



TUGAS AKHIR-TE 141599

**IMPLEMENTASI PENGUAT *LOCK-IN* DIGITAL UNTUK
DETEKSI GAS**

**DIANA ROFIQOH
NRP 0711124000011**

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Fajar Budiman, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**IMPLEMENTATION OF DIGITAL *LOCK-IN AMPLIFIER*
FOR GAS DETECTION**

DIANA ROFIQOH
NRP 0711124000011

Supervisor
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Fajar Budiman, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “*Implementasi Penguat Lock-in Digital Untuk Deteksi Gas*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Juli 2018

Diana Rofiqoh
NRP 0711124000011

**IMPLEMENTASI PENGUAT *LOCK-IN* DIGITAL
UNTUK DETEKSI GAS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
NIP. 196904261994031003

Dosen Pembimbing II,



Fajar Budiman, ST., M.Sc.
NIP.198607072014041001



IMPLEMETASI PENGUAT *LOCK-IN* DIGITAL UNTUK DETEKSI GAS

Nama : Diana Rofiqoh
Pembimbing : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Fajar Budiman, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Pengukuran yang tidak akurat akibat sinyal data yang tertumpuk oleh derau merupakan salah satu permasalahan yang sering dijumpai di bidang elektronika. Terdapat beberapa cara untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya adalah dengan menggunakan *digital lock-in amplifier*. Pada tugas akhir ini dirancang *digital lock-in amplifier* untuk meningkatkan performa pengukuran dari sebuah sensor. Pemilihan *lock-in* amplifer dalam bentuk digital dikarenakan memiliki kelebihan biaya pembuatan yang lebih murah dan fisik yang lebih sederhana dibanding dengan *lock-in amplifier* analog. Semua proses pengolahan sinyal dilakukan pada komputer. Perangkat keras yang dibutuhkan adalah sensor gas MQ-7 yang sensitif terhadap konsentrasi gas karbon monoksida (CO) sebagai objek uji pada sistem. Mikrokontroler Arduino Mega digunakan untuk membangkitkan sinyal pembawa dan untuk komunikasi serial dengan komputer. Pada sistem penguat pengunci digital, sensor MQ-7 yang terganggu oleh derau akan dimodulasi tegangan suplainya dengan sinyal kotak 100 Hz dengan amplitudo 5 V. Pada pengujian dengan sensor MQ-7 sebagai objek uji dilakukan dua pengujian. Pengujian pertama dengan menambahkan 23 ppm gas CO. Dari pengujian didapatkan hasil SNR keluaran sensor sebelum diproses di penguat *lock-in* adalah -11,59 dB dan SNR keluaran sensor dengan penguat *lock-in* adalah 11,79 dB. Pada pengujian kedua diberikan gas buang kendaraan dengan konsentrasi CO sebesar 62 ppm, didapatkan SNR sebelum dilewatkan penguat *lock-in* sebesar -6,94 dB dan ketika dilewatkan penguat *lock-in* adalah 15,7 dB.

Kata Kunci : Arduino Mega, *Lock-in Amplifier*, Sensor MQ-7.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTATION OF DIGITAL LOCK-IN AMPLIFIER FOR GAS DETECTION

Name : Diana Rofiqoh
Supervisor : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Fajar Budiman, ST., MT.

ABSTRACT

Inaccurate measurements due to the data signal accumulated by noise are one of the most common problems in the field of electronics. There are several ways to solve the problem, one of them is by using digital lock-in amplifier. In this final project, a digital lock-in amplifier is designed to improve the measurement performance of a sensor. Selection of lock-in amplifier in digital form because it has the cost advantages of making cheaper in cost and physically simpler than the analog lock-in amplifier. All signal processing is done on the computer. The required hardware is the MQ-7 gas sensor which is sensitive to the concentration of carbon monoxide (CO) gas as the test object in the system. Arduino Mega microcontroller is used to generate carrier signal and for serial communication with computer. In a digital locking amplifier system, the distorted MQ-7 sensor by noise will be modulated its supply voltage with a 100 Hz box signal with an amplitude of 5 V. In the test with the MQ-7 sensor as the test object two tests are performed. First test by adding 23 ppm CO gas. From the test results obtained SNR sensor output before being processed in the lock-in amplifier is -11.59 dB and SNR sensor output with a lock-in amplifier is 11.79 dB. In the second test the vehicle exhaust gas with CO concentration of 62 ppm, was obtained SNR before passed the lock-in amplifier of -6.94 dB and when passed the lock-in amplifier is 15.7 dB.

Keyword : Arduino Mega, *Lock-in Amplifier*, Sensor MQ-7, Serial.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya karena tugas akhir ini dapat berjalan lancar dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Fajar Budiman, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing, yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis, juga menyediakan fasilitas untuk menunjang pengerjaan penelitian ini.
2. Dr.,Ir.Hendra Kusuma M.Eng.Sc, Dr.Eng,Ir Totok Mujiono M.IKom, Muhammad Attamimi B.Eng, M.Eng, PhD. selaku dosen penguji dalam memberikan perbaikan dan masukan untuk penulis untuk penyempurnaan penelitian ini.
3. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng selaku Kepala Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Orang tua penulis, Bapak Imamulhaq dan Ibu Sunarmi, yang selalu menjadi penyemangat bagi penulis dalam mengerjakan penelitian ini.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari semua pihak sangat membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| ABSTRAK..... | ix |
| ABSTRACT..... | xi |
| KATA PENGANTAR | xiii |
| DAFTAR ISI..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL..... | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Metodologi..... | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| 1.7 Relevansi..... | 4 |
| BAB II TEORI PENUNJANG..... | 5 |
| 2.1 Sensor Gas | 5 |
| 2.1.1 Sensor Gas MQ-7 (Sensor Gas CO) | 8 |
| 2.2 Penguat <i>Lock-in</i> | 9 |
| 2.3 Mixer..... | 10 |
| 2.4 Filter Digital..... | 12 |
| 2.5 Arduino | 14 |
| 2.6 Delphi..... | 15 |
| BAB III PERANCANGAN SISTEM | 17 |
| 3.1 Diagram Blok Sistem | 17 |
| 3.2 Perancangan Perangkat Keras | 18 |
| 3.2.1 Rangkaian Elektrik Arduino | 19 |
| 3.2.2 Rangkaian Pembangkit Sinyal Kotak | 19 |
| 3.3 Perancangan Perangkat Lunak | 20 |
| 3.3.1 Perangkat Lunak Pada Arduino | 20 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 3.3.2 | Perangkat Lunak Delphi | 22 |
| 3.3.2.1 | Pembacaan Sinyal Informasi Serial | 22 |
| 3.3.2.2 | <i>Mixer</i> | 24 |
| 3.3.2.3 | Filter digital | 25 |
| BAB IV | PENGUJIAN DAN ANALISIS | 27 |
| 4.1 | Pengujian Sistem DLIA | 27 |
| 4.1.1 | Pengujian Pada Matlab | 27 |
| 4.1.1.1 | Pengujian <i>Mixer</i> pada Matlab | 27 |
| 4.1.1.2 | Pengujian Filter Digital pada Matlab | 29 |
| 4.1.1.3 | Pengujian Sistem DLIA pada Matlab | 32 |
| 4.1.2 | Pengujian Pada Delphi | 35 |
| 4.1.2.1 | Pengujian Pembangkit Sinyal Input dan Referensi | 35 |
| 4.1.2.2 | Pengujian Proses <i>Mixer</i> pada Delphi | 37 |
| 4.1.2.3 | Pengujian Sistem DLIA pada Delphi | 38 |
| 4.1.3 | Pengujian Sistem DLIA Real Time | 39 |
| 4.1.3.1 | Pengujian Sistem DLIA Pada Sinyal Keluaran Osilator | 39 |
| 4.1.3.2 | Pengujian Sistem DLIA Pada Sinyal Keluaran MQ-7 | 45 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 51 |
| 5.1 | Kesimpulan | 51 |
| 5.2 | Saran | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 53 |
| LAMPIRAN | | 55 |
| BIODATA PENULIS | | 61 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Komponen penyusun sensor gas semikonduktor. | 5 |
| Gambar 2.2 | Model penghalang keadaan tanpa gas yang dideteksi..... | 6 |
| Gambar 2.3 | Model penghalang pada keadaan jika terdeteksi gas | 6 |
| Gambar 2.4 | Rangkaian dasar gas sensor | 7 |
| Gambar 2.5 | Struktur dan konfigurasi sensor MQ-7. | 8 |
| Gambar 2.6 | Kurva sensitifitas sensor MQ-7. | 8 |
| Gambar 2.7 | Diagram blok dasar penguat pengunci..... | 9 |
| Gambar 2.8 | Simbol <i>mixer</i> | 10 |
| Gambar 2.9 | Sinyal input dan output <i>mixer</i> | 11 |
| Gambar 2.10 | Respon frekuensi sinyal input dan output <i>mixer</i> | 11 |
| Gambar 2.11 | Diagram blok filter digital tipe IIR | 13 |
| Gambar 2.12 | Papan Arduino Mega2560 | 14 |
| Gambar 2.13 | Pin I/O pada Arduino Mega..... | 15 |
| Gambar 2.14 | Tampilan IDE Delphi..... | 16 |
| Gambar 3.1 | Diagram blok sistem penguat <i>lock-in</i> | 17 |
| Gambar 3.2 | Rangkaian Sensor Gas MQ-7..... | 18 |
| Gambar 3.3 | Rangkaian elektrik Arduino..... | 19 |
| Gambar 3.4 | Rangkaian osilator sinyal kotak LM555 | 20 |
| Gambar 3.5 | Flowchart program pembacaan output sensor | 21 |
| Gambar 3.6 | Flowchart program penguat <i>lock-in</i> digital pada Delphi.. | 23 |
| Gambar 3.7 | Desain Tampilan DLIA | 24 |
| Gambar 4.1 | FFT keluaran <i>mixer</i> dua sinusoidal..... | 28 |
| Gambar 4.2 | FFT keluaran <i>mixer</i> dua sinyal kotak 1..... | 28 |
| Gambar 4.3 | FFT keluaran <i>mixer</i> dua sinyal kotak 2..... | 29 |
| Gambar 4.4 | Sinyal input tanpa derau | 30 |
| Gambar 4.5 | Sinyal input dengan derau..... | 31 |
| Gambar 4.6 | Hasil filter lolos bawah dengan <i>cut-off</i> 1Hz..... | 31 |
| Gambar 4.7 | Pengujian FFT pada hasil filter..... | 32 |
| Gambar 4.8 | Output <i>mixer</i> antara sinyal referensi dan sinyal informasi berderau | 33 |
| Gambar 4.9 | Plot FFT dari output <i>mixer</i> | 34 |
| Gambar 4.10 | Sinyal keluaran sistem DLIA..... | 34 |
| Gambar 4.11 | FFT dari sinyal keluaran DLIA..... | 35 |
| Gambar 4.12 | Sinyal Sensor dengan derau | 35 |
| Gambar 4.13 | Sinyal pembawa dan atau referensi..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.14 Sinyal sensor dengan derau yang telah dimodulasi oleh sinyal pembawa..... | 37 |
| Gambar 4.15 Sinyal output <i>mixer</i> | 38 |
| Gambar 4.16 Sinyal keluaran sistem DLIA | 39 |
| Gambar 4.17 Sinyal keluaran pembangkit sinyal kotak | 39 |
| Gambar 4.18 Sinyal referensi 900Hz | 40 |
| Gambar 4.19 Sinyal 1 Hz yang telah dimodulasi dengan sinyal 900 Hz | 40 |
| Gambar 4.20 Keluaran pembagi tegangan | 41 |
| Gambar 4.21 Sinyal informasi dan sinyal referensi | 42 |
| Gambar 4.22 Keluaran DLIA saat frekuensi <i>cut-off</i> 50Hz..... | 42 |
| Gambar 4.23 Keluaran DLIA saat frekuensi <i>cut-off</i> 100 Hz..... | 43 |
| Gambar 4.24 Keluaran DLIA saat frekuensi <i>cut-off</i> 200hz..... | 43 |
| Gambar 4.25 Keluaran DLIA saat frekuensi <i>cut-off</i> 500 hz..... | 44 |
| Gambar 4.26 Keluaran DLIA saat frekuensi <i>cut-off</i> 900 hz..... | 45 |
| Gambar 4.27 Keluaran sensor MQ-7 | 45 |
| Gambar 4.28 Keluaran sensor pada delphi..... | 46 |
| Gambar 4.29 Keluaran MQ-7 ketika ditambah gas buang kendaraan. | 47 |
| Gambar 4.30 Keluaran sensor gas ketika difilter | 47 |
| Gambar 4.31 Keluaran Penguat Lock-in..... | 48 |
| Gambar 4.32 Keluaran sensor gas saat diberikan gas buang..... | 48 |
| Gambar 4.33 Keluaran sensor gas yang dilewatkan filter | 49 |
| Gambar 4.34 Keluaran Penguat <i>Lock-in</i> | 49 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 Tabel perbandingan SNR untuk setiap percobaan..... | 50 |
|---|----|

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa teori dasar yang menjadi acuan untuk merumuskan dan menyelesaikan masalah yang akan dibahas. Pada bagian awal diberikan tinjauan pustaka yang menggambarkan landasan teori secara umum yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Pada bagian selanjutnya membahas tentang teori-teori pendukung.

1.1 Latar Belakang

Pemulihan sinyal secara optimal dari pengaruh derau merupakan masalah yang sering dijumpai dibidang elektronika dan masih menjadi salah satu focus dari beberapa penelitian. Masalah tersebut juga ditemukan dalam proses pengukuran diberbagai bidang seperti industri, kesehatan, militer dan sebagainya. Hasil pengukuran sensor mengalami penurunan diakibatkan oleh derau. Secara teori, sinyal keluaran yang berasal dari transduser resistif memiliki derau yang sulit untuk dihilangkan. Derau yang dapat diminimalisir hampir selalu terdapat pada keluaran transduser bertentangan dengan teori bahwa derau akan muncul pada level tertentu pada sebuah sinyal transduser. Dengan demikian, menguatkan sinyal yang tercampur derau tidak membuat sinyal asli terbebas dari derau. Pengukuran sinyal elektrik yang memiliki amplitude rendah yang disebabkan oleh suplai tegangan yang rendah, merupakan hal yang sulit dilakukan. Hal ini disebabkan oleh interferensi derau yang tinggi. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengembalikan sinyal yang diinginkan adalah dengan *phase sensitive (lock-in) detection* [1].

