunakan prinsip interferometer *Fabry-Perot*. SMI menggunakan laser dioda sebagai sensor non-kontak. Selain itu, *function generator* dan simulasi ECG buatan digunakan sebagai input pada rancangan sistem. Terdapat dua pengujian, yaitu pengujian non-detak jantung dengan sinyal dari *function generator* dan pengujian detak jantung dengan simulasi ECG buatan. Hasil menunjukkan bahwa sinyal SMI dari getaran sinyal pulsa *function generator* mendeteksi tegangan tertinggi 0,21 V. Sedangkan, sinyal SMI dari getaran simulasi ECG memiliki bagian-bagian yang sama dengan sinyal simulasi ECG, yaitu gelombang PQRST dengan garis isoelektrik yang terletak pada tegangan 0,17 V, titik puncak R sebesar 0,21 V dan titik S sebesar 0.13 V. Rasio nilai garis isoelektrik, yaitu 1:6, rasio titik puncak R sebesar 1:8, dan rasio titik S diperoleh sebesar 1:4. Sinyal ini membuktikan bahwa SMI mampu mendeteksi sinyal detak jantung manusia secara non-kontak.

Kata Kunci: ECG generator, Laser Dioda, *Self Mixing Interferometry,* Sensor Getaran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Self-Mixing Interferometry Analysis as A Vibration Sensor in Human Heart Rate Detector Applications

Name	:	Moh. Ainul Yaqin
NRP	:	01111850010015
Supervisor	:	Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc

ABSTRACT

This study aimed to determine the suitability of the Self-Mixing Interferometry (SMI) signal with the human heart rate signal. SMI used the Fabry-Perot interferometer principle. SMI functioned a diode laser as a non-contact sensor. In addition, function generators and artificial ECG simulations were employed as inputs to the system design. There were two tests, namely non-heart rate testing with signals from the function generator and heart rate testing with artificial ECG simulations. The results displayed that the SMI signal from the function generator signal vibration detected the highest voltage of 0.21 V. Meanwhile, the SMI signal from the ECG simulation vibration had the same parts as the ECG simulation signal, namely PQRST wave with an isoelectric line located at a voltage of 0.17 V, point R was 0.21 V and point S was 0.13 V. The ratio of the value of the isoelectric line was 1: 6, the peak point ratio R was 1: 8, and the point S ratio was 1: 4. This signal proved that the SMI was able to detect non-contact human heart rate signals.

Keywords: ECG generator, Diode Laser, Self Mixing Interferometry, Vibration Sensor.

”This page intentionally left blank”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah yang dengan nikmat dan karunia-Nya menjadi sempurna segala kebaikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis yang berjudul

"ANALISIS *SELF-MIXING INTERFEROMETRY* SEBAGAI SENSOR GETARAN PADA APLIKASI DETEKTOR DETAK JANTUNG MANUSIA".

Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga dan para sahabatnya. Dalam penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, nenek, paman, bibi, kakak-kakak dan adik-adik tercinta yang senantiasa mendukung, memotivasi dan memberikan do'a selalu.
2. Almukarrom KH. Moh. Hasan Mutawakkil Alallah, SH.MM. beserta para pengasuh Pondok Pesantren Zainul Hasan Genggong Probolinggo yang selalu mendoakan, mendukung dan memotivasi penulis.
3. Almukarromah Ny.Hj. Prof. Dr. Zumrotul Mukaffa, M.Ag. beserta para pengasuh Pondok Pesantren Darus Salam Keputih Surabaya yang selalu mendoakan, mendukung dan memotivasi penulis.
4. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc atas bimbingan, arahan, motivasi, do'a dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis selama menjadi dosen wali dan dosen pembimbing.
5. Bapak Endarko,Ph.D dan Dr. Ali Yunus Rohedi selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan sehingga tesis ini menjadi lebih baik.
6. LPPM ITS yang telah memberikan beasiswa BPUP dari dana Penelitian Tim Pascasarjana dan Penelitian Tesis Magister DRPM KEMENRISTEK DIKTI sehingga penulis dapat menempuh studi S2 hingga selesai.

7. Bapak Dr. Gatut Yudhoyono selaku Kepala Departemen Fisika, Dr. Agus Purwanto selaku ketua program studi Pascasarjana Departemen Fisika, dan seluruh dosen dan staf Departemen Fisika yang telah memberikan ilmu dan doa sehingga penulis dapat meyelesaikan studi S2 Fisika dengan lancar.
8. Bapak Dr. rer. Nat. Nasori yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
9. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc, Ibu Yanurita Dwi Hapsari, M.Si, dan Bapak Endarko, Ph.D selaku kepala Laboratorium Fisika Medis dan Biofisika yang telah memberikan izin penggunaan lab sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan.
10. Bapak Diky Anggoro, S.Si, M.Si selaku Kepala Laboratorium Elektronika, Ibu Devi dan Bapak Eko selaku staf Laboratorium Elektronika yang telah memberi izin penggunaan alat dan laboratorium selama penelitian ini.
11. Mas Zaki, Mbak Novi, Mas Syamsuddin dan Mas Okto selaku tim penelitian SMI pertama yang telah memberikan arahan dan motivasi serta berdiskusi dalam penelitian SMI sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan.
12. Rahmi Intan Yunifar selaku teman 1 tim penelitian SMI yang berjuang bersama, memotivasi, dan mendoakan sehingga tesis ini selesai.
13. Mas Fahrur, Mas Gusti Rana, dan Mas Aris Widodo yang telah memberikan saran, motivasi dan berbagi ilmu elektronika dan pemograman yang sangat bermanfaat dalam menyelesaikan tesis ini.
14. Maya Andansari, Fajar Timur, teman-teman Foton 2011 dan teman-teman Satu Masa 2011 atas do'a dan motivasinya.
15. Anisa Ratnasari yang telah membantu perbaikan penulisan tesis ini, terima kasih atas do'a dan motivasinya.
16. M. Afiq, sahabat terbaikku yang selalu mendo'akan, memotivasi dan mendukungku selama ini.
17. Teman-teman Laboratorium Fisika Medis & Biofisika, S2 Fisika Angkatan 2018, dan Departemen Fisika: Wahyu, Irasani, Deril, Vinda, Nura, Dwi, Andre, Adit, Saiful, Nusur, mas Ridho, mas Firdaus, mas Ivan, Pak Arfan,

Ulya, mas Eltra, mas Munzir, mbak Lativa, mbak Rasmi, mbak Sofi dan lain-lain yang tidak saya sebutkan. Terima kasih atas pengalaman dan kebersamaan selama ini. Semoga persaudaraan kita tetap terjaga.

18. Ustadz/Ustadzah, Bapak/Ibu Guru SMA Unggulan Haf-Sa Zainul Hasan Genggong Probolinggo dan SMA Terpadu YPP Nurul Huda Surabaya atas dukungan, motivasi dan doanya.
19. Teman-teman santri Pondok Pesantren Darus Salam Keputih Sukolilo Surabaya atas kebersamaan, dukungan dan doanya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini, oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun serta diskusi lebih lanjut di kemudian hari dari pembaca demi kesempurnaan penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan turut serta dalam pengembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca. Salam Sains.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS i

ABSTRAK iii

ABSTRACT v

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI xi

DAFTAR GAMBAR xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 5

2.1 Interferensi Cahaya 5

2.2 Interferometer Fabry Perot 7

2.3 Laser Dioda 8

2.3.1 Definisi Laser Dioda 8

2.3.2 Struktur dan Cara Kerja Laser Dioda 9

2.3.3 Mekanisme Umpan Balik (*Feedback*) Optik 10

2.3.4 Mode Osilasi 11

2.4 *Self-Mixing Interferometry* (SMI) 13

2.4.1 Konsep Dasar *Self-Mixing Interferometry* (SMI) 13

2.4.2 Perhitungan Parameter Umpan Balik (*Feedback*) 14

2.5 Sinyal Jantung Manusia pada *Electrocardiogram* (ECG) 16

2.6 Akuisisi Data Menggunakan Arduino dan *Software* PLX-DAQ 17

BAB 3 METODE PENELITIAN 19

3.1. Alat Penelitian 19

3.2. Rancangan Sistem 19

3.3. Diagram Alir Penelitian 20
3.7 Kalibrasi 22
3.8 Akuisisi Data dan Pengolahan Data 23
3.8.1 Pengujian Sinyal *Output Function Generator* (Non-detak jantung) 23
3.8.2 Pengujian Sinyal *Input* Detak Jantung Manusia (Simulasi *Electrocardiogram*) 24
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Hasil Kalibrasi Arduino Uno dan Laser Dioda SMI 27
4.2 Sinyal Arduino Uno dan Sinyal SMI tanpa *Input* 29
4.3 Sinyal *Output Function Generator* (Non-detak jantung) 31
4.3 Sinyal *Input* Detak Jantung Manusia (Simulasi *Electrocardiogram*) 32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 35
DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 1 39
LAMPIRAN 2 42
LAMPIRAN 3 43
BIOGRAFI PENULIS 45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dua gelombang berjalan ditunjukkan mengalami (a) interferensi konstuktif, (b) interferensi destruktif. (Giancoli, 2014).....6
Gambar 2. 2 (a) Dua sumber gelombang koheren terpisah dengan jarak 4λ, (b) Kondisi untuk interferensi konstruktif, (c) Kondisi untuk interferensi destruktif. (Young, 2012). ..6
Gambar 2. 3 *Multibeam* Interferometer Fabry-Perot (Dickmann, 2003). 7
Gambar 2. 4 Frinji Fabry-Perot diperoleh dengan sumber monokromatik (Hariharan, 2007).....8
Gambar 2. 5 Diagram celah pita (bandgap) dari NpP AlGaAs/GaAs/AlGaAs heterojunction (Hill 2005).....10
Gambar 2. 6 Indeks terpandu pada laser diode (Pospiech, M dan Liu, S., 2004).....12
Gambar 2. 7 Profil *beam* dari indeks terpandu pada laser diode (Pospiech, M dan Liu, S.,2004).....12
Gambar 2. 8 Skema sederhana Self-Mixing Interferometer dengan Laser dioda dan Fotodioda (Marti, 2012).....13
Gambar 2. 9 Skema dengan tiga model cermin pada self-mixing interferometry (Marti, 2012).....14
Gambar 2. 10 Grafik *Electrocardiogram* 16
Gambar 3.1 Diagram sistem SMI sebagai sensor getaran 19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Analisis Self-Mixing Interferometry sebagai Sensor Getaran pada Aplikasi Detektor Detak Jantung Manusia 20
Gambar 3.3 Skema integrasi sinyal *input Function Generator* 21
Gambar 3.4 Skema integrasi sinyal input detak jantung manusia (Simulasi *Electrocardiogram*).....21
Gambar 3.5 Skema sistem detektor getaran berbasis SMI.....22
Gambar 3.6 Skema alat pengujian sensor getaran berbasis SMI 24
Gambar 3.7 Skema alat pengujian sinyal jantung manusia menggunakan sensor getaran berbasis *Self-Mixing Interferometry* 25
Gambar 4.1 Hasil kalibrasi Arduino Uno sebagai perangkat akuisisi data 27
Gambar 4.2 a) Hubungan nilai arus LDC-202C dengan tegangan fotodioda, b) Hasil kalibrasi laser dioda SMI sebagai sensor getaran 28
Gambar 4.3 Sinyal Bawaan Arduino Uno 29
Gambar 4.4 Sinyal SMI saat cermin diam (tanpa *input)* berjarak 1 cm dari kolimator.....30
Gambar 4.5 Sinyal Pulsa 0.2 Hz pada *fuction generator*.....31
Gambar 4.6 Sinyal SMI dengan getaran Sinyal Pulsa *Function Generator* 0,2 Hz 32
Gambar 4.7 Sinyal *Electrocardiogram Generator* (ECG) 0,2 Hz 33
Gambar 4.8 Sinyal SMI dengan getaran sinyal ECG 0,2 Hz.....34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit kardiovaskuler merupakan penyakit ekstrem di dunia. Institut Metrik dan Evaluasi Kesehatan melaporkan antara tahun 1990 dan 2013, secara global kematian yang disebabkan oleh penyakit kardiovaskuler meningkat mendekati 41%. Selain itu, angka kematian untuk semua penyakit kardiovaskuler meningkat (Roth G A et al. 2015). Data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018 menunjukkan terdapat setidaknya 15 dari 1000 orang, atau sekitar 2.784.064 individu di Indonesia menderita penyakit jantung dan tertinggi terjadi pada rentang usia >65 tahun. Di Indonesia dilaporkan bahwa penyakit jantung koroner merupakan penyebab utama dari seluruh kematian yaitu sebesar 26,4 %, empat kali lebih tinggi dari kanker (6%) (Perki, 2019)

Salah satu upaya penanganan penyakit jantung dan pembuluh darah ini berupa pengembangan berbagai sistem diagnosis dan sistem kontrol detak jantung. Beberapa alat diagnosis detak jantung yang umum dipakai di dunia medis diantaranya stetoskop, *Electrocardiogram* (ECG), dan oximeter. Namun alat-alat tersebut masih kontak lansung dengan tubuh pasien. Untuk menghindari kontak langsung dengan tubuh pasien, telah dikembangkan sensor detak jantung berbasis optik yang non-kontak, yaitu self-mixing interferometry (SMI) laser dioda. SMI memanfaatkan sensor getaran untuk mendeteksi detak jantung.

SMI didasarkan pada efek umpan balik yang dihasilkan oleh cahaya. Cahaya tersebut menyinari target pada jarak jauh dan kembali ke rongga laser. Penelitian pertama terkait SMI dipublikasikan hanya beberapa tahun setelah penemuan laser pada tahun 1960an. Salah satu aplikasi laser interferometer di bidang biomedis yaitu memantau denyut darah (stetoskop optik) (Donati S, 2014). Alat ukur SMI memiliki beberapa kelebihan seperti struktur yang sederhana, kolimasi mudah, non-kontak, dan integrasi yang mudah (Chunlei, 2016).

Berdasarkan analisis parameter feedback pada sensor getaran berbasis SMI yang dilakukan Novi (Ariyanti ND, 2018), diperoleh bahwa feedback terlihat jelas pada frekuensi 50 Hz dan tidak muncul pada frekuensi rendah 10-30 Hz. Padahal untuk diterapkan pada deteksi sinyal jantung dibutuhkan sensor yang bisa mendeteksi frekuensi rendah. Detak jantung istirahat normal bervariasi dari usia <1 hingga >80 tahun yaitu pada rentang 66 hingga 131 bpm. Selain itu, rata-rata detak jantung istirahat normal usia >65 tahun sekitar 72 bpm yang setara dengan 1,2 Hz (Hart, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan pengujian sensor getaran berbasis *self-mixing interferometry* untuk aplikasi detektor detak jantung manusia. Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan sinyal getaran dari *Function Generator* pada target dengan frekuensi sekitar 12 bpm atau 0,2 Hz. Pengujian detektor non-detak jantung dilakukan dengan memberikan sinyal berupa gelombang pulsa dari *Function Generator*. Pengujian kedua dilakukan dengan memberikan sinyal jantung manusia dari ECG generator dengan frekuensi 12 bpm atau setara 0,2 Hz. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengaplikasikan SMI sebagai detektor detak jantung manusia non-kontak.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka perumusan masalah yang diangkat dalam proposal penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana hubungan arus *input* laser dioda yang tertera pada monitor *driver laser diode controller* LDC-202C dengan tegangan keluaran fotodioda?
2. Bagaimana sinyal SMI tanpa *input* yang terbentuk?
3. Bagaimana kesesuaian sinyal SMI dengan sinyal *Function Generator*?
4. Bagaimana kesesuaian sinyal SMI dengan sinyal ECG *generator*?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh:

1. Laser dioda yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang gelombang 785 nm.
2. Sumber sinyal jantung berasal dari sinyal ECG generator dengan frekuensi 0,2 Hz atau 12 bpm.
3. Frekuensi yang diberikan oleh *Function Generator* adalah frekuensi rendah, yaitu sebesar 0,2 Hz berupa gelombang pulsa.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan arus input laser dioda yang tertera pada monitor driver laser dioda controller LDC-202C dengan tegangan keluaran fotodioda
2. Mengetahui sinyal SMI yang tanpa input yang terbentuk
3. Mengetahui tingkat kesesuaian sinyal SMI dengan sinyal *Function Generator*.
4. Mengetahui tingkat kesesuaian sinyal SMI dengan sinyal ECG generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penggunaan sensor getaran berbasis optik yang non-kontak dengan menggunakan SMI laser dioda. Khususnya dalam aplikasi detektor detak jantung manusia dengan menggunakan sensor getaran berbasis *Self-Mixing Interferometry (SMI).*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas beberapa hal antara lain interferensi cahaya, interferometer Fabry-Perot, Laser dioda, *self-mixing interferometry*, sinyal jantung manusia pada ECG, akuisisi data menggunakan arduino dan *software* PLX-DAQ yang akan digunakan dalam penelitian ini.

2.1 Interferensi Cahaya

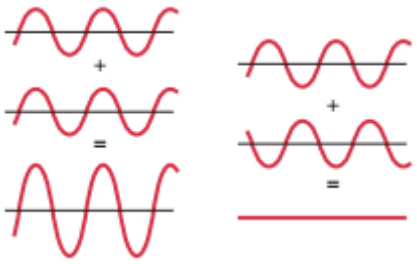
Interferensi cahaya merupakan perpaduan dua gelombang cahaya yang melewati ruang dan waktu yang sama (Giancoli, 2014). Ketika terjadi interferensi cahaya, gelombang total pada setiap titik dan setiap waktu memenuhi prinsip superposisi yang menyatakan bahwa:

"Ketika dua atau lebih gelombang saling tumpang tindih, simpangan yang dihasilkan di sembarang titik setiap saat merupakan hasil penjumlahan dari masing-masing simpangan gelombang tersebut" (Young, 2012).

Efek interferensi dalam gelombang cahaya tidak mudah untuk diamati karena panjang gelombang cahaya relatif pendek (400-700 nm). Agar interferensi cahaya dapat diamati, kondisi berikut ini harus dipenuhi (Halliday, 2010):

- Semua sumber cahaya harus koheren (Halliday, 2010), yaitu memiliki frekuensi yang sama dan memiliki hubungan fase yang konstan (Young, 2012).
- Semua sumber cahaya harus monokromatik, yaitu cahaya dengan panjang gelombang tunggal (Halliday, 2010).

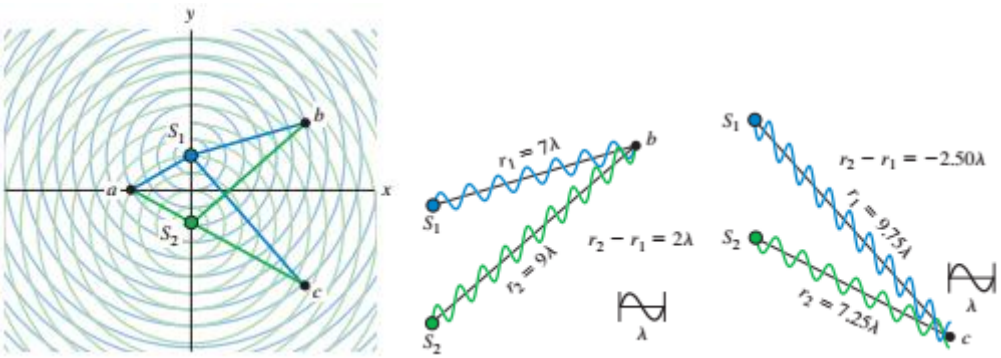
Interferensi dapat bersifat membangun/konstruktif dan merusak/destruktif. Pada interferensi konstuktif, amplitudo gelombang resultan lebih besar daripada masing-masing gelombang penyusunnya. Sedangkan pada interferensi destruktif, amplitudo resultan lebih kecil daripada masing-masing gelombang penyusunnya (Haliday, 2010).



(a) (b)

Gambar 2. 1 Dua gelombang berjalan ditunjukkan mengalami (a) interferensi konstuktif, (b) interferensi destruktif. (Giancoli, 2014)

Pada Gambar 2.1 terlihat proses pembentukan interferensi konstruktif dan destruktif. Interferensi konstuktif terjadi ketika gelombang dari dua atau lebih sumber tiba di suatu titik dalam fase yang sama, saling menguatkan satu sama lain. Amplitudo gelombang resultannya merupakan penjumlahan dari masing-masing amplitudo gelombang individu.



(a) (b) (c)

Gambar 2. 2 (a) Dua sumber gelombang koheren terpisah dengan jarak 4λ, (b) Kondisi untuk interferensi konstruktif, (c) Kondisi untuk interferensi destruktif. (Young, 2012).

Misalnya, jarak dari sumber S_1 ke suatu titik P adalah r_1, dan jarak dari sumber S_2 ke suatu titik P adalah r_2 (Gambar 2.2). Agar terjadi interferensi konstruktif di suatu titik P, maka perbedaan panjang lintasan $r_2 - r_1$ untuk kedua sumber harus merupakan kelipatan integral dari panjang gelombang λ:

$$r_2 - r_1 = m\lambda \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \tag{2.1}$$

Pada Gambar 2.2(a), titik a dan b memenuhi Persamaan 2.1 dengan m = 0 dan m = +2. Interferensi destruktif terjadi ketika gelombang dari dua atau lebih sumber tiba

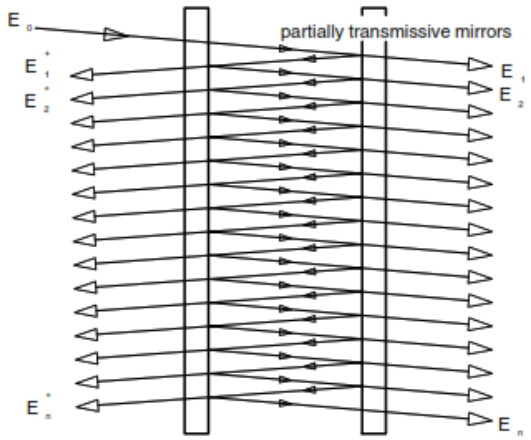
di suatu titik dengan beda fase 180°, saling melemahkan satu sama lain. Amplitudo gelombang resultannya merupakan selisih antara kedua amplitudo individu. Jika masing-masing amplitudo individunya sama maka amplitudo totalnya adalah nol. Agar terjadi interferensi destruktif di suatu titik, maka perbedaan panjang lintasan $r_2 - r_1$ untuk kedua sumber harus merupakan kelipatan setengah-integral dari panjang gelombang λ (Young, 2012):

$$r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda \qquad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \tag{2.2}$$

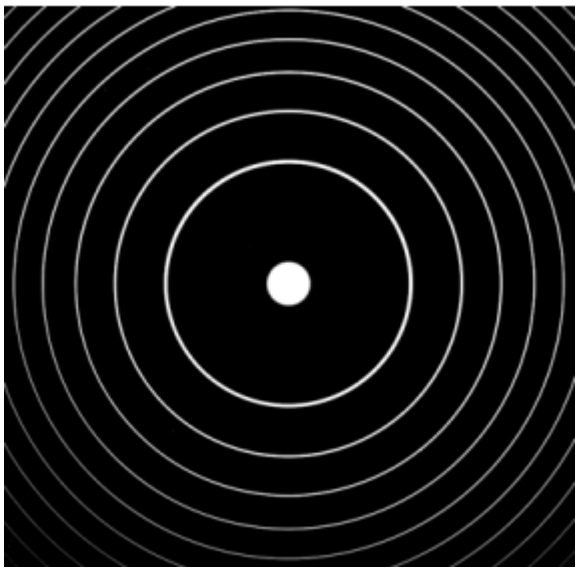
Perbedaan panjang lintasan di titik c pada Gambar 2.2(a) memenuhi Persamaan 2.2 dengan *m* = -3.

2.2 Interferometer Fabry Perot

Teori Fabry-Perot menjelaskan tentang interferensi berkas jamak cahaya dimana jumlah cahaya yang berinterferensi sangat banyak. Interferometer ini terdiri dari dua lapisan datar yang terletak secara paralel serta memiliki koefisien refleksi (R) dan koefisien transmisi (T) tertentu (Dickmann, 2003). Interferometer merupakan sebuah perangkat yang dapat membuat cahaya mengalami interferensi. Karena adanya beda fase antar cahaya maka timbul efek saling menguatkan.



Gambar 2. 3 *Multibeam* Interferometer Fabry-Perot (Dickmann, 2003).



Gambar 2. 4 Frinji Fabry-Perot diperoleh dengan sumber monokromatik (Hariharan, 2007)

Interferometer Fabry-Perot memanfaatkan interferensi berkas ganda dan terdiri dari dua permukaan paralel dengan lapisan semitransparan yang sangat memantulkan cahaya (R>0,95). Dengan sumber cahaya monokromatik yang diperluas (Panjang gelombang λ), pola interferensi terdiri cincin konsentris sempit (frinji dengan kemiringan sama) seperti pada Gambar 2.5 sesuai dengan kondisi berikut:

$$2nd\cos\theta = m\lambda, \tag{2.3}$$

Dimana d adalah jarak pemisahan permukaan, n adalah indeks bias medium di antaranya, θ adalah sudut datang dalam interferometer, dan m adalah bilangan bulat.

Dengan sinar terkolimasi pada kejadian normal, transmisi interferometer menunjukkan puncak tajam pada Panjang gelombang yang ditentukan oleh kondisi berikut (Hariharan, 2007):

$$2nd = m\lambda. \tag{2.4}$$

2.3 Laser Dioda

2.3.1 Definisi Laser Dioda

Laser Diode (LD) merupakan komponen semikonduktor yang menghasilkan radiasi koheren serta dapat dilihat oleh mata ataupun dalam bentuk spektrum inframerah (Infrared/IR) ketika dialiri arus listrik. Radiasi koheren

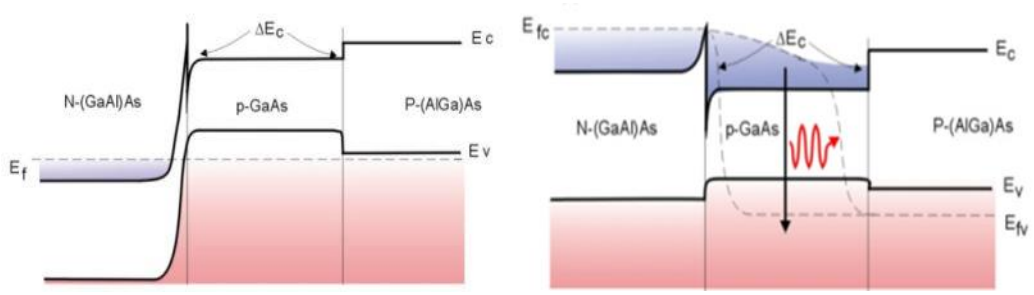
adalah radiasi semua gelombang yang berasal dari satu sumber yang sama dimana berada pada frekuensi dan fasa yang sama. Laser diode terbuat dari galium arsenit (GaAs) yang memiliki persimpangan (junction) dari material tipe p dan n (Pikatan. S., 1991).