Perancangan penguat *lock-in* secara digital dilakukan karena respon filter yang didapatkan pada penguat *lock-in* digital lebih mendekati ideal dibandingkan dengan menggunakan penguat *lock-in* analog. Pada penguat *lock-in* analog, untuk mendapatkan respon filter yang ideal membutuhkan banyak sekali rangkaian analog karena semakin besar orde filter, semakin banyak pula rangkaian analognya. Berbeda dengan *lock-in amplifier* yang memiliki fisik yang jauh lebih sederhana karena semua proses dilakukan secara digital di dalam PC (personal computer). Selain itu pada penguat *lock-in* digital sinyal keluaran lebih stabil atau tidak memiliki arus *drift* dan atau *dc couple* seperti pada analog serta memiliki akurasi

sudut yang lebih akurat dibandingkan dengan rangkaian penguat *lock-in* analog. Selain itu penguat *lock-in* lebih unggul dibandingkan dengan filter biasa. Pada filter biasa sinyal yang memiliki derau akan dikuatkan terlebih dahulu sehingga derau juga akan ikut dikuatkan. Kemudian barulah masuk pada proses filtering untuk meminimalisir derau. Sedangkan pada penguat *lock-in* sinyal yang memiliki derau dimasukkan ke *mixer* yang menghasilkan sinyal pada frekuensi tertentu saja. Sinyal keluaran *mixer* memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal osilator dan sinyal yang memiliki frekuensi yang berbeda tidak dikuatkan. Sehingga ketika masuk pada *low pass filter*, sinyal yang mempunyai frekuensi selain frekuensi osilator akan di redam. Sehingga perbandingan *signal to noise ratio* akan lebih lebih besar dari pada menggunakan filter biasa [2].

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Apakah jenis sensor yang akan digunakan dalam percobaan?
2. Bagaimana cara membuat penguat *lock-in* digital?
3. Bagaimana cara menguji sistem yang telah dibuat?

1.3 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini yaitu:

1. Menggunakan sensor MQ 7 sebagai pendeteksi gas CO
2. Mampu merancang serta membuat penguat *lock-in* digital
3. Melakukan Analisa pada sinyal keluaran penguat *lock-in* digital

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor yang digunakan adalah sensor gas MQ-7 (sensor gas CO)
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega
3. Bahasa pemograman yang digunakan adalah bahasa pascal dengan menggunakan *compiler* Delphi
4. Digunakan sinyal modulasi dan referensi dengan frekuensi kurang dari sama dengan 900 Hz dan 100 Hz

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literature dilakukan untuk mencari informasi yang dibutuhkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Studi literature yang dilakukan berada pada lingkup cara kerja *Lock-in Amplifier* digital , mikrokontroler yang dipakai khususnya Arduino, bahasa pemrograman pascal dan *compiler* Delphi maupun sistem secara keseluruhan. Dengan dilakukan studi literatur diperoleh teori penunjang baik dalam ilmu dasar, analisis maupun penelitian yang dapat memberikan landasan kokoh dalam pengerjaan tugas akhir. Studi literatur dapat bersumber dari buku, jurnal, laporan, internet dan lain-lain. Dengan adanya studi literatur, penelitian dapat dilakukan berdasarkan teori-teori yang telah ada sebelumnya.

2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada tugas akhir ini meliputi semua proses pemrograman yang terdapat pada tugas akhir. Perancangan tersebut meliputi proses konversi analog ke digital pada keluaran sensor MQ-7 oleh Arduino, proses pengiriman data sensor ke komputer secara serial menggunakan *port com*, serta proses pengolahan sinyal data secara digital pada delphi. Pada pemrosesan sinyal ini digunakan *lock-in amplifier* digital yang didalamnya terdapat *mixer* dan tapis lolos rendah.

3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan posisi perangkat keras, sumber daya yang digunakan pada sistem, komponen yang digunakan untuk konversi digital ke analog, pembangkit sinyal kotak yang digunakan untuk objek uji coba, serta penguatan sinyal data.

4. Pengujian Sistem

Pengujian alat meliputi pengujian terhadap hasil perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Hal-hal yang dapat dilakukan pada proses pengujian alat ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sinyal modulasi yang dihasilkan oleh Arduino
2. Pengujian sensor MQ 7 sebagai masukan dari penguat *lock-in* digital
3. Pengujian visualisasi dari sinyal masukan maupun keluaran

5. Analisa

Pada tahap ini dilakukan analisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem baik pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Apabila pada hasil pengujian terdapat data yang tidak sesuai dengan keluaran sistem yang diharapkan, maka akan dilakukan evaluasi dan perancangan kembali pada sistem tersebut. Kemudian, apabila sistem

telah memenuhi hasil yang diharapkan, dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

6. Penulisan Tugas Akhir

Penulisan laporan tugas akhir adalah tahapan terakhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir berisi seluruh hal yang berkaitan dengan tugas akhir yang telah dikerjakan yaitu meliputi pendahuluan, teori dasar, perancangan sistem, pengujian alat, dan kesimpulan dan saran.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab, yaitu pendahuluan, teori penunjang, perancangan sistem, pengujian dan analisis, serta penutup.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang dan literature yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Bagian ini memaparkan mengenai beberapa teori penunjang dan beberapa literatur yang berguna bagi pembuatan Tugas Akhir ini.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan sistem baik perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software) untuk sistem pelacakan dan penjejakan secara otomatis.

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM

Pada bab ini akan menjelaskan hasil uji coba sistem beserta analisisnya.

BAB V PENUTUP

Bagian ini merupakan bagian akhir yang berisikan kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan Tugas Akhir ini, serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7 Relevansi

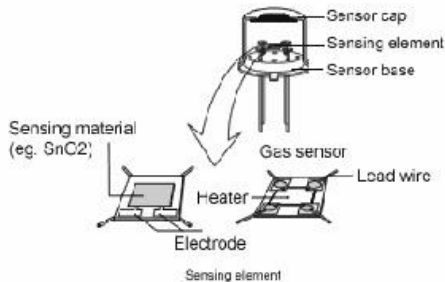
Hasil yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah mampu meningkatkan kualitas data sinyal dengan meningkatnya signal to noise rasio. Sehingga sinyal data keluaran sensor dapat di baca dengan lebih akurat.

BAB II TEORI PENUNJANG

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa teori dasar yang menjadi acuan untuk merumuskan dan menyelesaikan masalah yang akan dibahas. Pada bagian awal diberikan tinjauan pustaka yang menggambarkan landasan teori secara umum yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Pada bagian selanjutnya membahas tentang teori-teori pendukung.

2.1 Sensor Gas

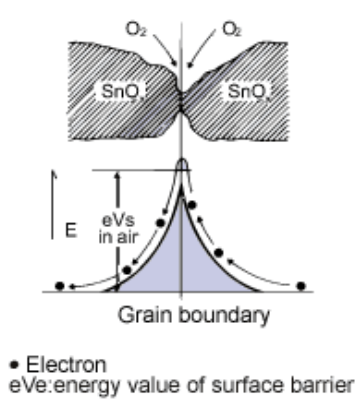
Sensor gas terdiri dari elemen sensor, dasar sensor, dan tudung sensor. Elemen sensor sendiri terdiri atas bahan sensor dan bahan pemanas untuk memanaskan elemen. Elemen-elemen sensor ditunjukkan pada gambar 2.1. Elemen sensor menggunakan bahan-bahan, seperti timah oksida SnO_2 , wolfram oksida WO_3 , dan lain-lain, tergantung pada gas yang hendak dideteksi [3].



Gambar 2.1 Komponen penyusun sensor gas semikonduktor [3].

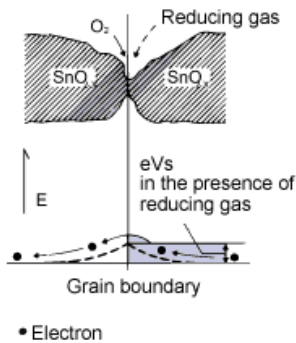
Bila suatu kristal oksida logam seperti SnO_2 dipanaskan pada suhu tinggi tertentu diudara, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negative. Elektron-elektron donor pada permukaan kristal ditransfer ke oksigen teradsorpsi sehingga menghasilkan suatu lapisan ruang bermuatan positif. Akibatnya potensial permukaan terbentuk, yang akan menghambat aliran electron. Didalam sensor, arus listrik mengalir melalui bagian-bagian penghubung (batas butir) kristal-kristal mikro SnO_2 . Pada batas-batas antar butir, oksigen yang teradsorpsi membentuk penghalang potensial yang menghambat muatan bebas bergerak. Tahanan

listrik sensor disebabkan oleh penghalang potensial ini. Model penghalang pada keadaan tanpa diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model penghalang keadaan tanpa gas yang dideteksi [4].

Dalam lingkungan adanya gas pereduksi, kerapatan oksigen teradsorpsi bermuatan negatif pada permukaan semikonduktor sensor menjadi berkurang, sehingga ketinggian penghalang pada batas antar butir berkurang. Ketinggian penghalang yang berkurang menyebabkan berkurangnya tahanan sensor butir dalam lingkungan gas. Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari model penghalang pada keadaan terdeteksi gas pereduksi [4].



Gambar 2.3 Model penghalang pada keadaan jika terdeteksi gas [4].

Skema rangkaian sensor gas dapat dijelaskan menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan seperti pada Gambar 2.4. Hambatan total sensor (R_S) dan hambatan beban (R_L) tersusun secara seri. Apabila rangkaian diberi tegangan V_C maka ruang pemanas pada sensor akan aktif dan bereaksi dengan gas target sehingga akan mengakibatkan nilai R_H (hambatan pemanas) berkurang. Berkurangnya nilai R_H akan mengakibatkan nilai R_S juga berkurang secara keseluruhan, yang selanjutnya akan mengakibatkan nilai V_L bertambah. Rangkaian dasar dari sensor gas ditunjukkan pada gambar 2.4.

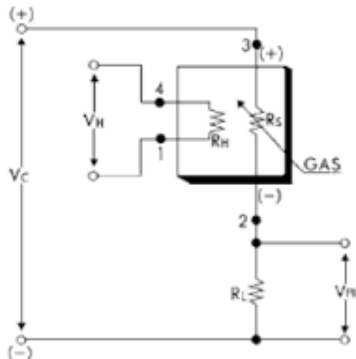
Selanjutnya nilai keluaran V_L akan dibaca sebagai nilai tegangan keluaran sensor yang bergantung pada besarnya perubahan pada R_S dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1:

$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_S} \right) V_C \quad (2.1)$$

Hubungan antara hambatan sensor dan konsentrasi gas ditunjukkan oleh persamaan 2.2 berikut:

$$R = A [C]^{-\alpha} \quad (2.1)$$

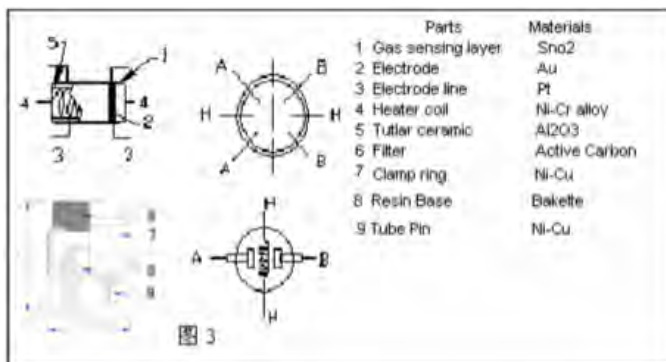
Dimana R adalah tahanan sensor logam-oksida, C adalah konsentrasi gas, A adalah respon koefisien untuk beberapa gas, dan α adalah sensitivitas. A dan α tergantung pada jenis bahan sensor dan sensor suhu [6].



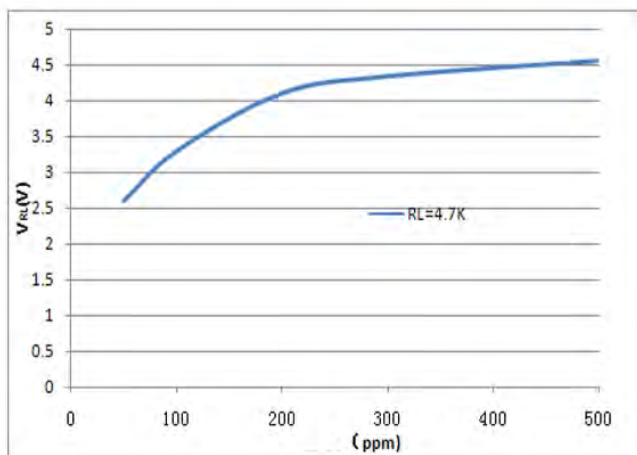
Gambar 2.4 Rangkaian dasar gas sensor [5].

2.1.1 Sensor Gas MQ-7 (Sensor Gas CO)

Struktur dan konfigurasi dari sensor MQ-7 ditunjukkan pada gambar 2.5. Material penyusun dari sensor gas MQ-7 adalah senyawa SnO_2 . Sensor ini mendeteksi gas dengan metode siklus suhu tinggi dan rendah serta mendeteksi gas CO pada (ketika heater diberikan suplai lebih dari 1.5 V). konduktivitas sensor semakin meningkat seiring bertambahnya konsentrasi gas. Ketika heater diberikan suplai 5.0V maka sensor akan membersihkan gas-gas lain yang terdeteksi saat suhu rendah [7].



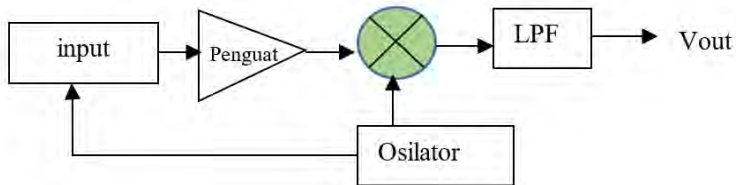
Gambar 2.5 Struktur dan konfigurasi sensor MQ-7 [7].



Gambar 2.6 Kurva sensitifitas sensor MQ-7 [7].

2.2 Penguat *Lock-in*

Penguat *lock-in* merupakan penguat yang dapat mendeteksi dan mengukur sinyal yang sangat kecil hingga kisaran nanovolt. Pengukuran yang akurat dapat dicapai meskipun sinyal yang diukur memiliki tegangan yang sangat kecil dan terganggu oleh derau yang lebih besar dari sinyal tersebut. Penguat *lock-in* menggunakan teknik yang dikenal dengan *phase sensitive detection* (PSD). PSD secara umum merupakan teknik yang dapat melakukan sinkronisasi antara sinyal informasi dan sinyal referensi pada frekuensi dan fasa tertentu. Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan sinyal masukan menuju komparator agar menghasilkan gelombang kotak. Gelombang kotak tersebut digunakan untuk mengatur switch. Dengan demikian sinyal data dan sinyal derau dapat dipisah secara optimal. Pada tugas akhir ini, teknik yang digunakan untuk memisahkan sinyal informasi dan sinyal derau adalah menggunakan demodulasi. Sinyal informasi yang memiliki frekuensi sama dengan sinyal referensi, akan dikalikan dengan sinyal referensi [8]. Diagram blok penguat *lock-in* ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7 Diagram blok dasar penguat pengunci [9]

Pada penguat *lock-in*, input disuplai dengan sinyal referensi yang merupakan keluaran dari osilator. Kemudian penguat *lock-in* hanya merespon pada sinyal yang memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal referensi [10]. Apabila dimisalkan sinyal keluaran dari input adalah sinyal sinusoidal maka pada keluaran penguat berlaku persamaan 2.3.

$$V(t) = V \sin(\omega t + \phi) \quad (2.3)$$

Sinyal referensi sekaligus sinyal modulasi yang dihasilkan oleh osilator beresilasi pada frekuensi tinggi serta memiliki amplitudo yang tetap. Persamaan 2.4 dapat merepresentasikan sinyal tersebut.

$$V_R(t) = \sin(\Omega t) \quad (2.4)$$

Pada proses *mixer* atau pengali, sinyal input dikalikan dengan sinyal referensi. Output dari pengali menghasilkan dua frekuensi yang didapat dari penjumlahan dan selisih frekuensi kedua masukan pengali seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.5 berikut ini.

$$V(t)V_R(t) = \frac{V}{2} \{ \cos[(\omega - \Omega)t + \phi] - \cos[(\omega + \Omega)t + \phi] \}. \quad (2.5)$$

Jika $\Omega = \omega$ maka didapatkan output berupa sinyal sinus yang memiliki *offset* DC. Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.6.

$$V(t)V_R(t) = \frac{V}{2} \{ \cos[\phi] - \cos[2\Omega t + \phi] \} \quad \omega = \Omega \quad (2.6)$$

Jika sinyal tersebut diberikan LPF maka akan menjadi persamaan 2.7.

$$V_{out} = V \cos(\phi). \quad (2.7)$$

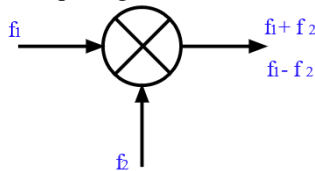
Jika sinyal terganggu dengan noise, maka keluaran dari pengali ditunjukkan pada persamaan 2.8 berikut:

$$V(t)V_R(t) = \frac{1}{2}V(t)\cos\phi + \frac{1}{2}V(t)\cos(2\omega t + \phi) + n(t)\cos(\omega t + \phi) \quad (2.8)$$

Jika pada persamaan tersebut diterapkan filter lolos bawah dengan frekuensi *cut-off* lebih kecil dari $\omega/2$ maka sinyal komponen derau akan hilang [11].

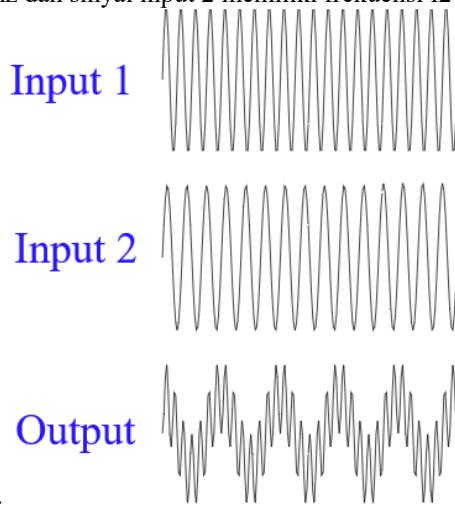
2.3 Mixer

Mixer adalah sebuah sistem nonlinear yang menghasilkan frekuensi baru dari dua buah sinyal masukan. Dua sinyal input yang memiliki frekuensi f_1 dan f_2 akan menghasilkan sinyal-sinyal baru dengan frekuensi f_1+f_2 dan f_1-f_2 . Aplikasi *mixer* dijumpai ketika akan menggeser frekuensi sinyal ke frekuensi yang lain. Prinsip proses ini adalah memindah sinyal yang diterima menuju frekuensi antara [12]. Simbol *mixer* ditunjukkan pada gambar 2.8.



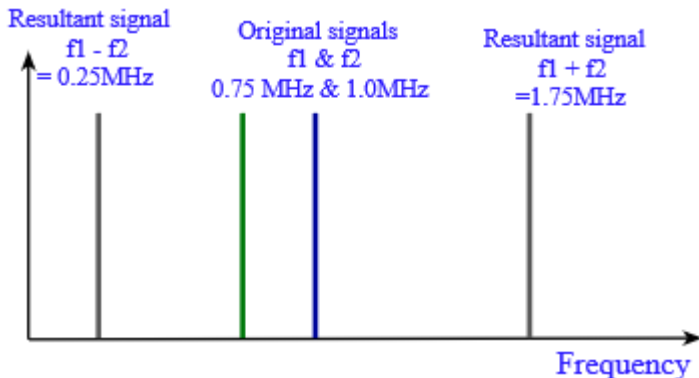
Gambar 2.8 Simbol *mixer* [12]

Pada gambar 2.9 diilustrasikan bahwa sinyal input 1 memiliki frekuensi f_1 sebesar 6MHz dan sinyal input 2 memiliki frekuensi f_2 sebesar 5MHz



Gambar 2.9 Sinyal input dan output *mixer*

Maka respon frekuensi dari sinyal input dan output dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Respon frekuensi sinyal input dan output *mixer*[13]

Jika dua buah sinyal masukan direpresentasikan seperti pada persamaan 2.9 dan persamaan 2.10, maka jika kedua sinyal tersebut dikalikan menghasilkan keluaran dengan persamaan 2.11. Pada persamaan

tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi dari output *mixer* merupakan hasil dari penjumlahan dan selisih frekuensi sinyal masukan *mixer* [13].

$$V1 = A \sin(2\pi f_1 t) \quad (2.9)$$

$$V2 = B \sin(2\pi f_2 t) \quad (2.10)$$

$$V1 \times V2 = \frac{AB}{2} ((\cos(2\pi\{f_2 - f_1\}t)) - (\cos(2\pi\{f_2 + f_1\}t))) \quad (2.11)$$

Persamaan tersebut didapatkan dari menggunakan ekspresi trigonometri dimana

$$\sin(A) \sin(B) = \frac{1}{2} ((\cos(A - B)) - (\cos(A + B))) \quad (2.12)$$

2.4 Filter Digital

Dalam pemrosesan sinyal, fungsi filter adalah untuk menghilangkan bagian-bagian sinyal yang tidak diinginkan, seperti derau acak, atau untuk mengekstrak bagian-bagian sinyal yang berguna, seperti komponen-komponen yang berada dalam rentang frekuensi tertentu. Secara umum terdapat dua jenis filter, yaitu filter digital dan filter analog.

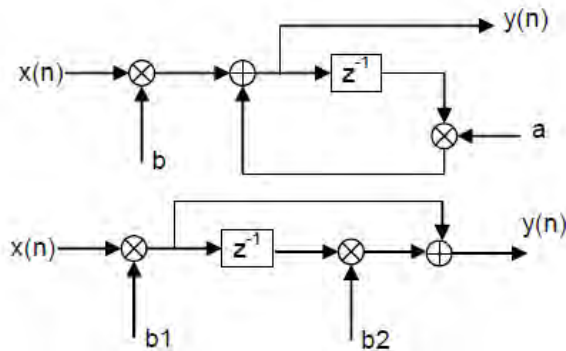
Filter digital pada umumnya sama dengan filter analog, hanya saja sinyal input dan sinyal outputnya adalah sinyal digital. Oleh karena itu, komponen-komponen filter digital tidak terdiri dari R, L, C atau gabungannya, tetapi terdiri dari penjumlah (*adder*), pengali (*multiplier*), dan elemen tunda (*delay element*) atau gabungannya.

Beberapa keunggulan dari filter digital adalah:

- Daerah kerja yang lebar (dapat untuk frekuensi rendah maupun tinggi) dengan mengatur frekuensi pencuplikan. Bahkan dapat digunakan pada daerah *Very Low Frequency*, dimana filter analog sulit diterapkan pada daerah frekuensi ini, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi-aplikasi elektronika biomedis.
- Dapat memberikan respon fasa yang benar-benar linier.
- Karena implementasi filter digital dapat dengan menggunakan *programmable processor*, maka respon frekuensi dapat diubah secara otomatis.
- Beberapa sinyal masukan (beberapa channel) dapat difilter dengan satu filter digital tanpa penggandaan hardware untuk masing-masing channel.

- Data sinyal masukan dan keluaran dapat disimpan untuk keperluan selanjutnya [14].

Secara garis besar, ada dua macam filter digital, yaitu filter IIR (*Infinite Impulse Response*) dan filter FIR (*Finite Impulse Response*). Filter FIR adalah sistem yang murni umpan maju (*feed-forward*), stabil, strukturnya sederhana dan fasenya linier. Sedangkan filter IIR dapat berupa sistem umpan maju atau umpan balik (*feedback*). Tidak seperti FIR, filter IIR mempunyai fase yang tidak linier dan mempunyai potensi untuk tidak stabil. Kelebihan IIR adalah pelemahan (*attenuation*) yang tinggi untuk orde yang lebih rendah, bila dibanding dengan FIR.



Gambar 2.11 Diagram blok filter digital tipe IIR [15].

Pada Filter FIR output sekarang hanya dipengaruhi oleh input sekarang dan input sebelum, hal tersebut dapat digambarkan dengan contoh berikut:

$$y(n) = \sum_{m=0}^M b_m x(n - m) \quad (2.13)$$

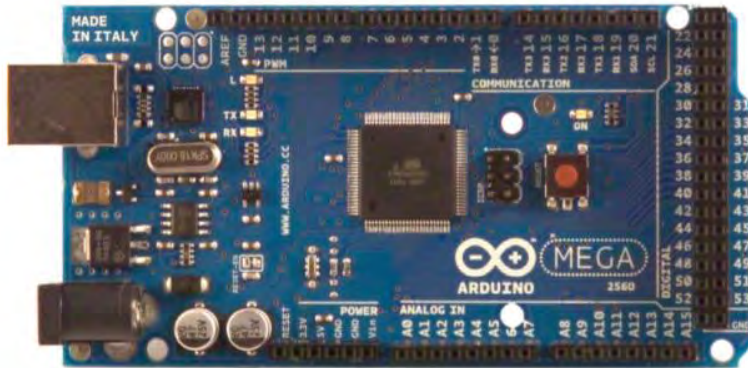
Dimana variabel y merupakan output, x adalah input dan b adalah koefisien filter.

Sedangkan untuk filter IIR, nilai output yang sekarang dipengaruhi oleh input sekarang dan input sebelumnya serta output sebelumnya sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan

$$y(n) = - \sum_{k=1}^N a_k y(n - k) + \sum_{k=1}^M b_k x(n - k) \quad (2.14)$$

Dimana y adalah output dari filter, x adalah input, a dan b adalah koefisien filter, n adalah jumlah sampel [15].

2.5 Arduino



Gambar 2.12 Papan Arduino Mega2560 [16]

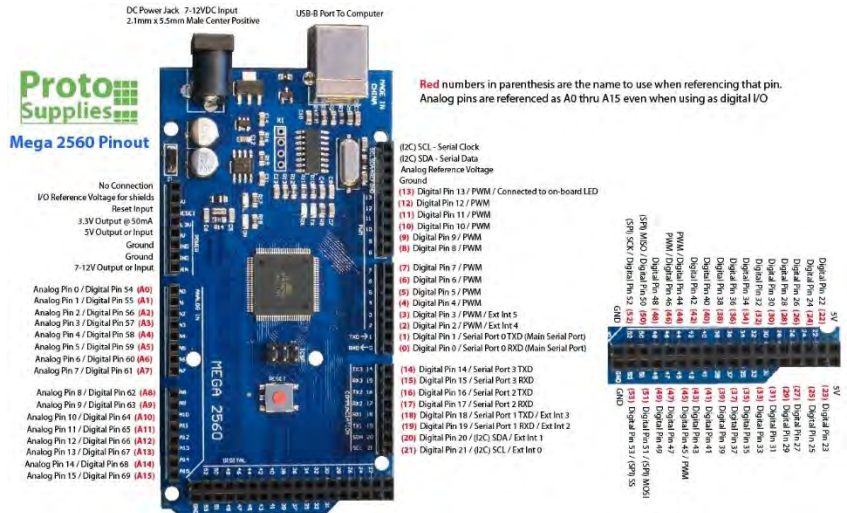
Arduino adalah merupakan sebuah *board minimum system* mikrokontroler yang bersifat *open source*. Arduino Mega 2560 merupakan salah satu jenis arduino yang menggunakan ATmega2560. Arduino Mega memiliki 54 pin input / output digital, 14 pin yang dapat digunakan sebagai output PWM, 16 input analog, 4 UART (*hardware serial*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, *header ICSP*, dan tombol *reset*.

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Daya eksternal (non-USB) dapat berasal dari adaptor AC ke DC atau baterai. Apabila menggunakan baterai, pin Gnd dan Vin dari konektor daya disambungkan dengan kutup positif dan negatif baterai.

Arduino Mega ini dapat beroperasi pada tegangan eksternal 6 hingga 20 Volt. Jika menggunakan tegangan suplai lebih dari 12 V, regulator tegangan dapat menjadi terlalu panas dan merusak papan arduino.

Dari segi memori, ATmega2560 memiliki 256 KB memori flash untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM. Arduino Mega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega2560 menyediakan empat UART

perangkat keras untuk komunikasi serial TTL (5V). Pada perangkat lunak Arduino terdapat *serial monitor* yang memungkinkan untuk melihat data yang dikirim. Led RX dan TX pada papan arduino akan berkedip ketika data sedang dikirim dan diterima oleh chip ATmega2560. Selain itu ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI [16].