Heinrich Welker di Jerman Barat mengidentifikasi GaAs sebagai anggota keluarga semikonduktor. Namun, manfaat senyawa ini tidak segera terlihat karena GaAs tidak memiliki oksida asli yang stabil (seperti silikon dengan SiO2) dan sulit diproduksi dengan kemurnian tinggi. Sehingga alasan ini mencegah peneliti melakukan banyak usaha studi tentang dioda GaAs sampai tahun 1958. Pada awal tahun 1960, pertumbuhan teknologi kristal semikonduktor berevolusi sehingga menyebabkan ketersediaan dioda GaAs secara komersial. Para peneliti menemukan bahwa persimpangan p-n pada GaAs memiliki efisiensi kuantum internal yang sangat tinggi yaitu sebesar 85-100%. Penemuan ini menunjukkan bahwa dioda semikonduktor dapat menjadi generator foton yang sangat efisien dan kemungkinan dapat menjadi "konverter" energi yang paling efisien menjadi energi optik (Rosa. A.L., 2015).

2.3.2 Struktur dan Cara Kerja Laser Dioda

Laser dioda hampir sama dengan lampu LED yaitu dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi cahaya, namun laser diode dapat menghasilkan cahaya dengan intensitas yang lebih tinggi. Pada laser dioda, semikonduktor dibentuk menjadi seperti selembar kertas yang sangat tipis dan menghasilkan sambungan p-n. Dua ujung kristal dibelah sehingga membentuk tepi yang sejajar dimana dua tepi paralel yang saling reflektif ini disebut rongga/pandu gelombang Fabry-Perot. Setiap cahaya melewati rongga maka harus diperkuat dengan emisi yang terstimulasi. Gambaran umum dari dioda laser inilah yang dikenal sebagai laser diode *homojunction* namun hal ini sangat tidak efisien. Laser diode jenis ini membutuhkan begitu banyak energi sehingga hanya bisa dioperasikan dalam pulsa yang pendek saja, jika tidak maka semikonduktor akan meleleh (Rosa. A.L., 2015).

Laser *heterojunction* menggunakan bahan celah pita rendah yang terjepit di antara dua lapisan celah pita tinggi. Salah satu jenis bahan yang biasa digunakan adalah GaAs dengan AlGaAs. Persimpangan antara bahan celah pita yang berbeda ini disebut heterojunction. Sehingga lebih banyak pasangan elektron hole yang dapat berkontribusi pada amplifikasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang menjelaskan tentang diagram celah pita dari NpP AlGaAs/GaAs/AlGaAs *heterojunction*.



(a) Struktur pita kesetimbangan (b) Bagian depan terbias

Gambar 2. 5 Diagram celah pita (bandgap) dari NpP AlGaAs/GaAs/AlGaAs heterojunction (Hill 2005).

Gambar 2.5 (a) menunjukkan struktur pita *heterojunction* ganda dalam kesetimbangan dimana tidak ada voltase yang diterapkan. Area tengah menunjukkan ΔEC. Gambar 2.5 (b) menunjukkan hetero fungsi ganda yang terbias. Tingkat energi dari bandgap tipe-N dari GaAlAs yang lebih besar telah dinaikkan sehingga berada di atas penghalang energi potensial ΔEC. Hal ini memungkinkan elektron mengalir ke daerah tipe p dari GaAs. Dimana keduanya dibatasi oleh material dengan *bandgap* yang lebih rendah. Demikian pula, *hole* mengalir dari tipe-P dari AlGaAs ke pita valensi tipe-p dari GaAs. Ketika jumlah elektron pada suatu tingkat eksitasi melebihi jumlah elektron pada suatu tingkat energi dibawahnya maka terjadi "inversi populasi", hal tersebut akan menyebabkan terjadinya emisi terstimulasi (Hill 2005).

2.3.3 Mekanisme Umpan Balik (*Feedback*) Optik

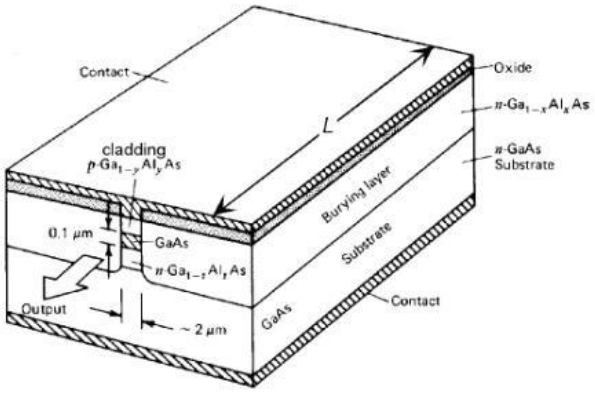
Laser yang memiliki efisiensi tinggi harus terbentuk dari resonator yang memiliki kemampuan tidak hanya untuk memperkuat gelombang elektromagnetik

saja, namun juga untuk umpan balik (*feedback*). Sebuah resonator laser umumnya terdiri dari dua cermin paralel yang tegak lurus terhadap sumbu optik. Pandu gelombang yang terletak di antara kedua cermin terbuat oleh bahan penguat. Struktur ini disebut sebagai resonator Fabry Perot. Kedua cermin tersebut memiliki tingkat reflektivitas yang berbeda, dimana salah satu cermin memiliki tingkat reflektivitas sebesar 100% dan yang lain tidak. Ketika resonator dibawa ke keadaan inversi populasi maka foton yang dihasilkan oleh emisi secara langsung diperkuat dan berulang kali terpantul pada kedua muka cermin yang saling berhadapan. Pada laser dioda heterostruktur, pandu gelombang akan mengkonfirmasi gelombang di daerah aktif. Komponen foton dipancarkan secara spontan dan bergerak sejajar dengan sumbu optik sehingga berulang kali terpantul oleh kedua muka cermin. Seiring gelombang elektromagetik bergerak melalui bahan semikonduktor maka akan diperkuat oleh emisi terstimulasi. Pada setiap pantulan, gelombang ditransmisikan sebagian melalui sisi reflektif (Pospiech, M dan Liu, S., 2004).

2.3.4 Mode Osilasi

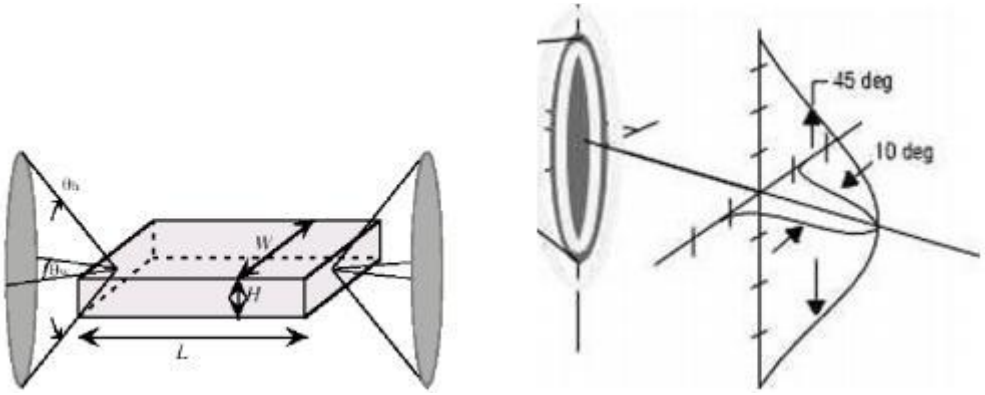
Pada laser dioda terdapat dua jenis mode yaitu mode longitudinal dan mode transversal. Dimana panjang rongga/pandu gelombang itu menentukan mode longitudinal sedangkan lebar dan tinggi rongga/pandu gelombang menentukan mode transversal.

Mode longitudinal atau resonansi optik Fabry-Perot dibentuk oleh ujung muka cermin yang terbuka dimana ditentukan oleh panjang L dari resonator dan indeks bias n dari semikonduktor. Pada gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang λ dan setengah panjang gelombang dalam medium adalah $\lambda/2n$ sehingga untuk gelombang standing maka sebesar $q\lambda/2n = L$. Dimana q merupakan kelipatan integral. Pada laser diode, osilasi akan timbul pada panjang gelombang yang sesuai dengan energi celah pita semikonduktor dan intensitasnya berkurang saat panjang gelombangnya menjauh dari panjang gelombang pusat.



Gambar 2. 6 Indeks terpandu pada laser diode (Pospiech, M dan Liu, S., 2004)

Mode transversal dengan gelombang elektromagnetik yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu optik resonator laser. Mode transversal memiliki dua komponen yaitu satu sejajar dan yang lainnya tegak lurus terhadap lapisan aktif laser. Sinar laser menampilkan medan divergen karena difraksi di ujung pandu gelombang.



Gambar 2. 7 Profil *beam* dari indeks terpandu pada laser diode (Pospiech, M dan Liu, S.,2004)

Dimensi kristal menentukan pola balok yang dipancarkan (pola mode melintang) dan frekuensi emisi laser (pola mode longitudinal). Pola *output* didominasi oleh difraksi karena lebar W ≈ 10μm dan tinggi H ≈ 2μm dari ciri khas laser diode yang sebanding dengan panjang gelombang emisi.

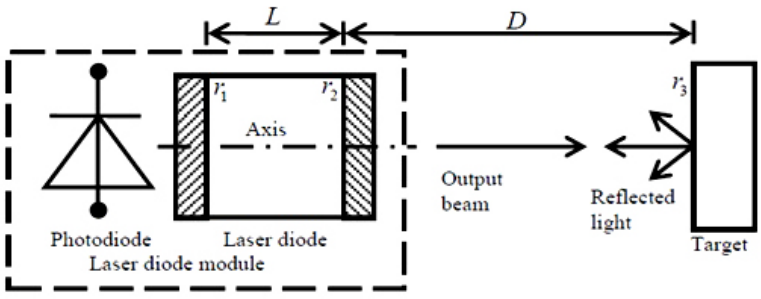
2.4 *Self-Mixing Interferometry* (SMI)

2.4.1 Konsep Dasar *Self-Mixing Interferometry* (SMI)

Prinsip dasar self-mixing interferometry adalah interferometry fabry perrot. Teori Fabry-Perot menjelaskan tentang interferensi berkas jamak cahaya dimana jumlah cahaya yang berinterferensi sangat banyak. Interferometer ini terdiri dari dua lapisan datar yang terletak secara paralel serta memiliki koefisien refleksi (R) dan koefisien transmisi (T) tertentu.

Prinsip *Self-Mixing Interferometry* yaitu ketika cahaya keluaran dari laser ditembakkan menuju target, maka sebagian cahaya akan dipantulkan oleh target dan ditangkap kembali oleh detektor yang terletak satu perangkat di dalam laser. Cahaya hasil pantulan dari target tersebut akan berinterferensi dengan cahaya asli laser. Sehingga dapat diukur perbedaan cahaya sebelum dan sesudah terpantul yang mengenai target. Daya dan frekuensi pantulan dari target tersebut akan memiliki perbedaan bila dibandingkan dengan daya dan frekuensi awal (Jiang, Zhang, and Li 2016).

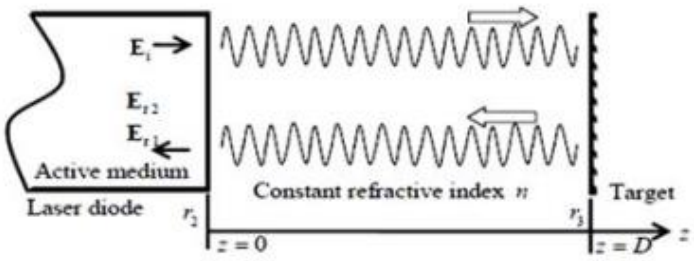
Skema sederhana dari *self-mixing interferometer* dengan laser diode ditunjukkan oleh Gambar 2.8 . *Photodiode* dan Laser diode berada pada satu komponen yang sama yaitu Module Laser Diode. Metode SMI ini lebih unggul dan kuat dibandingkan dengan laser diode pada umumnya.



Gambar 2. 8 Skema sederhana *Self-Mixing Interferometer* dengan Laser dioda dan Fotodioda (Marti, 2012)

2.4.2 Perhitungan Parameter Umpan Balik (*Feedback*)

Pada *self-mixing interferometry* terdapat pengukuran penting yaitu menentukan *feedback* parameter (C) dari laser diode. Teori dasar dari SMI dapat dijelaskan oleh dua model pandu gelombang Fabry Perot atau persamaan rata-rata waktu tunda Lang Kobayashi. Sinar optik dihamburkan kembali ke resonator aktif laser diode oleh target, sehingga operasi laser akan terganggu (Tao et al. 2015).