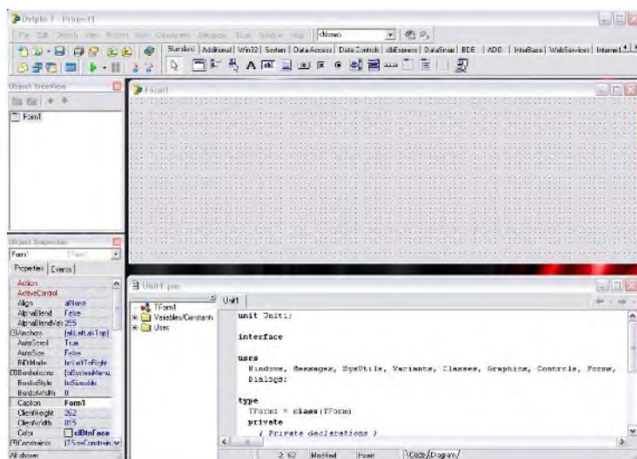


Gambar 2.13 Pin I/O pada Arduino Mega [16]

2.6 Delphi

Delphi adalah suatu bahasa pemrograman (*development language*) yang digunakan untuk merancang suatu aplikasi program. Delphi termasuk dalam pemrograman bahasa tingkat tinggi (*high level language*). Maksud dari bahasa tingkat tinggi yaitu perintah-perintah programnya menggunakan bahasa yang mudah dipahami oleh manusia. Bahasa pemrograman Delphi disebut bahasa prosedural artinya mengikuti urutan tertentu. Dalam membuat aplikasi perintah-perintah, Delphi menggunakan lingkungan pemrograman visual. Delphi merupakan generasi penerus dari Turbo Pascal. Pemrograman Delphi dirancang untuk beroperasi dibawah sistem operasi Windows. Program ini mempunyai beberapa keunggulan, yaitu produktivitas, kualitas, pengembangan perangkat lunak, kecepatan kompilasi, pola desain yang

menarik serta diperkuat dengan bahasa perograman yang terstruktur dalam struktur bahasa perograman Object Pascal. Sebagiaian besar pengembang Delphi menuliskan dan mengkompilasi kode program di dalam lingkungan pengembang aplikasi atau *Integrated Development Environment (IDE)*. Lingkungan kerja IDE ini menyediakan sarana yang diperlukan untuk merancang, membangun, mencoba, mencari atau melacak kesalahan, serta mendistribusikan aplikasi. Sarana-sarana inilah yang memungkinkan pembuatan prototipe aplikasi menjadi lebih mudah dan waktu yang diperlukan untuk mengembangkan aplikasi menjadi lebih singkat [17].



Gambar 2.14 Tampilan IDE Delphi

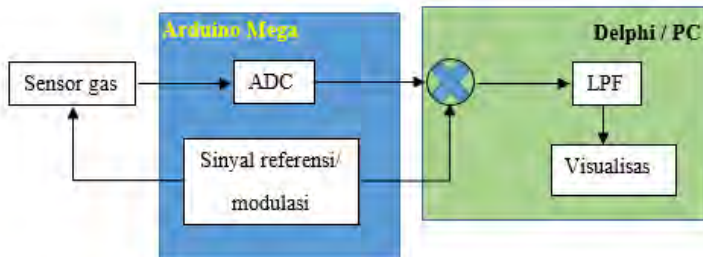
BAB III PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi perangkat elektrik yang digunakan agar sistem bisa dijalankan. Perangkat keras berfungsi untuk mendapatkan data konsentrasi gas. Selain itu pada perangkat keras juga terdapat rangkaian *oscillator* yang digunakan sebagai bahan uji sistem *Digital Lock-in Amplifier* (yang pada tulisan ini kedepannya akan disingkat menjadi DLIA). Perangkat lunak meliputi aplikasi Delphi dengan menggunakan bahasa pemrograman pascal dan program arduino. Program delphi digunakan sebagai visualisasi dari sistem. Program arduino digunakan untuk membaca data sensor dan mengirim ke komputer untuk proses di aplikasi yang telah dibuat dengan delphi .

Penguat *lock-in* digital dapat mengurangi noise pada sinyal kecil dengan amplitudo hingga nano Volt. Penguat *lock-in* cocok digunakan pada pengukuran sinyal-sinyal dengan amplitudo rendah dan berderau tinggi akibat keadaan lingkungan yang ekstrim. Salah satu contoh pengukuran adalah pengukuran gas-gas yang memiliki konsentrasi rendah.

3.1 Diagram Blok Sistem

Pada sistem ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi perancangan perangkat elektrik dan perangkat mekanik. Sedangkan perangkat lunak meliputi program Delphi dan program Arduino. Secara sederhana, alur dan cara kerja dari sistem dapat dilihat pada gambar 3.1.



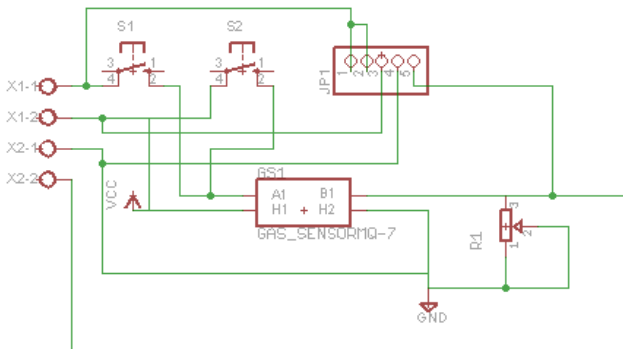
Gambar 3.1 Diagram blok sistem penguat *lock-in*

Pada diagram diatas dapat dilihat bahwa sistem bekerja diawali dengan penguatan sinyal sensor gas yang sangat kecil. Penguatan ini bertujuan agar sinyal sensor gas dapat dibaca oleh arduino. Sinyal gas yang telah dikuatkan kemudian dibaca dan dikonversi menjadi digital oleh arduino. Dalam waktu yang sama delphi juga membangkitkan sinyal kotak yang kemudian menjadi sinyal modulasi untuk sensor dan menjadi sinyal reverensi untuk proses pengalihan sinyal. Data sinyal yang telah dibaca oleh arduino kemudian akan dikirim secara serial ke komputer. Aplikasi yang telah dibuat di delphi akan membaca data sinyal yang telah dikirim oleh arduino. Data tersebut kemudian akan dikalikan dengan sinyal reverensi. Output dari pengali (*mixer*) kemudian di-*filter* dengan *Low Pass Filter*.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

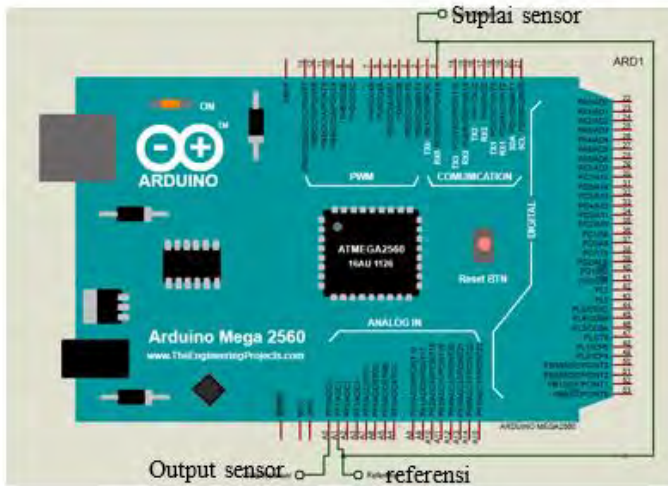
Perangkat Keras merupakan perangkat elektrik yang digunakan pada sistem ini. Perangkat Elektrik terdiri dari modul rangkaian arduino, rangkaian sensor, rangkaian *Astable Multivibrator*. Rangkaian Sensor Gas MQ-7

Pada tugas akhir ini, sensor gas yang digunakan merupakan sensor gas tipe MQ-7 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas karbon monoksida di udara. Tegangan suplai yang diberikan untuk sensor gas MQ-7 adalah sinyal kotak 5V. Selain tegangan suplai rangkaian(Vs), pada sensor gas juga terdapat tegangan *heater*(Vh). Tegangan suplai yang diberikan pada sensor gas ini merupakan sinyal kotak dengan frekuensi 900 Hz. Gambar 3.2 merupakan rancangan rangkaian untuk sensor gas MQ-7.



Gambar 3.2 Rangkaian Sensor Gas MQ-7

3.2.1 Rangkaian Elektrik Arduino

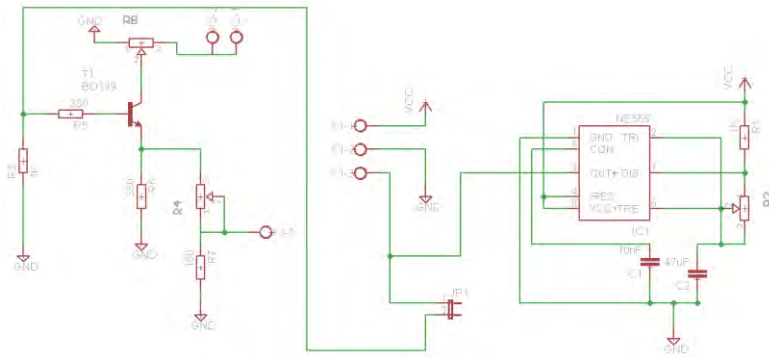


Gambar 3.3 Rangkaian elektrik Arduino

Dalam tugas akhir ini, arduino digunakan untuk menerima sinyal keluaran yang telah di modulasi dengan dengan sinyal kotak. Sinyal keluaran tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal digital dan dikirim secara serial ke komputer. Selain itu arduino juga difungsikan untuk membangkitkan sinyal kotak dengan frekuensi 900Hz yang berfungsi sebagai sinyal referensi dan sinyal modulasi. Rangkaian Elektrik Arduino ditunjukkan oleh gambar 3.3.

3.2.2 Rangkaian Pembangkit Sinyal Kotak

Perancangan Rangkaian Astable Multivibrator dilakukan untuk menguji sistem DLIA sebelum sistem tersebut diimplementasikan pada sensor MQ-7. Komponen yang digunakan untuk membuat osilator adalah IC timer LM555 yang keluarannya kemudian dimodulasi dengan sinyal referensi. Pembangkit sinyal yang dirancang memiliki keluaran dengan frequency 1.4 Hz. Gambar 3.4 menunjukkan hasil perancangan rangkaian osilator sinyal kotak menggunakan LM555.



Gambar 3.4 Rangkaian osilator sinyal kotak LM555

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada tugas akhir ini terdapat dua perancangan perangkat lunak yang digunakan yaitu perancangan perangkat lunak pada Arduino dan perangkat lunak pada komputer dengan menggunakan *software* Delphi. Perangkat lunak pada Arduino berfungsi sebagai Pembaca dan pengkonversi sinyal keluaran sensor sekaligus sebagai pengirim dan penerima sinyal yang akan dan telah diproses di aplikasi *Digital Lock-in Amplifier* yang telah dibuat.

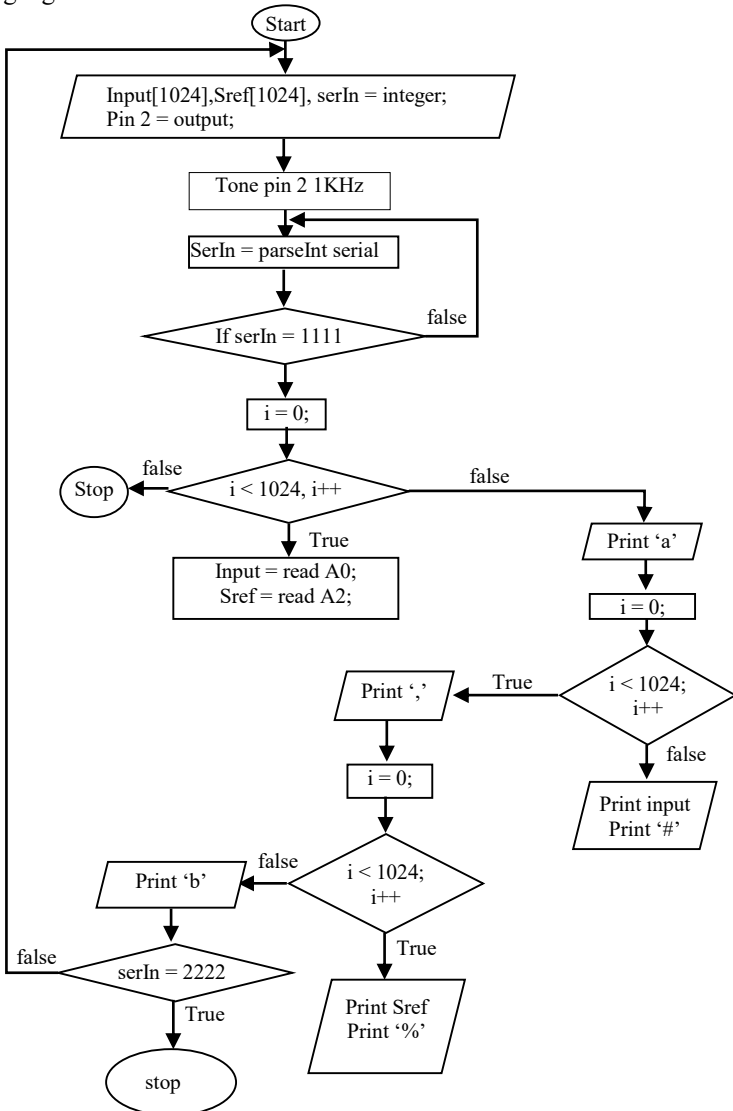
Perangkat lunak pada komputer (Delphi) berfungsi untuk memproses sinyal sensor yang dikirim oleh arduino. Program delphi ini merupakan program utama dari sistem *Digital Lock-in Amplifier*. Pada program utama ini dilakukan proses pengolahan sinyal dengan metode *lock-in amplifier*. Proses tersebut berupa pengalihan dua sinyal, yaitu sinyal keluaran sensor dan sinyal referensi, dan kemudian proses *filtering* dengan tapis lolos bawah. Sinyal yang telah ditapis akan dikirim kembali ke Arduino.

3.3.1 Perangkat Lunak Pada Arduino

Perangkat lunak pada Arduino terbagi menjadi atas dua bagian yaitu, pembacaan dan pengiriman sinyal output sensor serta pembangkitan sinyal kotak yang digunakan untuk memodulasi tegangan suplai sensor.

Arduino Mega memiliki 15 kanal yang dapat digunakan sebagai input ADC. Arduino Uno memiliki resolusi konversi 10 bit sehingga nilai pembacaannya dimulai dari 0 sampai 1023. Jika tegangan referensinya 5V

maka 0 merepresentasikan tegangan 0V dan 1023 merepresentasikan tegangan 5V.



Gambar 3.5 Flowchart program pembacaan output sensor

Pada tugas akhir ini, proses konversi tidak langsung dilakukan didalam arduino. Arduino hanya membaca nilai integer dari data sensor yang diterima. Hal ini bertujuan untuk mempersingkat proses sehingga data tersebut dapat langsung dikirim. Selain itu untuk mempersingkat waktu pengiriman, sinyal yang telah dibaca sejumlah 1024 data akan disimpan terlebih dahulu dalam sebuah variable dan barulah dikirim ke komputer.

Pada awal proses diinisialisasi pin arduino dan kecepatan transfer data serial sebesar 115200 bps. Kemudian dibangkitkan sinyal kotak dengan menggunakan *syntac* tone. Syntac tone memiliki tiga parameter yaitu pin yang akan menjadi pin keluaran sinyal kotak, frekuensi, serta durasi sinyal kotak dibangkitkan. Pada tugas akhir ini digunakan pin 2 sebagai output. Frekuensi yang dibangkitkan adalah 900Hz dan parameter durasi tidak digunakan agar pin 2 terus menerus mengeluarkan sinya kotak. Proses berikutnya arduino akan melakukan pengecekan serial apakah sudah menerima data '1111' atau belum. Jika sudah, maka arduino akan memulai konversi ADC dan sebanyak 1024 kali dan di simpan dalam sebuah variabel *array*. Terdapat dua data ADC yang digunakan. Yang pertama adalah data sensor yang telah dimodulasi dan yang kedua adalah sinyal referensi yang dibangkitkan oleh pin PWM 2 arduino Kemudian data ADC tersebut dikirim melalui komunikasi serial ke komputer. Jika arduino menerima data '2222' dari komputer, maka arduino akan menghentikan proses konversi dan serial. Program pembangkitan sinyal kotak dan pembacaan data sensor yang telah termodulasi dijabarkan pada gambar 3.5.

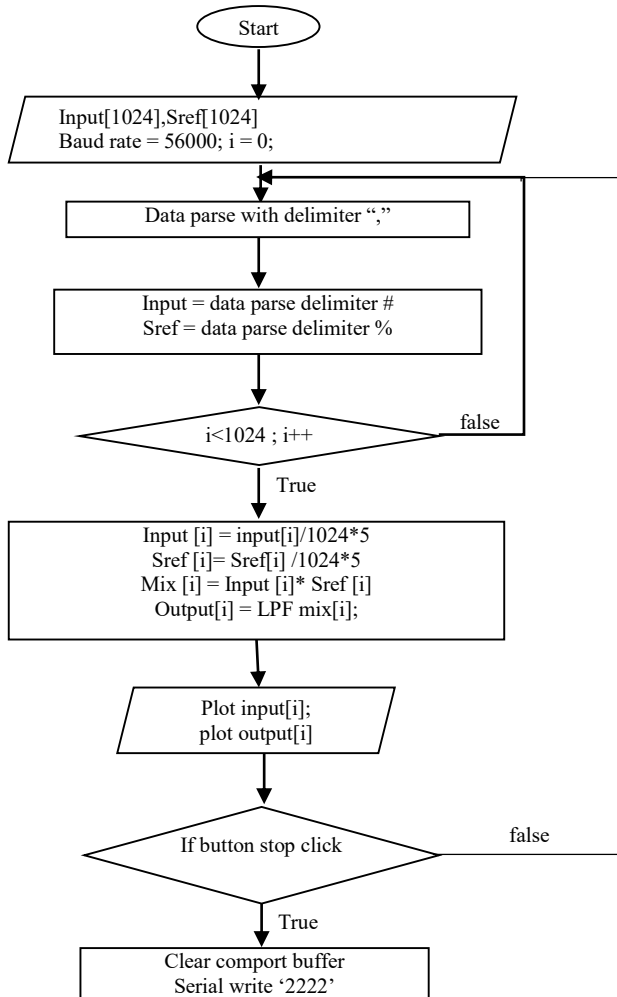
3.3.2 Perangkat Lunak Delphi

Perangkat lunak pada Delphi memiliki fungsi untuk menerima sinyal informasi yang dikirim arduino serta mengirim sinyal yang telah diproses oleh penguat pengunci digital ke arduino yang kemudian dikeluarkan melalui pin output digital arduino.

3.3.2.1 Pembacaan Sinyal Informasi Serial

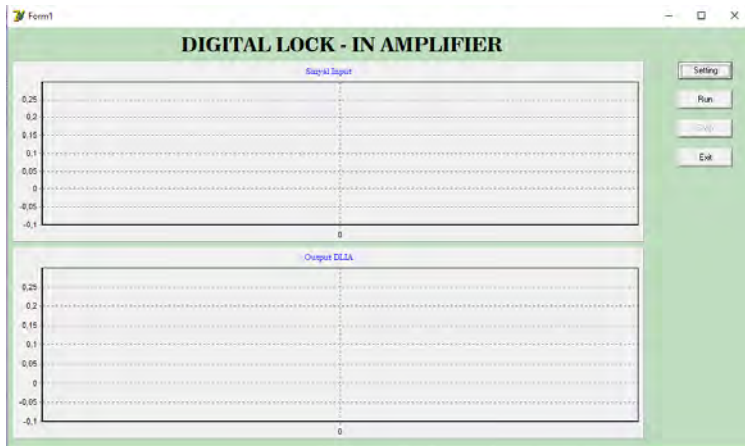
Delphi dapat melakukan komunikasi serial dengan perangkat lain yang terhubung port serial dengan menggunakan komponen ComPort. Dengan komponen ComPort ini memungkinkan delphi untuk mengirim dan informasi secara serial. Pengiriman informasi dapat dilakukan dengan menggunakan `syntac Comport1.write()` untuk mengirim data byte atau

Comport1.writeStr() untuk mengirim data string. Sedangkan untuk menerima informasi digunakan syntac Comport1.read().



Gambar 3.6 Flowchart program penguat *lock-in* digital pada Delphi

Data yang dikirim oleh arduino berupa dua data array yang dikirim dalam satu string. Data ini kemudian dibaca oleh delphi dan disimpan dalam sebuah variable. Karena data yang dikirim merupakan kumpulan data yang menjadi satu string, maka dibutuhkan proses pemisahan data atau yang sering disebut dengan *data parsing*. *Parsing* dilakukan dengan mendeteksi karakter pemisah dari setiap data informasi. Hasil dari pemisahan ini masih berupa string. Kemudian data yang telah terpisah disimpan pada dua variabel yang merepresentasikan sinyal sensor dan sinyal referensi. Kemudian pada dua variabel tersebut, data string dipisah lagi dan di simpan pada variabel array. Variabel *array* ini lah yang akan menjadi input dari penguat pengunci digital. Gambar 3.6 menunjukkan alur dari program yang dibuat di delphi. Desain dari tampilan pada komputer dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Desain Tampilan DLIA

3.3.2.2 Mixer

Mixer yang diprogram di delphi digunakan sebagai pengali dari dua sinyal. Jika dua sinyal berfrekuensi melalui proses pengalihan, maka sinyal dari hasil dari perkalian tersebut memiliki dua frekuensi yang nilainya sama dengan hasil penjumlahan dan hasil selisih dari dua sinyal yang dikali. Pada tugas akhir ini, input dari *mixer* pada delphi merupakan sinyal sensor yang telah dimodulasi dan dan sinyal referensi yang dikirim oleh arduino.

3.3.2.3 Filter digital

Untuk perancangan Filter digital, terdapat beberapa langkah yang dilakukan. Langkah pertama adalah menentukan frekuensi cut off, frekuensi sampling, jenis filter yang digunakan serta orde filter. Pada tugas akhir ini frekuensi jenis filter yang digunakan merupakan IIR Filter dengan jenis *Butterworth*. Filter digital pada tugas akhir ini menggunakan *Low Pass Filter* dengan orde 2. Frekuensi *cut-off* yang dibutuhkan pada sistem ini adalah kurang dari setengah dari frekuensi sinyal referensi. Karena frekuensi sinyal referensi adalah 900 Hz, maka untuk frekuensi *cut-off* ditentukan 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz dan 900 Hz. Penetapan frekuensi *cut-off* 500Hz dan 900Hz digunakan untuk pembuktian apakah sistem sudah sesuai dengan karakteristik *lock-in* atau belum. Tahap kedua adalah menentukan koefisien filter dengan informasi yang didapat. Untuk mempermudah dalam menentukan koefisien filter, digunakan software matlab. Koefisien filter dapat dicari dengan program seperti berikut ini:

```
fc=50;
fs=5000;
wn=fc/(fs/2);
[b,a]=butter(4,wn,'low');
```

Dengan menggunakan koefisien yang telah diperoleh, dapat ditentukan persamaan filter yang akan diimplementasikan, berikut beberapa persamaan yang diperoleh:

- fc 50 fs 5000
$$y[i] := \text{mix}[i] * 0.0009 + \text{mix}[i-1] * 0.0019 + \text{mix}[i-2] * 0.0009 - y[i-1] * -1.9112 - y[i-2] * 0.9150;$$
- fc 100 fs 5000
$$y[i] := \text{mix}[i] * 0.0036 + \text{mix}[i-1] * 0.0072 + \text{mix}[i-2] * 0.0036 - y[i-1] * -1.8227 - y[i-2] * 0.8372;$$
- fc 200 fs 5000
$$y[i] := \text{mix}[i] * 0.0134 + \text{mix}[i-1] * 0.0267 + \text{mix}[i-2] * 0.0134 - y[i-1] * -1.6475 - y[i-2] * 0.7009;$$

- **fc 500 fs 5000**

$$y[i] := \text{mix}[i]*0.0675 + \text{mix}[i-1]*0.1349 + \text{mix}[i-2]*0.0675 - y[i-1]*-1.1430 - y[i-2]*0.4128;$$
- **fc 1000 fs 5000**

$$y[i] := \text{mix}[i]*0.2066 + \text{mix}[i-1]*0.4131 + \text{mix}[i-2]*0.2066 - y[i-1]*-0.3695 - y[i-2]*0.1958;$$
- **fc 900 fs 5000**

$$y[i] := \text{mix}[i]*0.1751 + \text{mix}[i-1]*0.3502 + \text{mix}[i-2]*0.1751 - y[i-1]*-0.5193 - y[i-1]*0.2197;$$

Persamaan filter lolos bawah yang telah ditemukan kemudian diimplementasikan di delphi sesuai dengan diagram alur pada gambar 3.6. Output dari persamaan filter lolos bawah ini merupakan output dari sistem penguat *lock-in* digital.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Sistem DLIA

Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan menguji output dari setiap program yang telah dibuat. Pada tugas akhir ini, pengujian perangkat lunak yang dilakukan meliputi pengujian sistem DLIA pada Matlab, Pengujian Sistem DLIA secara online dengan delphi, dan pengujian sistem DLIA secara real time.

4.1.1 Pengujian Pada Matlab

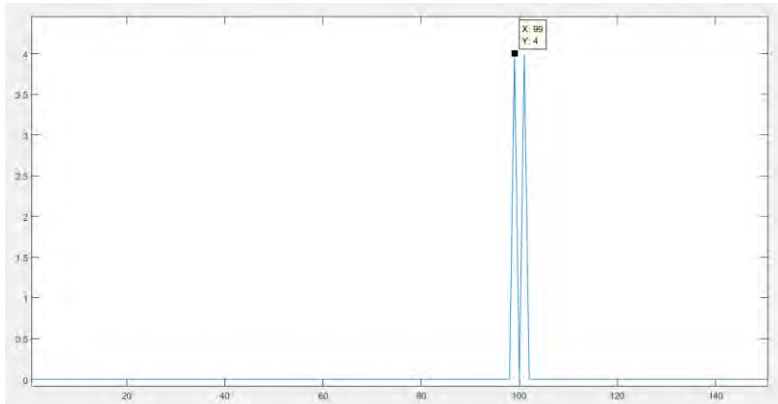
Pengujian pada Matlab bertujuan untuk mengetahui frekuensi-frekuensi yang dihasilkan dalam setiap proses pemrosesan sinyal. Dengan diketahuinya frekuensi yang muncul tersebut dapat disimpulkan penggunaan filter yang tepat. Selain itu pengujian pada Matlab bertujuan untuk mengetahui perbandingan output antara peredam derau dengan menggunakan filter saja dengan menggunakan penguat *Lock-in*.

4.1.1.1 Pengujian Mixer pada Matlab

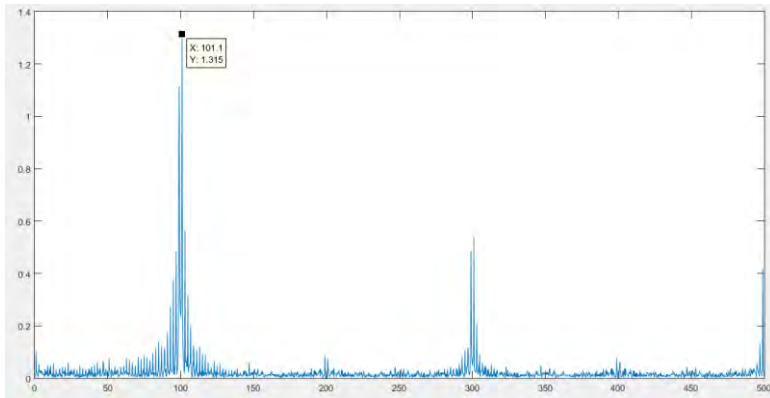
Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa perkalian dari dua sinyal berfrekuensi menghasil sinyal yang memiliki dua frekuensi dimana kedua frekuensi tersebut didapat dari hasil penjumlahan dan hasil selisih dari frekuensi dua sinyal yang dikalikan. Pengujian dilakukan dengan melihat transformasi fourier (FFT) dari output *mixer*. FFT dari output *mixer* didapat dengan menggunakan program seperti berikut:

```
fs=1000;
T=1/fs;
l=1000;
t= (0:l-1)*T;
s1 = 2*sin(2*pi*1*t);
s2 =2*sin(2*pi*100*t);
%m=times(s1,s2);
m=s1.*s2;
%plot(1000*t(1:500),m(1:500));
y=fft(m);
p2 =abs(y/(l/2));
p1=p2(1:l/2+1);
p1(2:end-1) = 2*p1(2:end-1);
```

```
f = fs*(0:(1/2))/1;  
plot(f,p1);
```

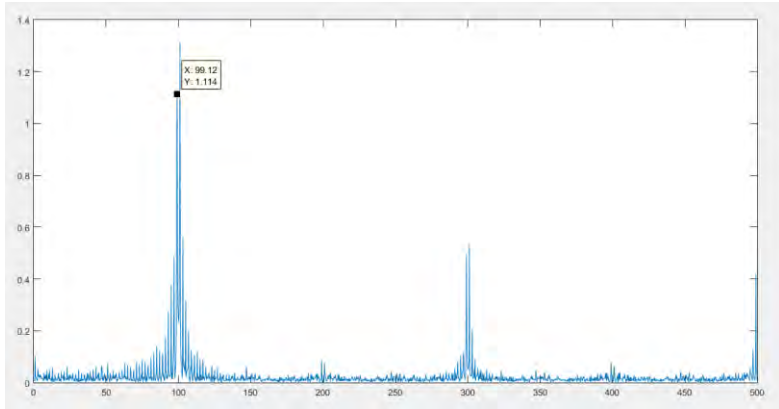


Gambar 4.1 FFT keluaran *mixer* dua sinusoidal



Gambar 4.2 FFT keluaran *mixer* dua sinyal kotak 1

Hasil yang ditunjukkan plot ditunjukkan pada gambar 4.1. Dari hasil transformasi fourier sinyal *mixer* diatas dapat dilihat bahwa terdapat dua frekuensi yang berada pada nilai 99 Hz dan 101 Hz. Pada tugas akhir ini sinyal yang digunakan bukanlah sinyal sinusoidal, melainkan sinyal kotak. Sehingga dilakukan pula pengujian *mixer* pada sinyal kotak untuk mengetahui transformasi fourier dari output *mixer*.