Gambar 2. 9 Skema dengan tiga model cermin pada self-mixing interferometry (Marti, 2012)

Daya optik pada LD dengan *feedback* eksternal P_c dan daya optik tanpa *feedback* eksternal P_s terhubung dengan persamaan (Giuliani et al. 2002)

$$\mathrm{P_c} = \mathrm{P_s}[1 + \mathrm{m'cos}(2\pi\nu_c\tau_\mathrm{D})] \tag{2.3}$$

Sedangkan frekuensinya

$$2\pi(\nu_s - \nu_c)\tau_D = Csin(2\pi\nu_c\tau_D + \arctan\alpha) \tag{2.4}$$

dengan ν_s adalah frekuensi tanpa arus *feedback* optik, ν_c adalah frekuensi optik teremisi setelah adanya arus *feedback*, m' adalah parameter modulasi. τ_D adalah waktu kembali sinar dari kavitas luar, α factor penguat *bandwidth*.

Parameter *feedback* optik disimbolkan dengan C dan didefinisikan sebagai

$$\mathrm{C} = \left[\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{nl}}\right]\left(1\text{-}\mathrm{r}_2^2\right)\left(\frac{\mathrm{r}_3}{\mathrm{r}_2}\right)\sqrt{1+\alpha^2} \tag{2.5}$$

Kemudian dapat diberikan persamaan

$$m' \approx \exp(-\pi\delta\,\upsilon_c\tau_D) \tag{2.6}$$

$$\upsilon_c = \frac{\langle\omega_c\rangle}{2\pi} \tag{2.7}$$

$$\tau_D = \frac{2nD}{c} \tag{2.8}$$

nilai δv_c adalah *bandwidth* resonator dengan *feedback* luar, $\langle \omega_F \rangle$ adalah frekuensi sudut rata rata radiasi dengan *feedback* luar. c adalah kecepatan cahaya dalam kondisi vakum. n adalah indeks bias medium. Yang perlu diperhatikan adalah parameter modulasi tidak konstan tapi bergantung pada nilai δv_c dan τ_D. Sebaliknya, δv_c juga bergantung pada τ_D. Dengan persamaan berikut :

$$\delta v_F = \frac{\delta v_s}{[1+C' \cos(2\pi v_c \tau_D + \arctan \alpha]^2} \tag{2.9}$$

dengan δv_c adalah *bandwidth* resonator tanpa *feedback* luar, C' adalah parameter *feedback* termodifikasi yang berhubungan dengan parameter *feedback* C melalui persamaan

$$C' = C \exp(-\pi \delta v_c \tau_D) \tag{2.10}$$

Sehingga persamaan parameter *feedback* dapat ditulis kembali dengan persamaan

$$\mathrm{C} = \left[\frac{\tau_D}{\tau_L}\right] \left(1\text{-}r_2^2\right) \left(\frac{r_3}{r_2}\right) \sqrt{1+\alpha^2} \tag{2.11}$$

dengan τ_L adalah waktu tunda foton dalam resonator (Marti, 2012).

2.4.3 Aplikasi Sensor Getaran pada Pegukuran Sinyal Biologis

Teknik SMI yang disebut sebagai Vibro-Cardiography (VCG) dapat menyediakan informasi yang sama akuratnya dengan electrocardiography (ECG). Namun memiliki keunggulan yaitu tanpa koneksi listrik atau pun kontak fisik dengan pasien. Pengukuran tambahan yang dapat melengkapi proses SMI ini adalah suara dari hembusan nafas dan getaran tangan yang disebabkan perasaan gugup dari pasien (Donati, S dan Norgia, M, 2014).

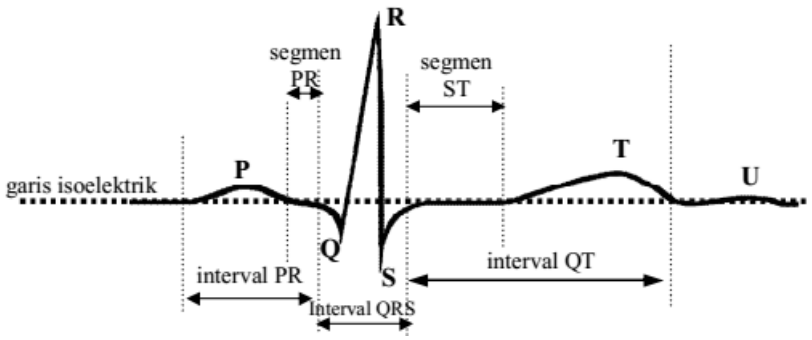
Penelitian terbaru dilakukan oleh Norgia dengan mengukur transfer impedansi pada system pernapasan dengan teknik osilasi buatan. Transfer impedansi ini menyediakan informasi tentang jaringan otot dan jaringan pembawa udara ke paru-paru. Ini sangat bemanfaat dalam memperkirakan bagian-bagian mekanik dari paru-paru dan penyakit yang diderita (Donati, S dan Norgia, M, 2014).

2.5 Sinyal Jantung Manusia pada *Electrocardiogram* (ECG)

Kardiovaskuler merupakan beberapa penyakit yang tergolong dalam penyakit jantung. Beberapa penyakit yang termasuk dalam kardiovaskuler adalah jantung coroner, jantung hipertensi, stroke, jantung reumatik, jantung bawaan dan gagal jantung kongestif (Hasanah, H, 2015). Elektrokardiograf adalah alat medis yang digunakan untuk merekam beda potensial bioelektrik di permukaan kulit manusia yang dibangkitkan oleh jantung dengan memasang elektroda rekam (Ag/AgCl) pada tempat tertentu di permukaan tubuh manusia (Sudjaji, et al, 2011).

Electrocardiography berperan penting dalam bidang kardiovaskuler. Kontraksi dan relaksasi dari otot jantung menghasilkan depolarisasi dan reporalisasi terhadap sel-sel mikrokardial. Perubahan seacara elektrik ini kemudian dapat dideteksi dengan melalui elektroda elektroda yang terdapat pada bagian tubuh manusia biasanya di dada dan daerah tungkai. Hasil deteksi elektroda tersebut kemudian direkam dan tertera pada kertas grafis yang disebut *Electrocardiogram* (ECG). Sehingga kondisi fisiologis jantung manusia dapat diketahui dari sinyal ECG.

Bioelektrik jantung dibangkitkan oleh sinoatrial node (node SA) dan *atrioventricular node* (node AV). Kemudian menjalar melalui sel konduksi yang disebut berkas HIS atau serat *purkinje* dan mengalir ke seluruh bagian jantung. Sehingga membentuk sinyal jantung ECG di permukaan tubuh. Gambar 2.10 memiliki arti klinis tersendiri. Berikut merupakan arti klinik dari sinyal jantung manusia:



Gambar 2. 10 Grafik *Electrocardiogram* (Sudjaji, et al, 2011).

Berdasarkan Gambar 2.10, puncak P disebabkan karena depolarisasi atrium. Q, R, dan S membentuk bersama – sama kompleks QRS, dan ini adalah hasil dari depolarisasi ventrikel. Setelah kompleks QRS, maka terdapat puncak T yang merupakan repolarisasi ventrikel. Peranan dari puncak U tidaklah begitu berperan hal ini karena berkaitan dengan konsentrasi Kalsium dan Kalium dalam darah. Repolarisasi atrium sering tidak jelas terlihat pada ECG disebabkan karena gelombang repolarisasi ini bersamaan dengan depolarisasi ventrikel (QRS) sehingga hilang ke dalamnya (Sudjaji, et al, 2011).

2.6 Akuisisi Data Menggunakan Arduino dan *Software* PLX-DAQ

Dalam melakukan akuisisi data, dibutuhkan komponen perangkat tambahan yang dapat memproses pengukuran fenomena fisik seperti tegangan, arus, temperatur, tekanan atau suara menggunakan komputer. Perangkat tambahan tersebut akan mengubah nilai-nilai analog tersebut menjadi digital (ADC) sehingga dapat terbaca pada komputer. Perangkat tambahan tersebut dapat dibuat dari platform elektronik *open-source* yaitu Arduino Uno.

Selain itu terdapat beberapa fungsi yang dimiliki oleh Arduino, diantaranya sebagai berikut:

- Mengomunikasikan Personal Computer (PC) dan algoritma untuk transaksi data menggunakan kabel USB.
- Mengontrol sinyal dan mengolahnya pada Analog Digital Converter (ADC).
- Mengomunikasikan program Arduino *Software* (IDE)(Arduino, 2018)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3
METODE PENELITIAN

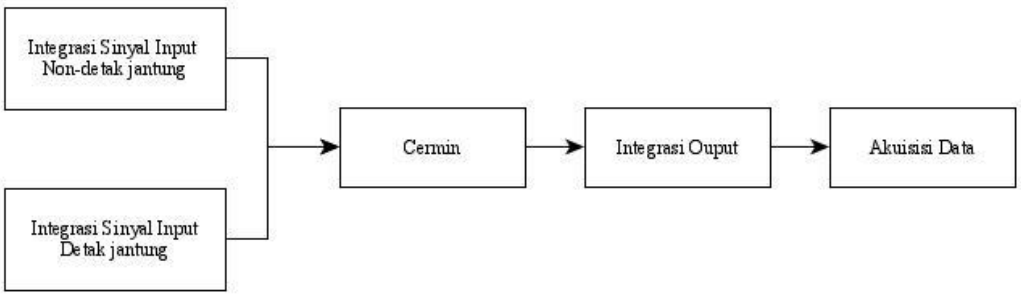
Metode penelitian dilakukan secara berurutan yaitu persiapan alat, kalibrasi sistem, akuisisi data uji sinyal non-detak jantung manusia dan uji sinyal detak jantung manusia berbasis SMI. Setelah akuisisi data dilakukan, data diolah dan dianalisis.

3.1. Alat Penelitian

Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu, *Function Generator* Siglent SDG 1010, rangkaian Audio Amplifier, Speaker Subwoofer HIFI 3 inch, Cermin datar berbentuk lingkaran (d = 25,5 cm), Laser Dioda infra merah moda tunggal Thorlabs-L785P090, Laser Dioda Controller Thorlabs-LDC-202C, Arduino Due, Arduino Uno, Multimeter UNI-T UT61A, rel optik statis, dan Arduino *software* (IDE) (tipe 1.5.7 dan 1.8.5).

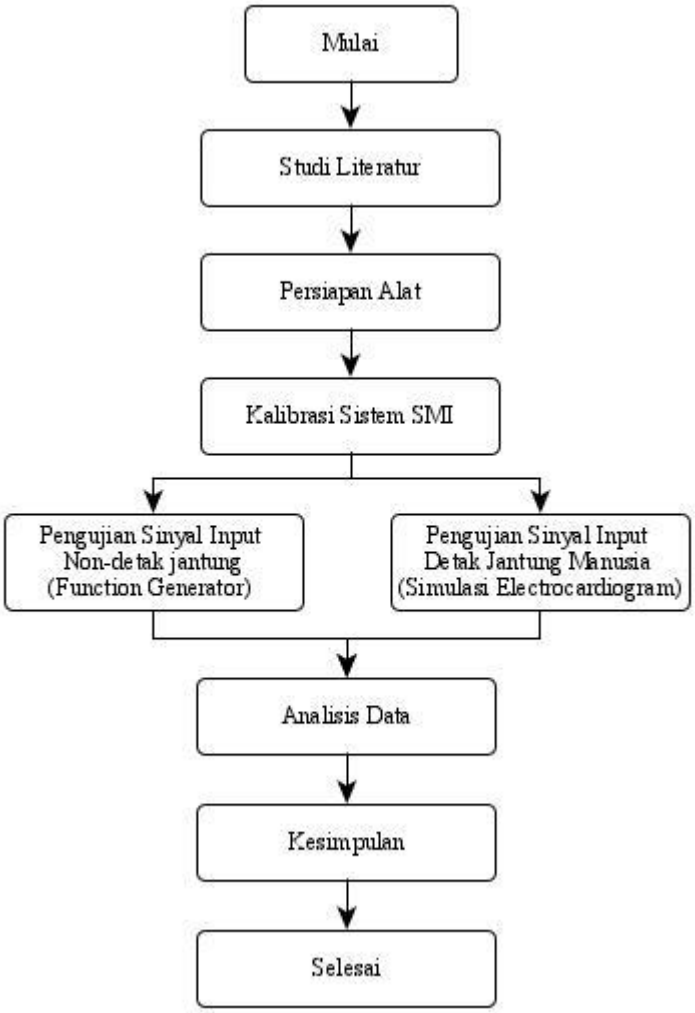
3.2. Rancangan Sistem

Secara umum rancangan sistem terdiri atas: *input*, cermin, *output*, dan akuisisi data. *Input* yang digunakan berupa integrasi sinyal detak jantung dan non-detak jantung. Cermin digunakan sebagai target yang bergetar dan memantulkan sinar infra merah dari laser dioda SMI. Selanjutnya *output* yang dihasilkan berupa data tegangan fotodioda. Data ini dikumpulkan oleh perangkat akuisisi data. Selanjutnya data yang diperoleh dianalisis. Diagram sistem ditampilkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram sistem SMI sebagai sensor getaran

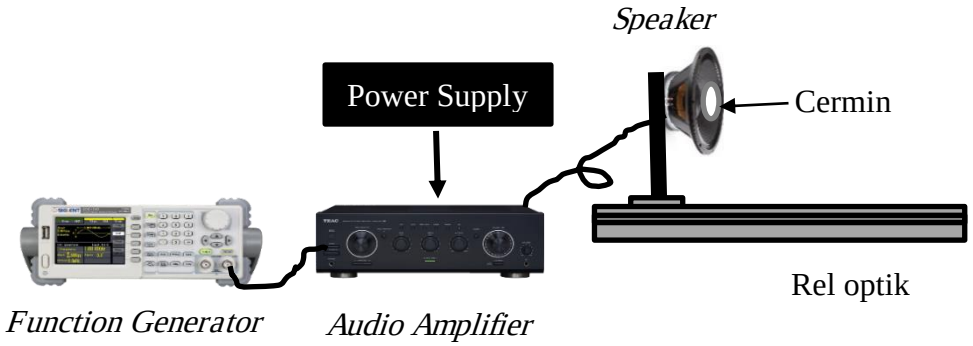
3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Analisis Self-Mixing Interferometry sebagai Sensor Getaran pada Aplikasi Detektor Detak Jantung Manusia

3.4 Integrasi Sinyal *Input Function Generator* (Non-detak jantung)

Integrasi sinyal *input* non-detak jantung menggunakan beberapa alat yang terdiri dari *Function Generator*, audio amplifier, power supply, dan speaker. *Function Generator* berfungsi sebagai sumber sinyal listrik non-detak jantung. *Function Generator* disambungkan ke audio amplifier untuk menguatkan sinyal listrik. Audio amplifier membutuhkan daya dari power supply dengan tegangan 5 V. Selanjutnya, Audio amplifier disambungkan ke speaker sehingga speaker dapat bergetar sesuai dengan sinyal yang diberikan oleh *Function Generator*. Skema integrasi sinyal *input Function Generator* ditampilkan pada Gambar 3.3.

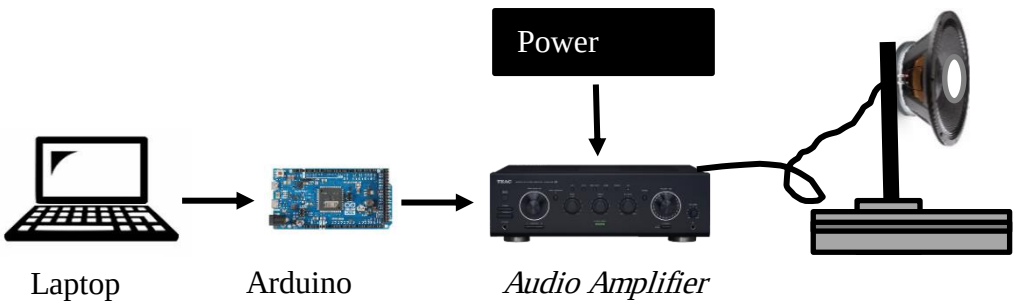


Gambar 3.3 Skema integrasi sinyal *input Function Generator*

Untuk menggetarkan cermin yang ditempelkan pada bagian *suspension speaker*, diberikan sinyal listrik yang berasal dari *Function Generator* dengan frekuensi 0,2 Hz. Bentuk sinyal berupa gelombang pulsa. Sedangkan amplitudo diberikan sebesar 4 Vpp.

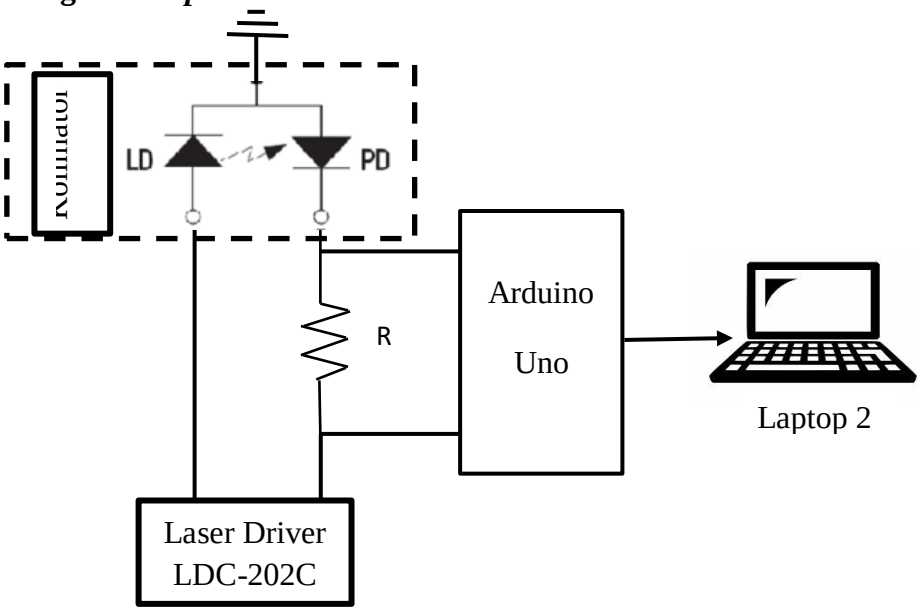
3.5 Integrasi Sinyal *Input* Detak Jantung Manusia (Simulasi *Electrocardiogram*)

Integrasi sinyal *input* detak jantung menggunakan beberapa alat yang terdiri dari laptop, arduio due, audio amplifier, power supply dan speker. Sinyal detak jantung manusia pada penelitian ini berupa simulasi. Laptop berfungsi sebagai sumber sinyal jantung yang disimulasikan melalui *software* Arduino (IDE) 1.5.7 (Koding sinyal jantung terlampir). Koding sinyal jantung tersebut diunggah ke Arduino due untuk mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal analog. Karena sinyal *output* dari Arduino Due kurang kuat untuk menggetarkan *speaker* maka ditambahkan *audio amplifier* sebagai penguat sinyal. *Audio amplifier* membutuhkan tegangan listrik 5 V dari *power supply*. Sinyal *output* dari *audio amplifier* kemudian dikirim ke *speaker* sehingga dapat menggetarkan cermin sesuai dengan sinyal jantung manusia atau sinyal ECG. Skema integrasi sinyal *input* detak jantung manusisa (Simulasi *Electrocardiogram*) ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema integrasi sinyal input detak jantung manusia (Simulasi *Electrocardiogram*)

3.6 Integrasi *Output* dan Akuisisi Data



Gambar 3.5 Skema sistem detektor getaran berbasis SMI

Sistem detektor getaran berbasis SMI tersusun dari beberapa bagian, yaitu kolimator, laser dioda SMI-L785P090, laser driver LDC-202C, resistor 202 Ω, Arduino Uno dan laptop, seperti pada Gambar 3.5 di atas. Bagian yang paling utama adalah perangkat laser dioda SMI L785P090 yang terdiri dari laser dioda sebagai sumber cahaya laser dan fotodioda sebagai detektor cahaya laser. Keduanya terintegrasi menjadi satu perangkat yang kompak. Laser dioda SMI ini mendapatkan arus yang konstan dan stabil dari laser driver LDC-202C sebesar 61,75 mA. Arus ini masih di bawah arus maksimum pengoperasian laser dioda (160 mA).

Pada pin katoda fotodioda diberi resistor (R = 220 Ω) yang disusun seri. Pemberian resistor ini sebagai pembagi tegangan dengan fotodioda. Sehingga jika tegangan fotodioda berubah maka tegangan pada resistor juga berubah. Oleh karena itu, sinyal tegangan fotodioda dapat direpresentasikan oleh sinyal tegangan resistor. Sinyal tegangan resistor ini diakuisisi oleh Arduino Uno yang membaca data analog dan mengubahnya ke data digital. Data digital dari Arduino Uno dikirim ke Laptop 2 yang sudah terinstal *software* Arduino (IDE) 1.8.5 dan aplikasi akuisisi data Parallax-DAQ.

3.7 Kalibrasi

Sebelum proses akuisisi data, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat dan valid. Kalibrasi yang dilakukan, yaitu kalibrasi Arduino Uno sebagai perangkat akuisisi data dan kalibrasi terhadap laser dioda *self-mixing interferometry* sebagai sensor utama.

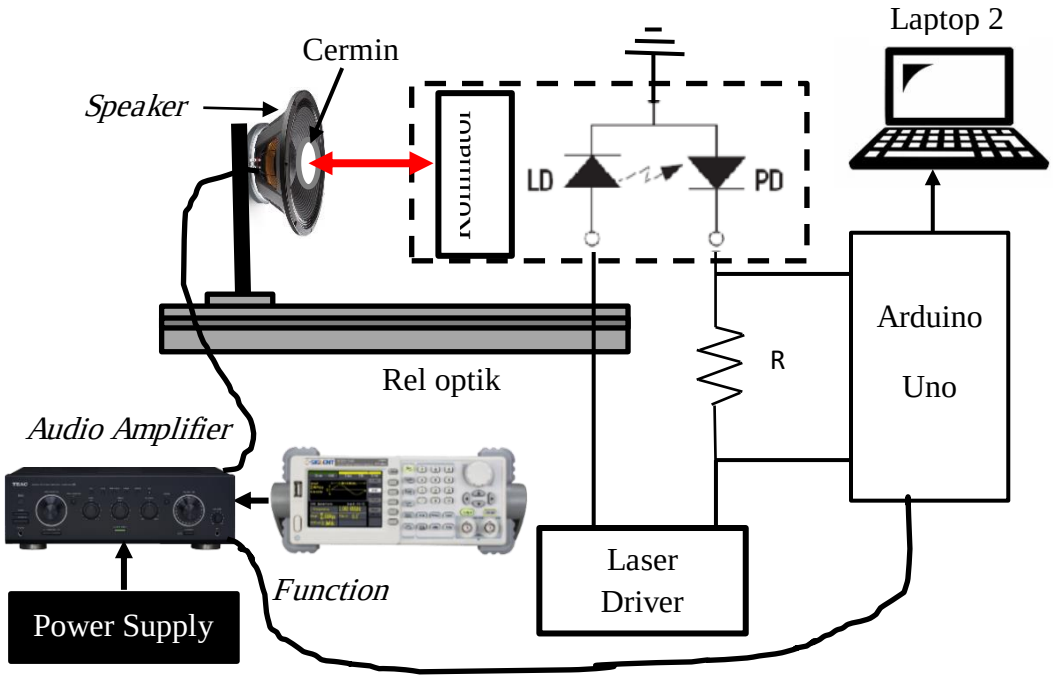
Proses kalibrasi arduino sebagai akuisisi data bisa dilakukan dengan mengukur nilai tegangan potensiometer. Data nilai tegangan yang diukur dengan multimeter dibandingkan dengan data yang ditampilkan pada serial monitor arduino. linearitasnya semakin mendekati satu maka kalibrasi dapat dikatakan berhasil. Proses kalibrasi laser dioda SMI yaitu dengan cara membandingkan arus *input* laser dioda yang tertera pada monitor driver laser dioda controller LDC-202C dengan tegangan keluaran fotodioda yang diukur menggunakan multimeter.

3.8 Akuisisi Data dan Pengolahan Data

Data analog yang diperoleh dari penelitian ini berupa sinyal tegangan fotodioda. Proses akuisisi data dilakukan oleh rangkaian Arduino Uno. Arduino Uno ini berfungsi untuk mengkonvesi sinyal analog menjadi sinyal digital agar mampu terbaca pada laptop. Untuk menampilkan data digital dari Arduino Uno, digunakan *software Parallax Data Acquisition Tool* (PLX-DAQ). *Software* ini berbasiskan Microsoft Excel yang dapat mengakuisisi data hasil pengiriman oleh Arduino Uno secara *real time* dan dapat membatasi jumlah data yang ingin diakuisisi. Semua data yang didapatkan akan diolah menggunakan *software* Origin Pro agar dapat menampilkan bentuk-bentuk sinyal gelombang yang dikehendaki.