Gambar 4.3 FFT keluaran *mixer* dua sinyal kotak 2

Dari gambar 4.2 dan gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai frekuensi yang dominan muncul pada gambar FFT adalah 101 Hz dan 99 Hz.

Dari pengujian dapat dibuat analisa bahwa pengujian yang dilakukan sesuai dengan persamaan perkalian dua sinyal dimana

$$V_0 = A_1 \sin \omega_1 t (A_2 \sin \omega_2 t) = \frac{A_1 A_2}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t]$$

Dimana nilai frekuensi yang muncul adalah hasil dari penjumlahan dan selisih dua frekuensi sinyal yang dikalikan. Pada pengujian sinyal kotak, terjadi frekuensi harmonisa, frekuensi pertama dan kedua merupakan frekuensi hasil selisih dan penjumlahan frekuensi input sedangkan frekuensi setelahnya merupakan frekuensi harmonisa.

4.1.1.2 Pengujian Filter Digital pada Matlab

Pengujian filter digital pada matlab dilakukan dengan memberikan derau pada sinyal kotak square ($2 * \pi * 1 * t$). Kemudian sinyal tersebut difilter dengan *butterworth low pass filter* dengan frekuensi *cut-off* 1 Hz dan frekuensi sample 1 KHz. Proses filter pada matlab dilakukan dengan menggunakan program sebagai berikut:

```
fc=1;
fs=1000;
wn=fc/(fs/2);
L=4096;
T=1/fs;
t=(0:L-1)*T;
```

```

x = square(2*pi*1*t);
y = x+sin(2*pi*0.5*t)+sin(2*pi*1.5*t);
%Calculate the filter coefficient
[b,a]=butter(4,wn,'low');
z=filtfilt(b,a,y);
plot(x);

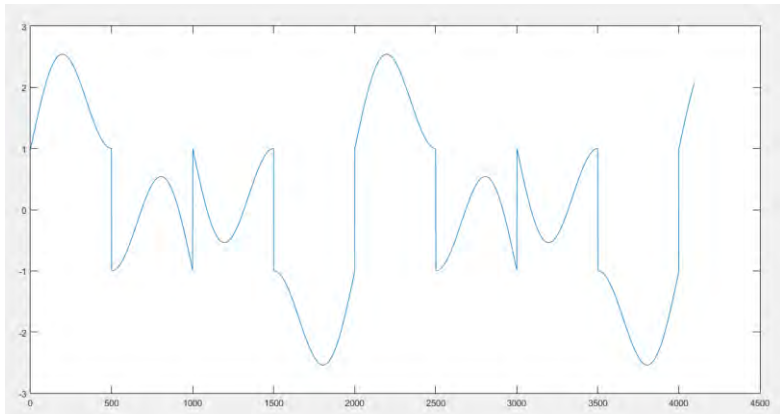
```

Gambar 4.3 menunjukkan plot dari sinyal input yang belum terganggu oleh derau. Gambar 4.4 menunjukkan plot sinyal input yang telah ditambah dua sinyal derau dengan frekuensi masing-masing 0.5 Hz dan 1.5 Hz. Gambar 4.5 merupakan hasil *plotting* dari output filter. Pada gambar 4.6 menunjukkan transformasi fourier dari sinyal hasil filter lolos bawah. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa terdapat dua frekuensi yang muncul yaitu 1 Hz dan 0.49 Hz.



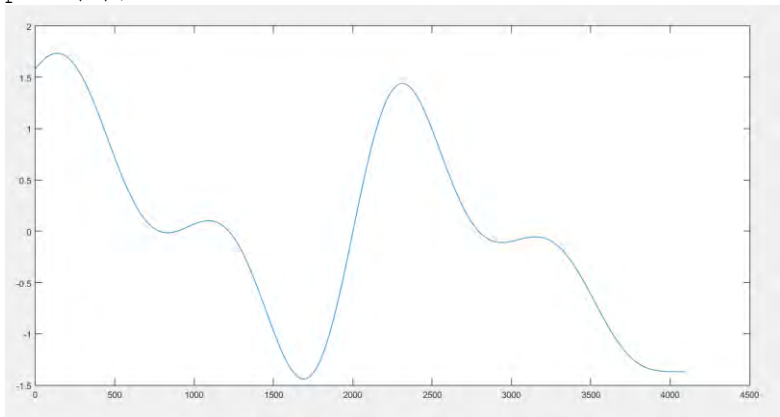
Gambar 4.4 Sinyal input tanpa derau

```
plot(y);
```

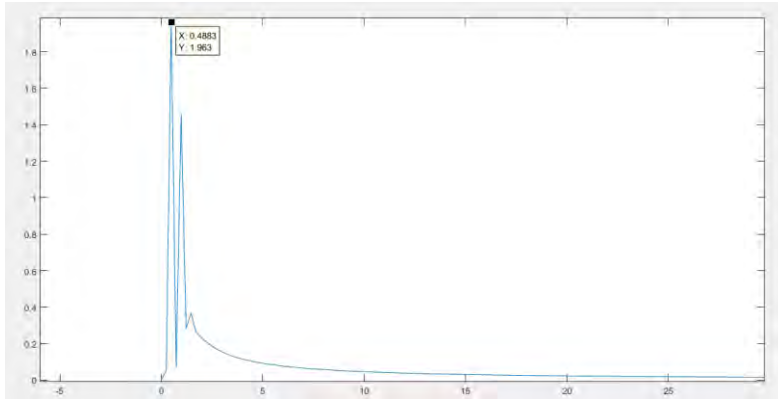


Gambar 4.5 Sinyal input dengan derau

```
plot(z);
```



Gambar 4.6 Hasil filter lolos bawah dengan *cut-off* 1Hz



Gambar 4.7 Pengujian FFT pada hasil filter

Dari percobaan yang dilakukan dapat diketahui bahwa dikarenakan filter yang digunakan merupakan filter lolos bawah dengan frekuensi *cut-off* 1 Hz, maka frekuensi yang dilewatkan adalah lebih kecil sama dengan frekuensi *cut-off*.

4.1.1.3 Pengujian Sistem DLIA pada Matlab

Setelah Pengujian Filter dilakukan, tahap selanjutnya adalah menguji output dari *digital lock-in amplifier* dengan matlab. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan output dari sinyal berderau yang hanya melewati *low pass filter* digital dengan yang melewati *Lock-in Amplifier* digital. Pengujian dilakukan dengan memodulasi terlebih dahulu sinyal informasi dengan frekuensi 1 Hz dengan sinyal pembawa sebesar 100Hz. Kemudian sinyal yang telah termodulasi diberikan derau dengan frekuensi 0.5 Hz dan 1.5 Hz. Sinyal berderau tersebut kemudian di *mixer* dengan sinyal pembawa. Output dari proses *mixer* kemudian difilter dengan *low pass filter butterworth* dengan frekuensi *cut off* 25 Hz dan frekuensi *sampling* 1 KHz.

```
fs=1000;
T=1/fs;
l=1024;
t= (0:l-1)*T;
s1 = square(2*pi*1*t);
%plot(s1);
```

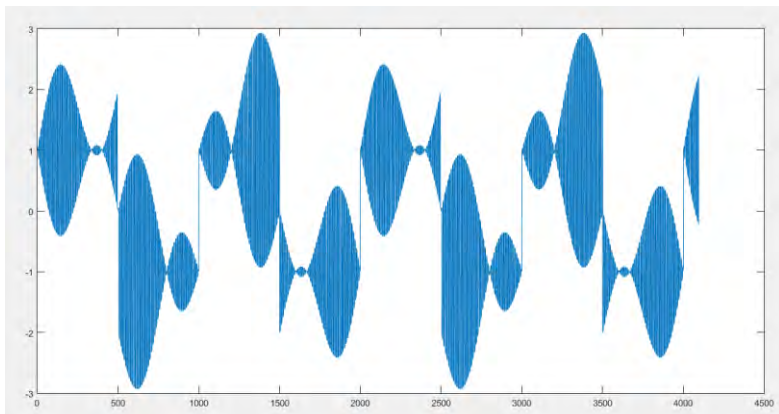


```

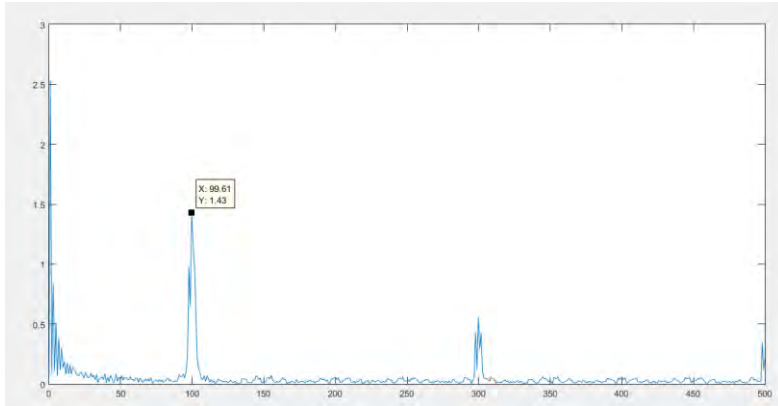
s2 =square(2*pi*100*t);
%plot(s2);
m=(s1.*s2)+sin(2*pi*0.5*t)+sin(2*pi*2*t);
%plot(m);
n= m.*s2;
fc=25;
wn=fc/(fs/2);
[b,a]=butter(4,wn,'low');
z=filtfilt(b,a,n);
%plot(z);
y=fft(z);
p2 =abs(y/(1/2));
p1=p2(1:l/2+1);
p1(2:end-1) = 2*p1(2:end-1);
f = fs*(0:(l/2))/l;
plot(f,p1);

```

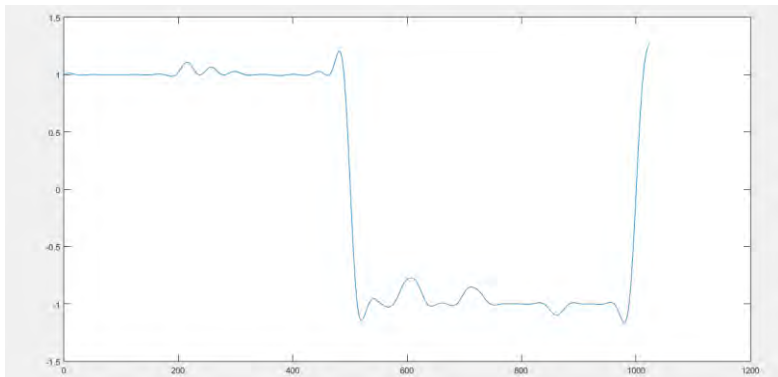
Pada *Lock-in amplifier* sinyal termulasi dan telah ditambah derau akan di kalikan dengan sinyal referensi. Hasil dari proses *mixer* kemudian di filter dengan menggunakan filter lolos bawah. Hasil perkalian dari sinyal berderau dengan sinyal referensi dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Output *mixer* antara sinyal referensi dan sinyal informasi berderau

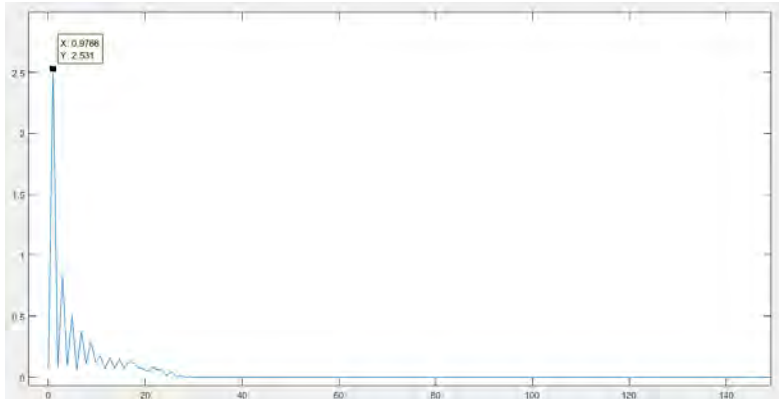


Gambar 4.9 Plot FFT dari output *mixer*



Gambar 4.10 Sinyal keluaran sistem DLIA

Pada *plotting* FFT dari keluaran *mixer* yang ditunjukkan pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa terdapat beberapa sinyal dimana sinyal pertama berfrekuensi 1Hz dan sinyal kedua 99 Hz. keluaran dari *mixer* tersebut kemudian di tapis dengan filter lolos bawah dengan frekuensi *cut-off* 25 Hz. sinyal keluaran dari filter yang juga merupakan sinyal keluaran dari sistem DLIA ditunjukkan oleh gambar 4.10. Dari *plotting* FFT keluaran sistem penguat amplifier yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dapat di ketahui bahwa terdapat beberapa frekuensi yang muncul.

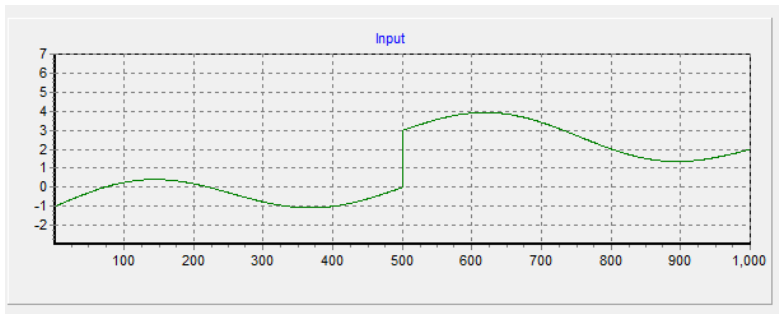


Gambar 4.11 FFT dari sinyal keluaran DLIA

4.1.2 Pengujian Pada Delphi

Pengujian pada dilakukan dengan membuat simulasi pada delphi dengan keadaan yang sama dengan keadaan real time. Hal yang diuji pada delphi meliputi pengujian pembangkit sinyal baik sinyal input maupun referensi, pengujian proses *mixer* dan pengujian proses DLIA secara keseluruhan.

4.1.2.1 Pengujian Pembangkit Sinyal Input dan Referensi



Gambar 4.12 Sinyal Sensor dengan derau

Pengujian ini meliputi pengujian pembangkit sinyal input dan pembangkit sinyal referensi. Pada pembangkitan sinyal input yang dibangkitkan merupakan sinyal kotak dengan duty cycle 50% dan frekuensi 1 Hz. Penggunaan frekuensi 1 Hz agar menyerupai sinyal sensor gas yang memiliki frekuensi rendah. Sinyal kotak yang dibangkitkan

kemudian akan ditambahkan noise dengan frekuensi yang berdekatan dengan sinyal input, yaitu 0.5 Hz dan 2 Hz. hasil dari pembangkitan sinyal input dengan derau ditunjukkan pada gambar 4.12.