3.8.1 Pengujian Sinyal *Output Function Generator* (Non-detak jantung)

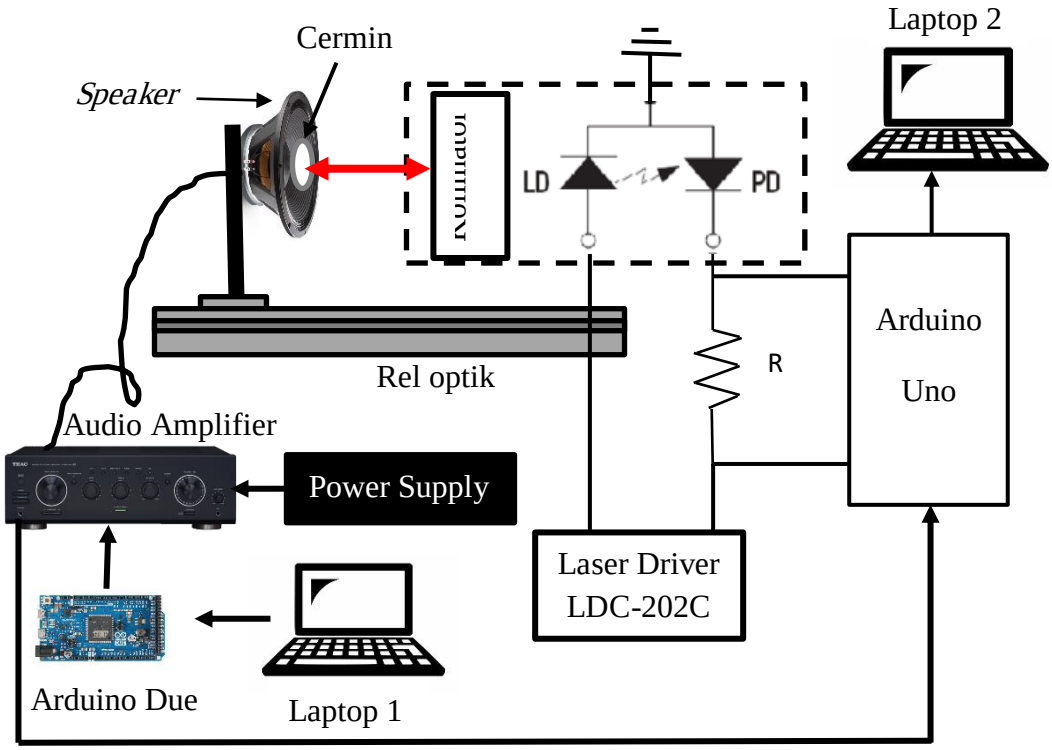
Skema alat untuk pengujian sensor getaran berbasis SMI ditunjukkan pada Gambar 3.6. Skema ini merupakan rangkaian gabungan antara sumber sinyal getaran dari *Function Generator* (lihat Gambar 3.3) dengan sistem detektor getaran berbasis SMI (lihat Gambar 3.5). Jarak antara laser dioda dengan target diatur sebesar 1 cm. Sinyal listrik dari *Function Generator* dikirim ke *speaker* untuk menggetarkan cermin dengan rentang frekuensi 1-50 Hz. Variasi bentuk sinyal diberikan dalam bentuk gelombang sinus, gelombang kotak dan gelombang pulsa. Tegangan keluaran fotodioda yang terukur akan dibandingkan dengan sinyal masukan dari *Function Generator*. Secara bersamaan data sinyal masukan dan sinyal keluaran diakuisisi oleh Arduino Uno dan *software* PLX-DAQ yang akan ditampilkan di Microsoft Excel. Data ini diolah menggunakan aplikasi Origin Pro dan akan dianalisis lebih lanjut.



Gambar 3.6 Skema alat pengujian sensor getaran berbasis SMI

3.8.2 Pengujian Sinyal *Input* Detak Jantung Manusia (Simulasi *Electrocardiogram*)

Skema alat untuk pengujian sinyal jantung manusia menggunakan sensor getaran berbasis SMI ditunjukkan pada Gambar 3.7. Skema ini merupakan rangkaian gabungan antara sumber sinyal getaran dari ECG generator (lihat Gambar 3.4) dengan sistem detektor getaran berbasis SMI (lihat Gambar 3.5). Jarak antara laser dioda dengan target diatur sebesar 1 cm. Sinyal ECG buatan dibangkitkan oleh ECG generator untuk mensimulasikan sinyal jantung manusia. Amplitudo sinyal jantung diubah dengan memvariasikan tegangan audio amplifier. Sinyal dikuatkan oleh audio amplifier dan dikirim ke speaker untuk menggetarkan cermin. Tegangan keluaran fotodioda yang terukur akan dibandingkan dengan sinyal masukan dari audio amplifier. Secara bersamaan data sinyal masukan dan sinyal keluaran diakuisisi oleh Arduino Uno dan *software* PLX-DAQ yang akan ditampilkan di Microsoft Excel. Data ini diolah menggunakan aplikasi Origin Pro dan akan dianalisis lebih lanjut.

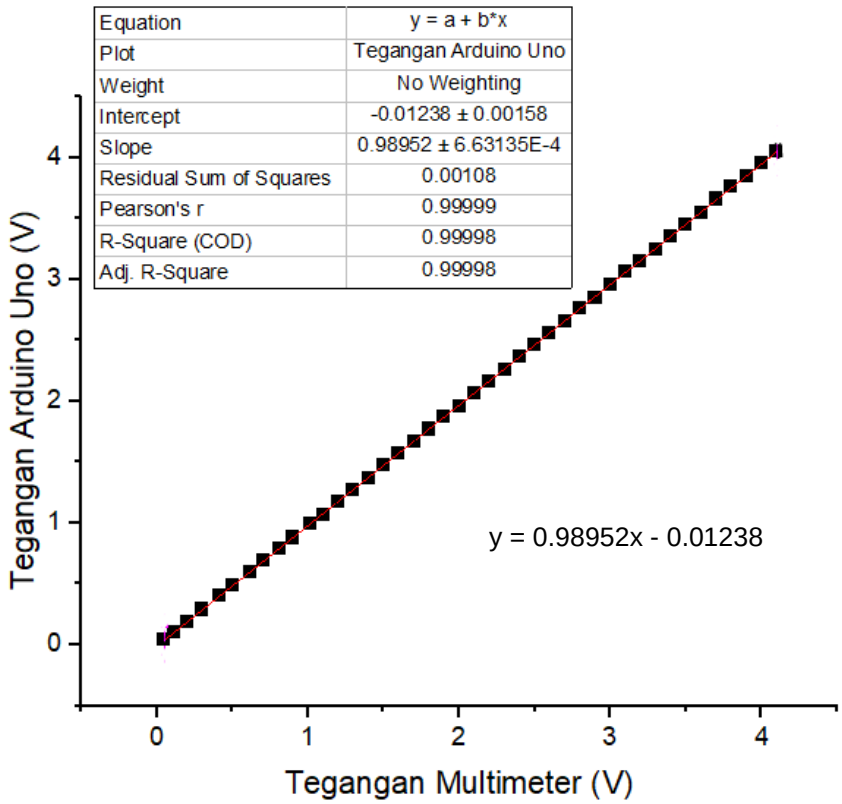


Gambar 3.7 Skema alat pengujian sinyal jantung manusia menggunakan sensor getaran berbasis *Self-Mixing Interferometry*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

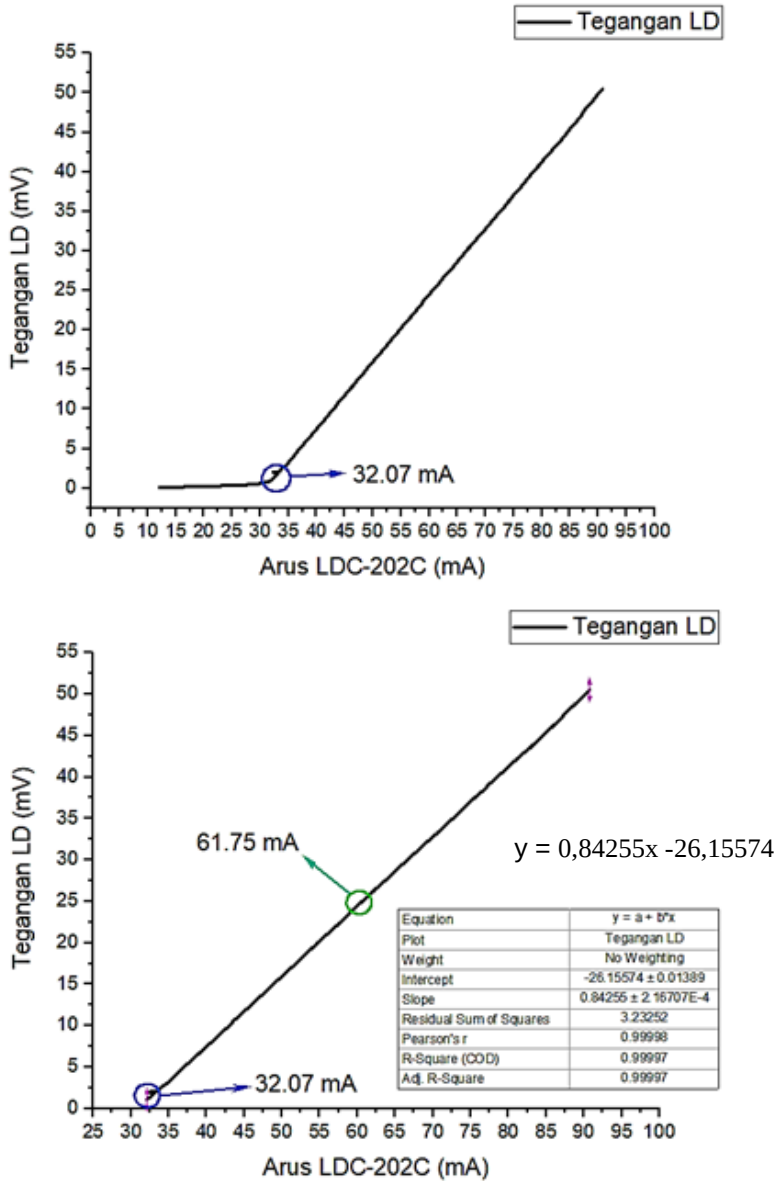
4.1 Hasil Kalibrasi Arduino Uno dan Laser Dioda SMI



Gambar 4.1 Hasil kalibrasi Arduino Uno sebagai perangkat akuisisi data

Gambar 4.1 menunjukkan Grafik hubungan antara nilai tegangan resistor yang terukur oleh multimeter dan yang terukur oleh arduino uno. Grafik tersebut menunjukkan nilai R^2 = 0,99998 yang berarti bahwa data eksperimen memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan persamaan y = 0,98952x - 0,01238. tersebut menunjukkan tingkat kemiringan atau gradien sebesar 0,98952. Hasil ini mengindikasikan bahwa arduino uno dapat digunakan untuk perangkat akuisisi data karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Hasil pengukuran ini memiliki pola yang sama dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan korelasi antara pengukuran arduino dan pengukuran NI DAQ().

Kalibrasi laser dioda SMI diperoleh dengan cara membandingkan arus *input* laser dioda yang tertera pada monitor *driver laser dioda controller* LDC-202C dengan tegangan keluaran fotodioda yang diukur menggunakan multimeter.



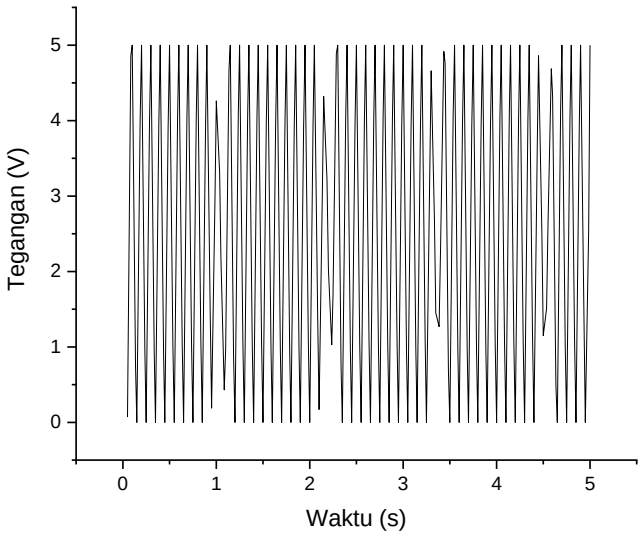
Gambar 4.2 a) Hubungan nilai arus LDC-202C dengan tegangan fotodioda, b) Hasil kalibrasi laser dioda SMI sebagai sensor getaran.

Grafik hubungan arus laser dioda dan tegangan fotodioda ditunjukkan pada Gambar 4.2.a dan Gambar 4.2.b. Gambar 4.2 menunjukkan karakteristik laser dioda, yaitu perubahan tegangan berpengaruh pada arus. Grafik tersebut menunjukkan bahwa daerah liniernya dimulai dari 32,07 mA dengan persamaan y

= 0,84255x -26,15574. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2.b dapat ditentukan nilai tengah pada daerah linier, yaitu pada nilai arus laser dioda sebesar 61,75 mA. Nilai ini selanjutnya digunakan untuk arus pengoperasian laser dioda yang konstan pada penelitian ini.