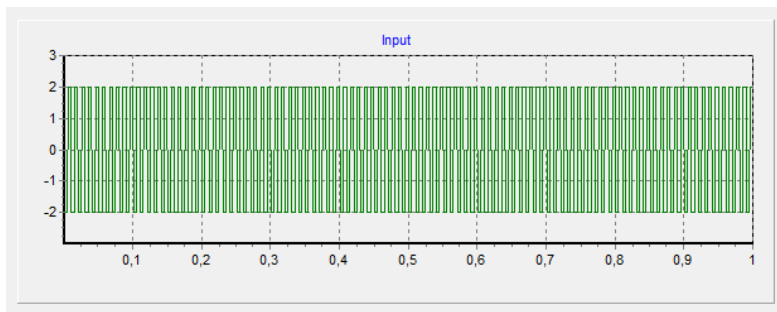
Pengujian berikutnya merupakan pengujian pembangkit sinyal referensi yang juga merupakan sinyal pembawa yang akan memodulasi tegangan suplai sensor gas. Sinyal yang dibangkitkan merupakan sinyal kotak dengan frekuensi 100 Hz. Baik sinyal input maupun referensi memiliki frekuensi sampling 1 KHz. Program yang digunakan sama dengan program pembangkitan sinyal input tetapi dengan frekuensi 100Hz.

```

hasil2 := frac(100*t)-0.5;
if (hasil2<0.0) or (hasil2=0.0) then
x2[n]:= -2 else x2[n]:= 2;

```

Berikut merupakan hasil sinyal referensi dan atau sinyal pembawa:

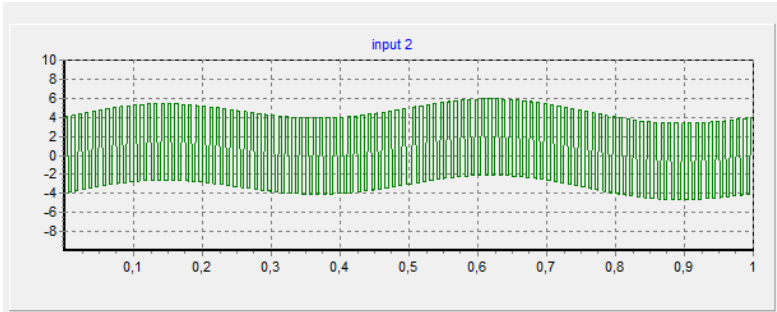


Gambar 4.13 Sinyal pembawa dan atau referensi

```

m[n] := (x1[n]*x2[n]) + sin(2*pi*0.5*t) +
sin(2*pi*2*t);

```



Gambar 4.14 Sinyal sensor dengan derau yang telah dimodulasi oleh sinyal pembawa

4.1.2.2 Pengujian Proses *Mixer* pada Delphi

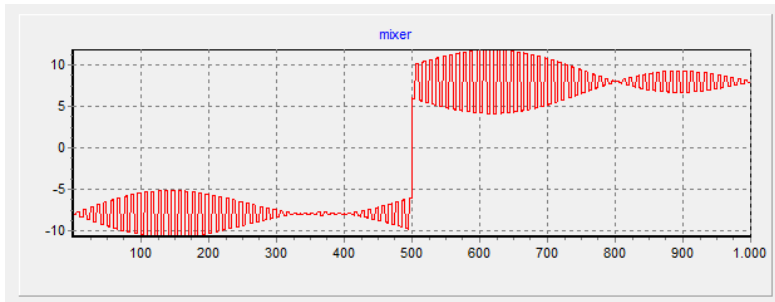
Pengujian *mixer* dilakukan dengan mengalikan sinyal informasi yang telah dimodulasi dan ditambahkan derau dengan sinyal referensi yang memiliki amplitudo 2V dan frekuensi 100 Hz. Dengan menggunakan program berikut:

```

hasil := frac(1*t)-0.5;
if (hasil<0.0) or (hasil=0.0) then
  x1[n]:=-1 else x1[n]:= 2;
  noise[n]:= x1[n] + sin(2*pi*0.5*t)
             + sin(2*pi*2*t);
hasil2 := frac(100*t)-0.5;
if (hasil2<0.0) or (hasil2=0.0) then
  x2[n]:=-1 else x2[n]:= 2;
m[n]:= (x1[n]*x2[n])+sin(2*pi*0.5*t)
        +sin(2*pi*2*t);
z[n]:= m[n]*x2[n];

```

Dengan menjalankan program Didapatkan keluaran proses mixer yang ditunjukkan pada gambar 4.15. Pada Frekuensi sinyal referensi sebesar 100 Hz, akan membawa sinyal dengan derau ke frekuensi yang lebih tinggi. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian pada Matlab pada Gambar 4.7, sinyal *mixer* pada delphi memiliki komposisi frekuensi yang sama dengan sinyal *mixer* pada matlab tetapi memiliki fasa yang berbeda. Hal ini dikarenakan fasa dari sinyal informasi pada matlab berbeda 90 derajat dengan sinyal informasi delphi.



Gambar 4.15 Sinyal output *mixer*

4.1.2.3 Pengujian Sistem DLIA pada Delphi

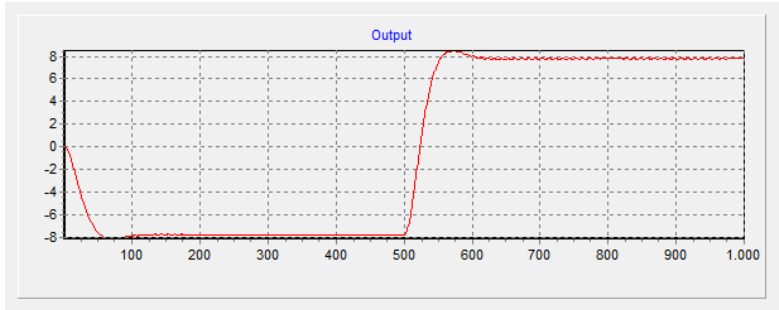
Pengujian aplikasi delphi secara keseluruhan merupakan tahap pengujian terakhir untuk pengujian software. Pengujian melibatkan tahapan pembangkitan sinyal, modulasi sinyal informasi, perkalian sinyal informasi dengan sinyal referensi, serta proses filter sinyal keluaran *mixer*. Dalam program delphi dapat ditulis seperti berikut:

```

hasil := frac(1*t)-0.5;
if (hasil<0.0) or (hasil=0.0) then x1[n]:=-1
else x1[n]:= 2;
noise[n]:= x1[n]+sin(2*pi*0.5*t)
           +sin(2*pi*2*t);
hasil2 := frac(100*t)-0.5;
if (hasil2<0.0) or (hasil2=0.0) then
x2[n]:=-1
else x2[n]:= 2;
m[n]:= (x1[n]*x2[n])+sin(2*pi*0.5*t)
        +sin(2*pi*2*t);
z[n]:= m[n]*x2[n];
t:= t+Ts;
y[n]:=z[n]*0.0009+z[n-1]*0.0019+z[n-
2]*0.0009-y[n-1]*-1.9112-y[n-2]*0.9150;

```

Variable T_s merupakan waktu sampling dari sistem. Karena frekuensi sampling adalah 1KHz, sehingga waktu sampling $1/F_s = 0.001$. Dengan program diatas, didapatkan hasil sebagai berikut.



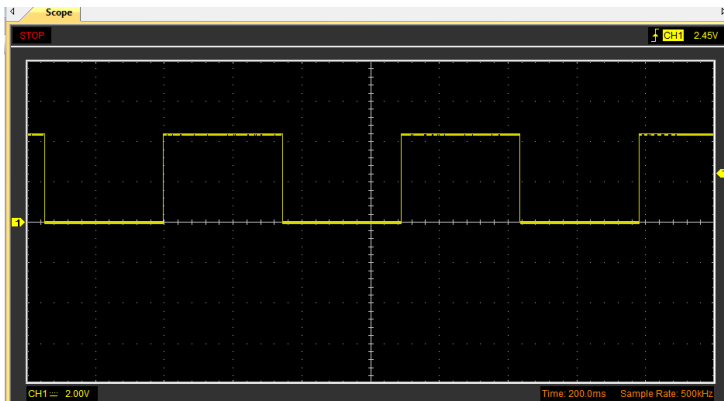
Gambar 4.16 Sinyal keluaran sistem DLIA

Sinyal keluaran DLIA memiliki bentuk mendekati sinyal informasi tanpa derau. Tetapi pada output DLIA masih terdapat *reaple*. Pada awal sampling didapati *error* dikarenakan proses filter berjalan sesuai persamaan ketika nilai sampling sama dengan nilai dari orde filter.

4.1.3 Pengujian Sistem DLIA Real Time

4.1.3.1 Pengujian Sistem DLIA Pada Sinyal Keluaran Osilator

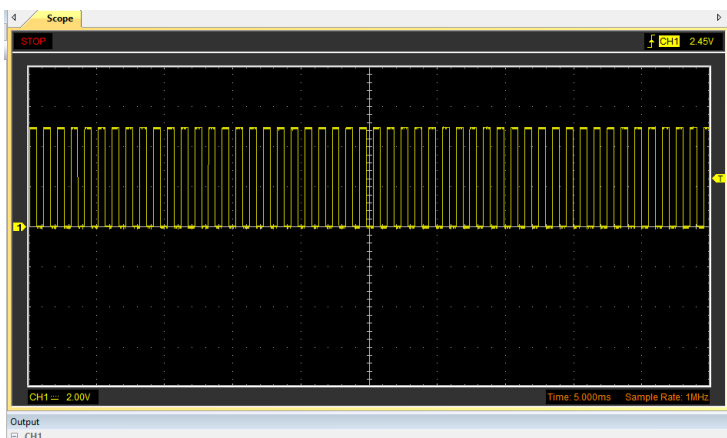
Pada pengujian secara realtime, dilakukan pengujian sistem DLIA terhadap sinyal kotak yang terganggu oleh derau. Pada pengujian ini, sinyal kotak dengan frekuensi 1.2 Hz dan amplitudo 4.4V yang berasal dari pembangkit sinyal kotak LM555. Gambar 4.17 menunjukkan sinyal keluaran osilator LM555.



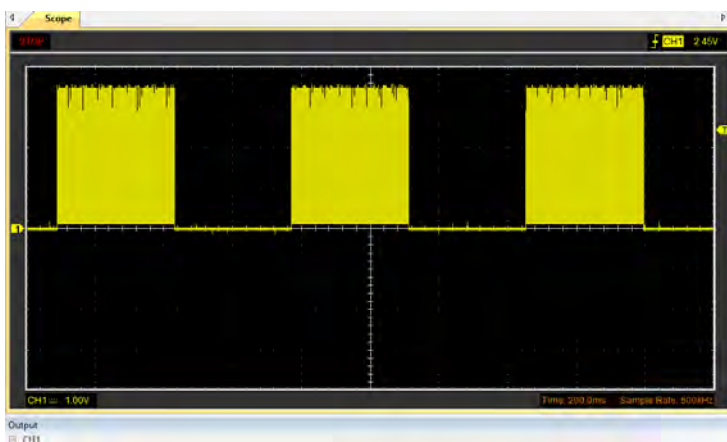
Gambar 4.17 Sinyal keluaran pembangkit sinyal kotak

Sinyal kotak 1,4 Hz tersebut kemudian dimodulasi dengan sinyal kotak 900Hz dengan amplitudo 4.8V yang dihasilkan oleh output pin 2 arduino. Sinyal modulasi ditunjukkan pada gambar 4.18. Sinyal ini juga akan difungsikan sebagai sinyal referensi yang menjadi masukan pin ADC A2 arduino.

Hasil dari modulasi antara sinyal osilator dan sinyal modulasi atau referensi dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.18 Sinyal referensi 900Hz



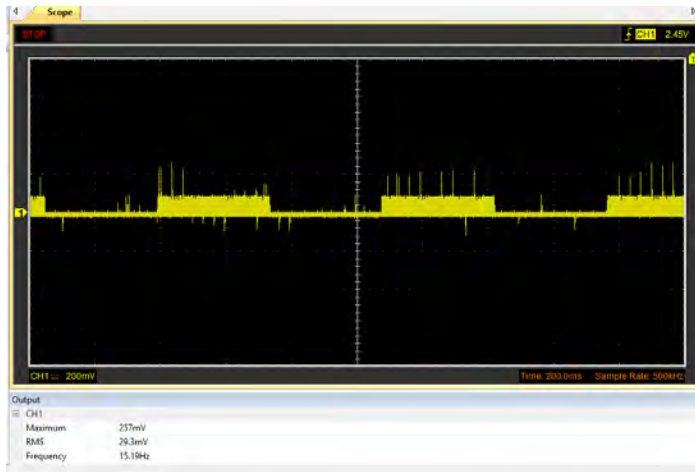
Gambar 4.19 Sinyal 1 Hz yang telah dimodulasi dengan sinyal 900 Hz

Untuk mendapatkan sinyal yang dapat merepresentasikan pembacaan sensor pada konsentrasi rendah, sinyal yang telah dimodulasi tersebut kemudian melewati rangkaian pembagi tegangan agar amplitudo menjadi semakin kecil dan muncul derau. Sinyal keluaran pembagi tegangan digambarkan pada gambar 4.20. pada gambar tersebut dapat di ketahui bahwa tegangan maksimum dari sinyal adalah 257mV dan rms 29 mV. Dengan menggunakan tegangan maksimum sebagai tegangan puncak dari noise dan tegangan RMS sebagai tegangan maksimum dari sinyal informasi, didapatkan SNR sebesar -18,95 dB. Hasil SNR didapatkan dengan menggunakan rumus

$$SNR = 20 \log \left(\frac{V_{signal(peak)}}{V_{noise(peak)}} \right)$$

Sinyal yang berderau akan menjadi masukan dari pin ADC A0 arduino.

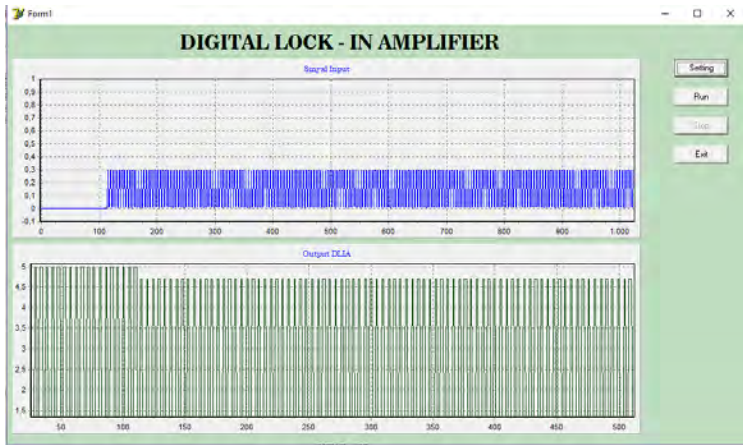
Kemudian sinyal tersebut dikirim secara serial ke komputer untuk diproses di delphi. Gambar 4.21 menunjukkan sinyal berderau dan sinyal referensi yang diterima oleh delphi.