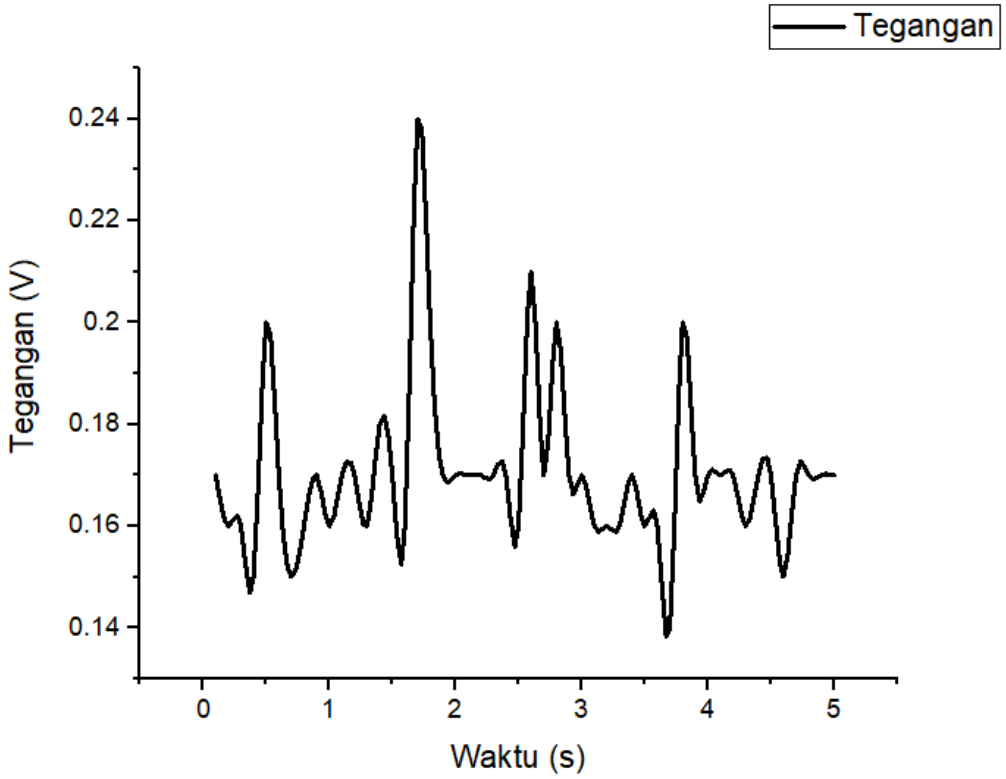
4.2 Sinyal Arduino Uno dan Sinyal SMI tanpa *Input*

Setelah dilakukan kalibrasi pada Arduino Uno dan Laser Dioda SMI, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap sinyal sebelum diberikan *input.* Berikut ini adalah sinyal tegangan bawaan Arduino Uno sebelum menerima sinyal *input*.



Gambar 4.3 Sinyal Bawaan Arduino Uno

Gambar 4.3 menunjukkan sinyal Arduino Uno sebelum membaca *output* sistem. Sinyal tegangan Arduino Uno mampu berosilasi dari 0 V hingga 5 V. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal Arduino Uno mampu mendeteksi sinyal hingga tegangan sebesar 5 V. Oleh sebab itu, Arduino Uno mampu berperan sebagai pengakuisisi data yang dapat mendukung pengambilan data sistem sensor SMI dengan tegangan kurang dari 5 V.

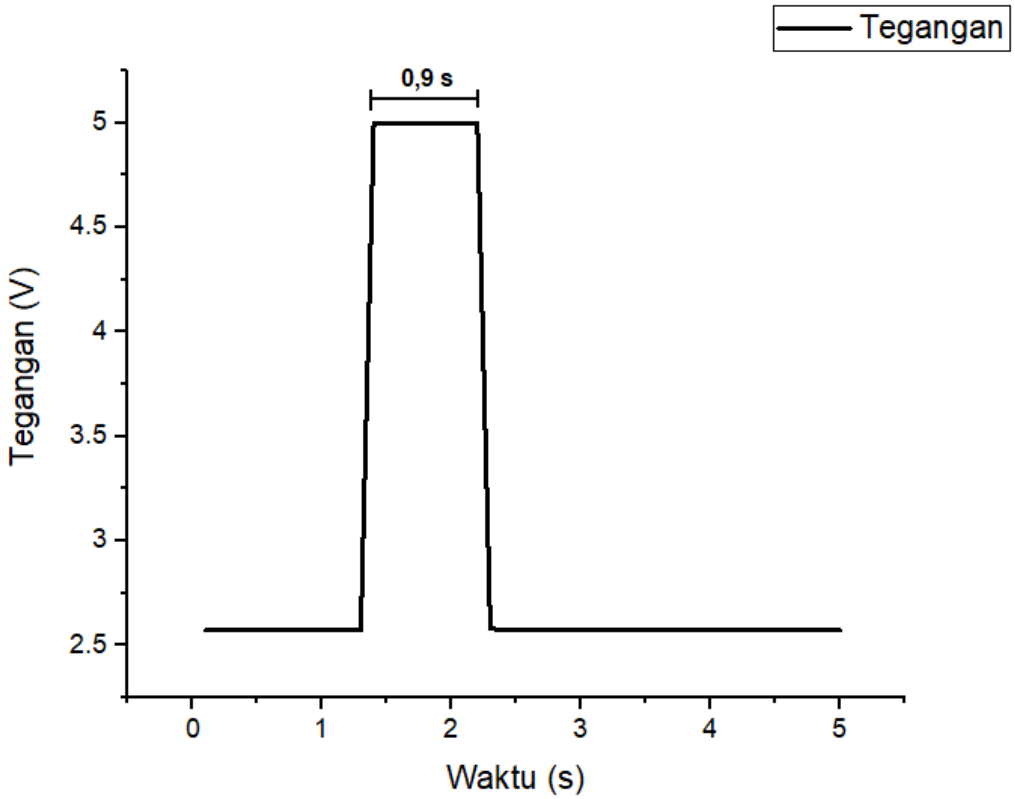


Gambar 4.4 Sinyal SMI saat cermin diam (tanpa *input)* berjarak 1 cm dari kolimator

Gambar 4.4 menampilkan sinyal SMI tanpa diberikan *input*. Sinyal SMI diambil dengan jarak 1 cm dari kolimator. Sinyal SMI ini menunjukkan bahwa SMI tanpa *input* sudah memiliki sinyal sendiri. Sinyal SMI tanpa *input* diidentifikasi memiliki tegangan tertinggi sebesar 0,24 V. Sedangkan, untuk tegangan terendah sebesar 0.14 V.

Secara teoritis sinyal SMI terbentuk karena terdapat interferensi fabry-perot. Sinyal yang menembak target, yaitu cermin datar, dipantulkan dan ditangkap kembali oleh detektor yang terdapat pada perangkat di dalam laser dioda. Oleh sebab itu, tanpa suatu input sinyal SMI dapat terbentuk sendiri. Selain memiliki sinyal sendiri, pengujian sinyal SMI menunjukkan bahwa SMI dapat mendeteksi suatu getaran.

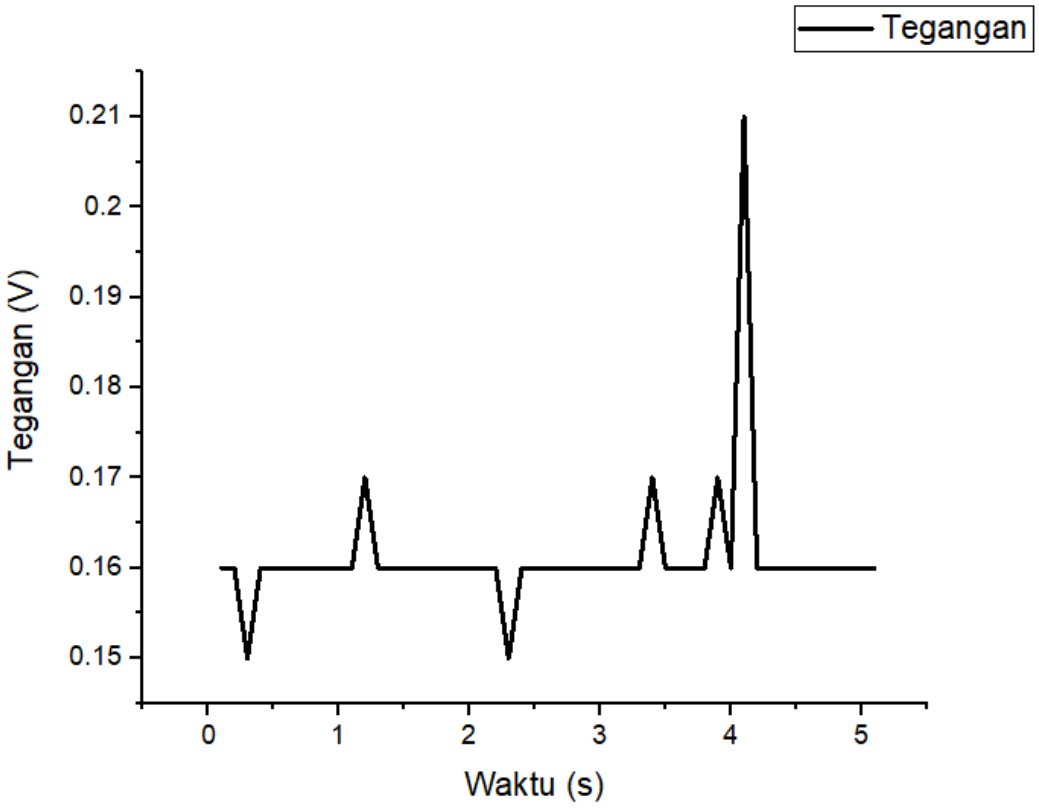
4.3 Sinyal *Output Function Generator* (Non-detak jantung)



Gambar 4.5 Sinyal Pulsa 0.2 Hz pada *fuction generator*

Gambar 4.5 menunjukkan sinyal pulsa yang terbentuk pada *Function Generator*. Sinyal pulsa terbentuk pada frekuensi 0,2 Hz. Sinyal tersebut memiliki nilai tegangan 5 V pada saat kondisi *high*. Sedangkan pada saat kondisi *low* memiliki tegangan sebesar 2,57 V. Selain itu sinyal memiliki lebar pulsa 0,9 sekon.

1



Gambar 4.6 Sinyal SMI dengan getaran Sinyal Pulsa *Function Generator* 0,2 Hz

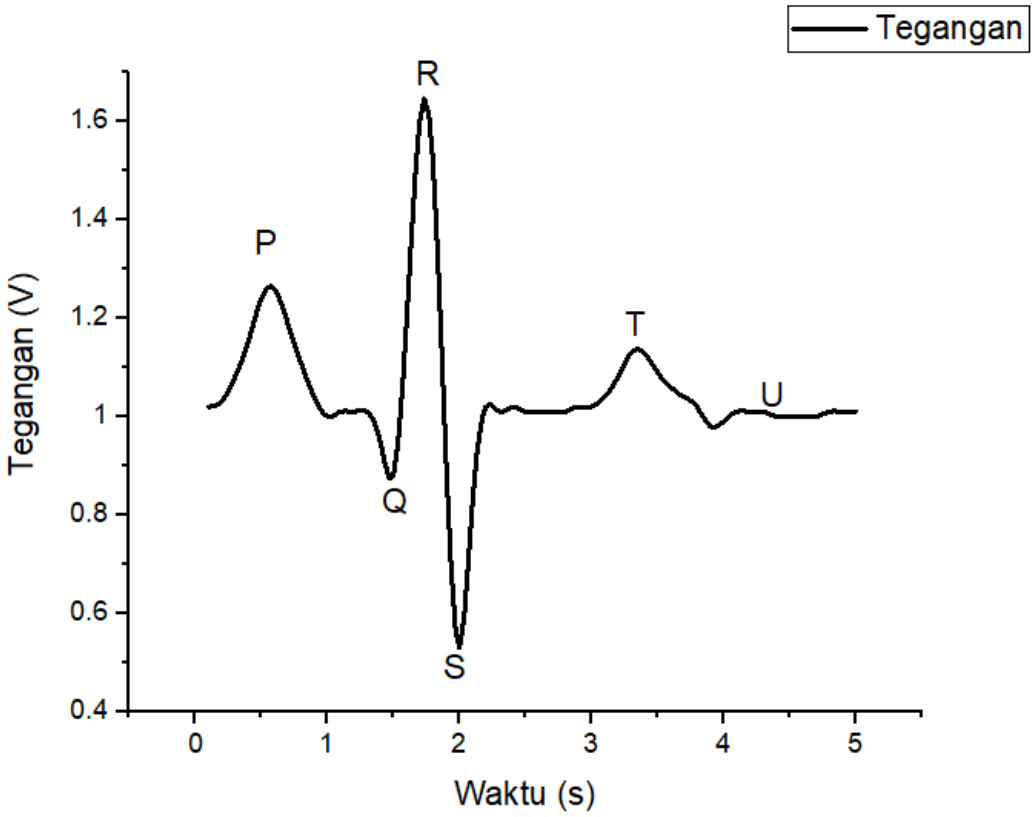
Gambar 4.6 menunjukkan sinyal SMI dengan frekuensi getaran sinyal pulsa 0,2 Hz. Sinyal tersebut terbentuk dari sinyal *Function Generator* yang terbaca oleh laser dioda SMI seperti pada Gambar 4.5. Sinyal ini menunjukkan nilai tegangan puncak sebesar 0.21 V. Secara fisis, tegangan ini terbentuk dipengaruhi oleh getaran yang berasal dari *Function Generator*.

Sinyal SMI pada Gambar 4.6 tebentuk karena adanya interferensi fabry-perot yang ditangkap oleh laser diode. Secara umum sinyal SMI yang terbentuk dengan *input Function Generator* memiliki kesesuaian yang rendah terhadap *sinyal input Function Generator*. Hal ini memungkinkan disebabkan oleh pengaruh sinyal laser dioda sendiri yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Selain sinyal laser dioda, permukaan cermin datar juga berpengaruh pada hasil refleksi yang ditangkap oleh detektor SMI.

4.3 Sinyal *Input* Detak Jantung Manusia (Simulasi *Electrocardiogram*)

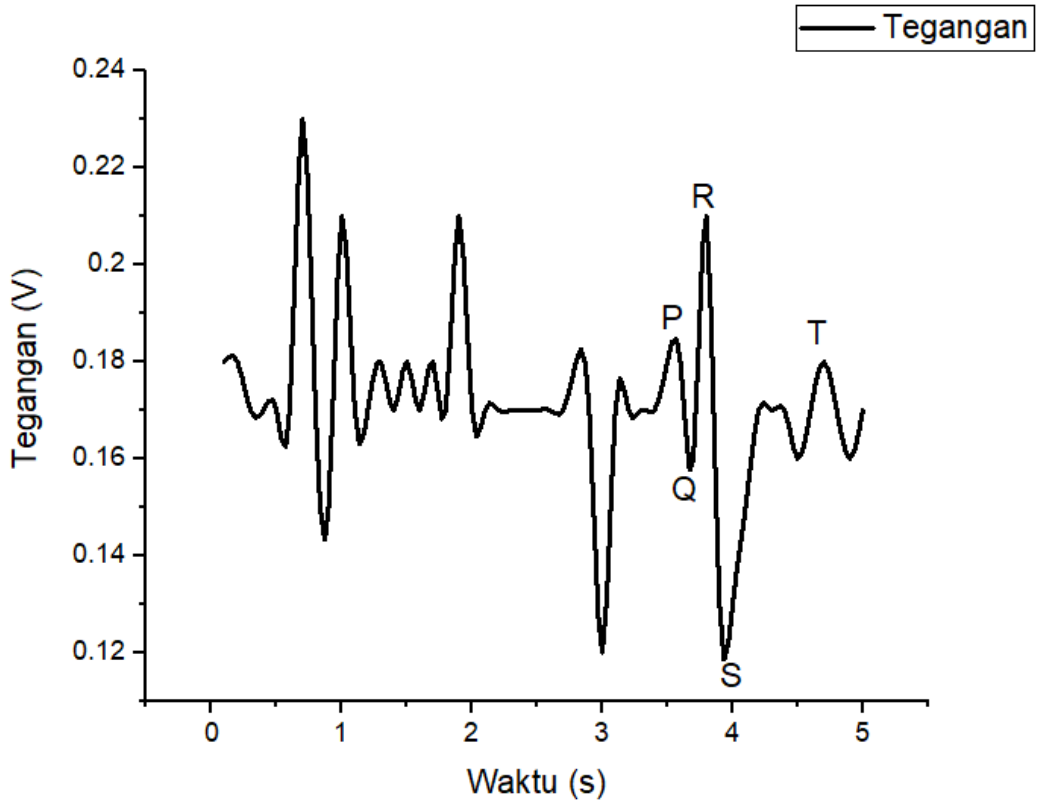
Setelah laser dioda SMI diuji sebagai sensor getaran untuk mendeteksi getaran objek (cermin) dari sinyal pulsa yang bersumber dari *Function Generator*, selanjutnya laser dioda SMI diuji sebagai detektor detak jantung manusia. Sinyal

detak jantung manusia pada penelitian ini berupa simulasi ECG buatan dari pemrograman pada Arduino Due. Hasil simulasi sinyal ECG buatan ditampilkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Sinyal *Electrocardiogram Generator* (ECG) 0,2 Hz

Gambar 4.7 menunjukkan Sinyal ECG buatan. Sinyal tersebut berada di rentang waktu 0 sekon hingga 5 sekon. Sinyal ini memiliki frekuensi sebesar 0,2 Hz. Sinyal ECG terbagi atas beberapa bagian, yaitu PQRSTU sebagaimana tertera pada Gambar 4.7. Bagian-bagian tersebut mencerminkan sinyal detak jantung pada manusia. Di samping itu, secara kuantitatif garis isoelektrik pada sinyal ini terletak pada tegangan 1,01 V. Di samping itu, sinyal ini memiliki titik puncak R sebesar 1,6 V dan titik S sebesar 0,53 V.



Gambar 4.8 Sinyal SMI dengan getaran sinyal ECG 0,2 Hz

Gambar 4.8 menunjukkan sinyal SMI yang terbentuk dari getaran simulasi ECG. Pola sinyal yang terbentuk dihasilkan oleh interferensi fabry-perot. Sinyal ini memiliki bagian-bagian yang sama, yaitu PQRST sebagaimana yang terdapat pada sinyal ECG buatan dengan frekuensi sebesar 0,2 Hz (Gambar 4.7). Selain memiliki bagian-bagian tersebut, sinyal ini menunjukkan bentuk sinyal lain berupa noise yang memungkinkan dipengaruhi oleh sinyal SMI sendiri. Garis isoelektrik pada sinyal ini terletak pada tegangan 0,17 V. Disamping itu, sinyal ini memiliki titik puncak R sebesar 0,21 V dan titik S sebesar 0.13 V.

Nilai garis isoelektrik, titik puncak R dan titik S pada Gambar 4.8 dapat dibandingkan dengan nilai garis isoelektrik, titik puncak R dan titik S pada Gambar 4.7. Rasio nilai garis isoelektrik, yaitu 1:6, rasio titik puncak R sebesar 1:8, dan rasio titik S diperoleh sebesar 1:4. Sinyal ini membuktikan bahwa SMI mampu mendeteksi sinyal detak jantung.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa pengujian maka diperoleh kesimpulan antara lain:

1. Arus input laser dioda yang tertera pada monitor *driver laser diode controller* LDC-202C dengan tegangan output fotodioda memiliki hubungan linier yang dimulai pada arus 32,07 mA dengan persamaan y = 0,84255x - 26,15574
2. Sinyal SMI tanpa input diidentifikasi memiliki tegangan tertinggi sebesar 0,24 V. Sedangkan, untuk tegangan terendah sebesar 0.14 V.
3. Sinyal SMI dengan getaran Sinyal Pulsa *Function Generator* 0,2 Hz mendeteksi tegangan tertinggi sebesar 0.21 V.
4. Sinyal SMI dari getaran simulasi ECG memiliki bagian-bagian yang sama dengan sinyal simulasi ECG, yaitu PQRST dengan garis isoelektrik yang terletak pada tegangan 0,17 V, titik puncak R sebesar 0,21 V dan titik S sebesar 0.13 V. Rasio nilai garis isoelektrik, yaitu 1:6, rasio titik puncak R sebesar 1:8, dan rasio titik S diperoleh sebesar 1:4. Sinyal ini membuktikan bahwa SMI mampu mendeteksi sinyal detak jantung.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, terdapat beberapa saran yang diperlukan untuk pengembangan SMI:

1. Bentuk pola interferensi fabry-perot secara visual perlu dipastikan lebih lanjut
2. Perlu dikembangkan lebih lanjut untuk instrumentasi alat sehingga dapat mencapai frekuensi sesuai dengan detak jantung manusia saat beraktivitas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

DATASHEET ALAT

Tabel 1. Datasheet Laser Driver

Kontrol Arus (Mode Arus Konstan)	
Rentang Kontrol	0 to ±200 mA
Tegangan Penyeuaian	>10
Resolusi	10
Akurasi	±100
Kebisingan tanpa riak (10 Hz hingga 10 MHz, rms, typ.)	<1.5
Riak (50/60Hz, rms, typ.)	<1.5
Transien (typ.)	<0.2
Drift, 24 jam (typ., 0-10Hz, pada suhu ruangan konstan)	<3
Koefisien Suhu	<50 ppm/°C
Batas Arus	
Rentang Pengaturan	0 to >200 mA
Resolusi	10
Akurasi	± 500
Kontrol Daya (Mode Daya Konstan)	
Rentang Kontrol Arus Foto	25 µA hingga 10
Resolusi Arus Foto	1
Akurasi Arus Foto	±10
***Input* Modulasi Analog**	
Resistansi Masukan	10 kW
Bandwidth 3dB sinyal kecil, Mode Arus Konstan	DC hingga 250
Koefisien Modulasi, Mode Arus Konstan	20 mA/V ±5%
Koefisien Modulasi, Mode Daya Konstan	1 mA/V ±5%
***Output* Moonitor Arus Laser**	
Resistansi Beban	>10
Koefisien Transmisi	50 V/A ±5%
Data Umum	
Konsumsi Daya Maksimum	25
Bobot	<3.1

Sumber: Thorlabs, 2018

Tabel 2. Nilai maksimum dari laser dioda

Spesifikasi	Simbol	Nilai
Daya Keluaran Optik	P_0	100 mW
Tegangan Balik Laser Dioda	$V_{r(LD)}$	2 V
Tegangan Balik Fotodioda	$V_{r(LD)}$	30 V
Suhu Penyimpanan	T_s	-40 hingga 85°C
Suhu Kasus Pengoperasian	T_c	-10 hingga 70ºC

Sumber: Thorlabs, 2011

Tabel 3. Karakteristik tipikal dan terukur

Spesifikasi	Simbol	Minimum	Tipikal	Maksimum
Panjang gelombang penguat*	λ_P	775 nm	785 nm	795 nm
Daya optik	P_0	-	90 mW	100 mW
Arus ambang*	I_{th}	-	35 mA	60 mA
Arus pengoperasian*	I_{op}	-	120 mA	160 mA
Tegangan pengoperasian*	V_{op}	1.5 V	2.0 V	2.3 V
Efisiensi kemiringan*	η	0.7 W/A	1.1 W/A	1.4 W/A
Astigmatisme	As	-	-	15 μm
Arus monitor	I_m	0.3 mA	0.5 mA	1.0 mA
Divergensi berkas*	$\theta //$	8º	9º	10º
	$\theta \perp$	15º	16º	20º

Sudut deviasi berkas*	$\theta //$	-2º	-	2º
	$\theta \perp$	-2º	-	2º
Akurasi titik emisi	ΔX	-80 μm	-	80 μm
	ΔY	-80 μm	-	80 μm
	ΔZ	-80 μm	-	80 μm

*$P_0 = 90\ mW$. Sumber: Thorlabs, 2011

LAMPIRAN 2

DOKUMENTASI PENGUKURAN

LAMPIRAN 3

KODING SIMULASI SINYAL ECG

```
int ekg1 [] = {1752,1752,1754,1758,1763,1769,1809,1895,2024,2165,
2305,2445,2586,2670,2660,2558,2417,2277,2137,1996,
1874,1798,1768,1765,1762,1759,1757,1754,1751,1716,
1554,1308,1309,1700,2440,3228,3939,4089,3602,2554,
1430,393,0,338,1105,1605,1750,1753,1756,1759,1762,
1765,1768,1770,1773,1776,1779,1782,1785,1787,1790,
1793,1805,1838,1893,1962,2030,2098,2167,2224,2238,
2206,2139,2071,2003,1934,1868,1819,1788,1773,1761,
1752,1747,1746,1746,1746,1746,1746,1746,1746,1746,
1746,1746,1746,1746,1746,1746,1746,1746,1746};
void setup()
{
 Serial.begin(115200);
 analogWriteResolution(12);
}
void loop()
{
 for(int k = 0;k<100;k++)
 {
      //analogWrite(DAC1,ekg1[k]);
  analogWrite(DAC1,0.5*ekg1[k]);
 // Serial.println(ekg1[k]);
  delay(50);//milisecond
 }
}
```

BIOGRAFI PENULIS

Moh. Ainul Yaqin dilahirkan di Kelurahan Jrebeng Kulon Kecamatan Kedopok Kota Probolinggo Provinsi Jawa Timur pada tanggal 03 Juli 1993. Penulis menempuh Pendidikan formal di RA dan MI Miftahul Ulum Jrebeng Kulon (1997-2005), MTsN Kota Probolinggo (2005-2008), SMA Unggulan Haf-Sa Zainul Hasan BPPT Genggong Pajarakan Probolinggo (2008-2011). Kemudian penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui Program Beasiswa Santri Berprestasi KEMENAG RI (2011-20015). Selama S1 penulis aktif menjadi asisten dosen Fisika Dasar, asisten laboratorium Fisika Dasar dan laboratorium Optoelektronika. Bidang minat penulis adalah Fisika Optoelektronika.

Setelah lulus program sarjana, penulis melakukan pengabdian di Pondok Pesantren Zainul Hasan Genggong sebagai pengurus harian Pondok Putra Haf-Sa, guru Matematika MTs Zainul Hasan dan guru Fisika SMA Unggulan Haf-Sa selama kurang lebih 3 tahun. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi S2 di jurusan Fisika Fakultas Ilmu Alam ITS Surabaya dengan bidang minat fisika medis dan biofisika. Penulis mendapatkan bantuan dana Penelitian Tim Pascasarjana DRPM KEMENRISTEK DIKTI pada tahun pertama dan dana Penelitian Tesis Magister pada tahun terahir. Luaran penelitian telah dipublikasikan pada Seminar Internasional PIT-FMB & SEACOMP 2019 dan diterbitkan di Journal of Physics: Conference Series dengan judul "*Vibration Sensor Based On Self-Mixing Interferometry To Identify Human Heart Rate"*. (mohainuly@gmail.com)