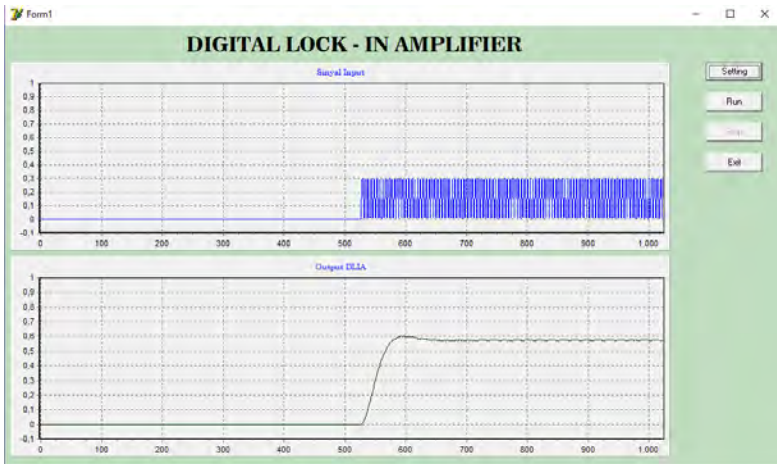
Gambar 4.20 Keluaran pembagi tegangan

Kedua sinyal tersebut kemudian melalui proses pengalihan. Keluaran dari pengali difilter lolos bawah. Untuk melihat pengaruh frekuensi *cut-off* terhadap keluaran penguat *lock-in*, dilakukan beberapa pengujian

dengan mengaplikasikan frekuensi *cut-off* yang berbeda-beda. Frekuensi *cut-off* yang digunakan pada filter ialah 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500Hz dan 900Hz. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.21, gambar 4.22, gambar 4.23, gambar 4.24 dan gambar 4.25.



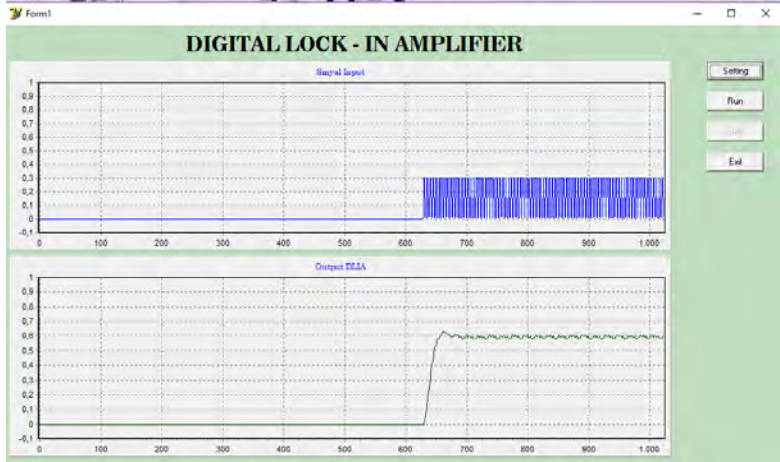
Gambar 4.21 Sinyal informasi dan sinyal referensi



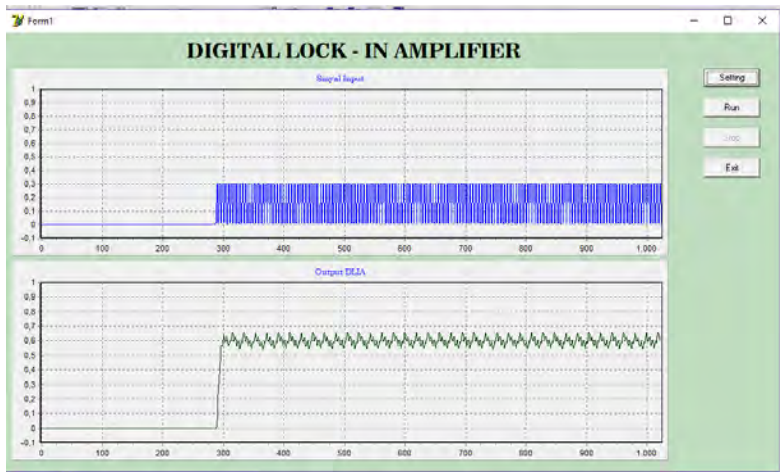
Gambar 4.22 Keluaran DLIA saat frekuensi *cut-off* 50Hz

Pada gambar 4.22 menunjukkan tegangan V_{pp} noise pada keluaran DLIA 25mV dan tegangan V_{pp} sinyal asli adalah 575mV. Sehingga didapatkan SNR sebesar 27dB.

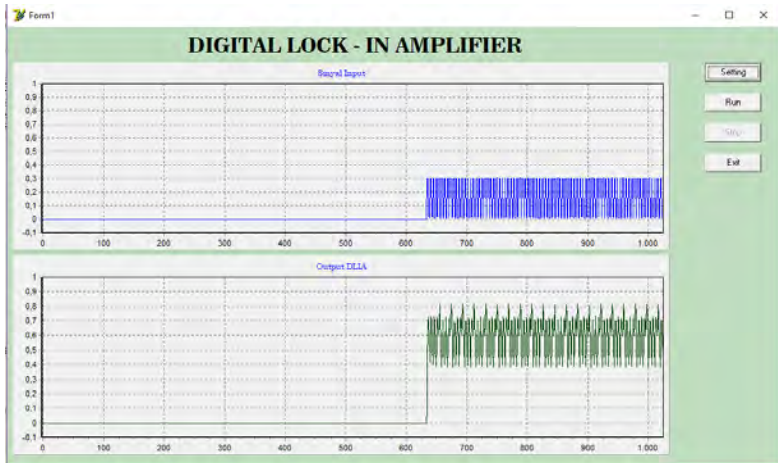
Gambar 4.23 menunjukkan hasil pengujian ketika frekuensi *cut-off* dari penguat *lock-in* adalah 100 hz. Dari pengamatan yang dilakukan, sinyal keluaran penguat *lock-in* memiliki SNR sebesar 21,23 dB.



Gambar 4.23 Keluaran DLIA saat frekuensi *cut-off* 100 Hz



Gambar 4.24 Keluaran DLIA saat frekuensi *cut-off* 200hz



Gambar 4.25 Keluaran DLIA saat frekuensi *cut-off* 500 hz

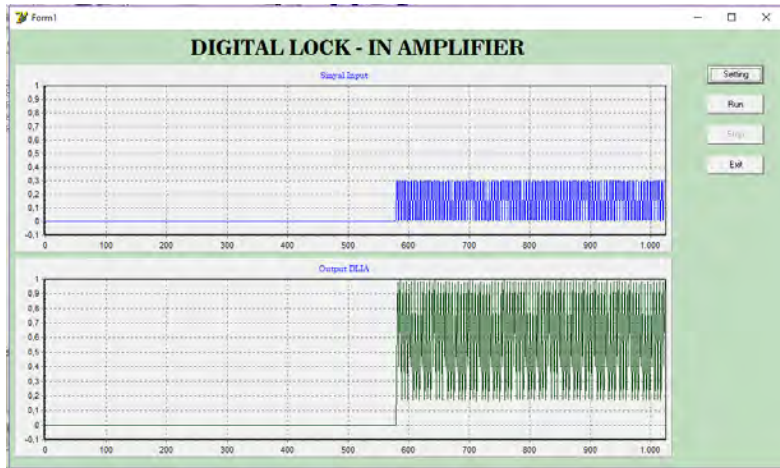
Pengamatan selanjutnya dilakukan pada sistem *lock-in* dengan frekuensi *cut-off* 200 Hz. Keluaran dari sistem penguat *lock-in* digital ditunjukkan pada Gambar 4.24. Dari data yang didapat dari pengamatan, hasil dari perhitungan SNR adalah 15,19 dB.

Gambar 4.25 merupakan gambar hasil keluaran penguat *lock-in amplifier* ketika frekuensi *cut-off* dari sistem adalah 500Hz. hasil dari pengamatan out penguat didapatkan V_{pp} dari sinyal asli adalah 575mV dan V_{pp} dari noise adalah 450mV. Sehingga sinyal keluaran tersebut memiliki SNR 2,13 dB

Percobaan selanjutnya adalah dengan menggunakan frekuensi *cut-off* 900Hz pada sistem penguat *lock-in*. Gambar 4.26 adalah hasil dari percobaan tersebut. Pengamatan yang dilakukan menunjukkan keluaran dari penguat memiliki V_{pp} sinyal asli sebesar 575 mV dan V_{pp} sinyal noise adalah 850mV. Didapatkan SNR sebesar -3,39 dB.

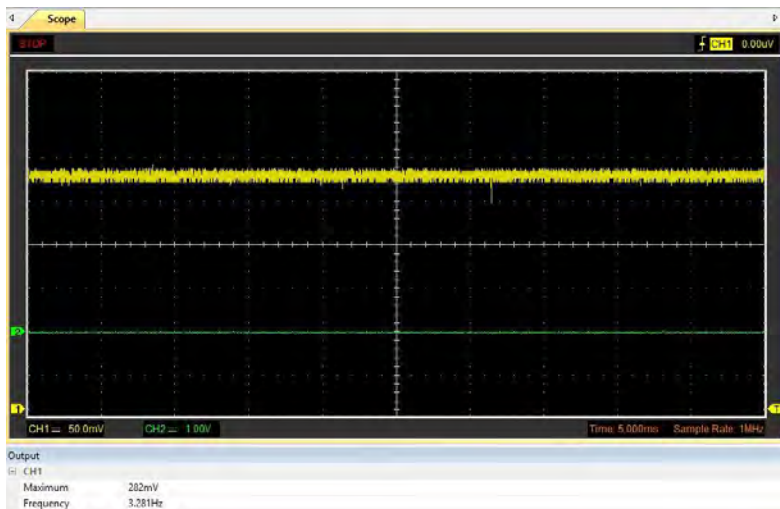
Nilai SNR yang didapat pada pengujian sistem dengan mengubah frekuensi *cut-off* dari 50Hz,100Hz,200Hz,500Hz, dan 900Hz secara berurut-urut adalah 27dB, 21.23 dB, 15.19 dB, 2.13 dB, dan -3.39 dB. Pada saat *cut-off* lebih besar sama dengan 500 Hz, nilai SNR turun drastis. Pada *lock-in amplifier*, untuk mendapatkan nilai keluaran yang bersih atau berkurang dari derau, nilai frekuensi *cut-off* harus lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ dari nilai frekuensi referensi. Pada percobaan ini frekuensi referensi yang

digunakan adalah 900Hz sehingga dibutuhkan frekuensi *cut-off* kurang dari 450Hz.



Gambar 4.26 Keluaran DLIA saat frekuensi *cut-off* 900 hz

4.1.3.2 Pengujian Sistem DLIA Pada Sinyal Keluaran MQ-7

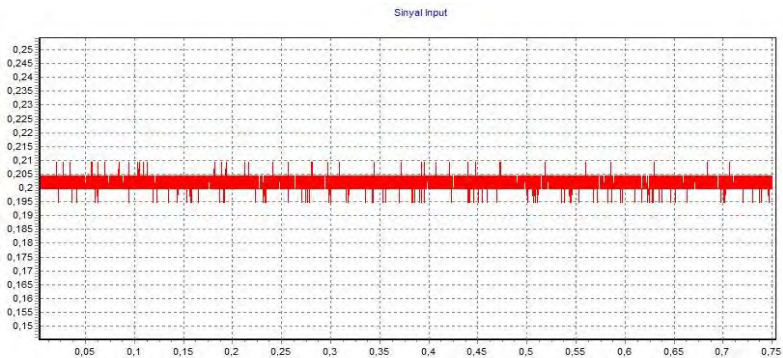


Gambar 4.27 Keluaran sensor MQ-7

Pengujian sistem ini dilakukan dengan mengobservasi keluaran dari sensor MQ-7 dan keluaran dari sistem penguat *lock-in* digital. Kedua sinyal tersebut akan dibandingkan, kemudian dari hasil observasi tersebut dihitung nilai SNR dari kedua sinyal.

Percobaan pertama dilakukan dengan tidak memberikan gas CO pada ruang gas. Gambar 4.27 menunjukkan keluaran sensor MQ-7 ketika tidak ada gas CO yang diberikan yang dilihat menggunakan *oscilloscope*.

Keluaran sensor tersebut kemudian dihubungkan dengan ADC dan dikirim ke komputer secara serial. Gambar 4.28 menunjukkan sinyal sensor yang telah divisualisasikan di komputer.



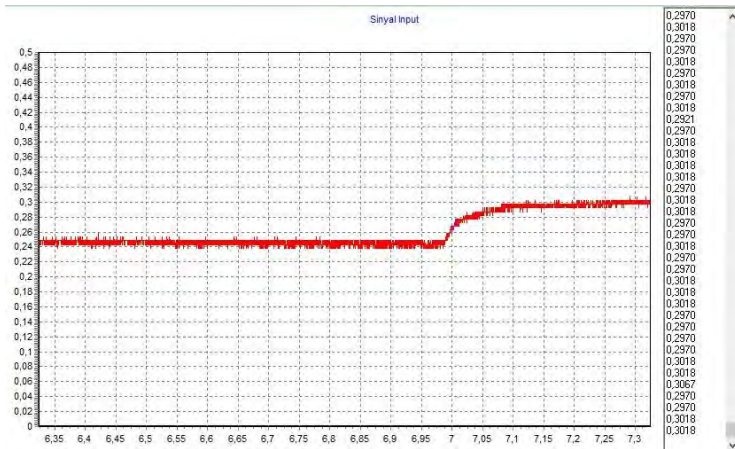
Gambar 4.28 Keluaran sensor pada delphi

Pengujian dilanjutkan dengan menambahkan gas keluaran knalpot sebanyak 1mL yang setara dengan 23 ppm ke dalam kotak uji. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.29. Dengan menggunakan filter lolos bawah didapatkan sinyal yang sudah bersil dari derau-derau kecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.30. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan amplitudo dari sensor diberikan gas buang kendaraan adalah 50mV dan amplitudo dari derau adalah 190mV. Dengan menggunakan persamaan 4.1 didapatkan nilai SNR sebesar -11,59 dB.

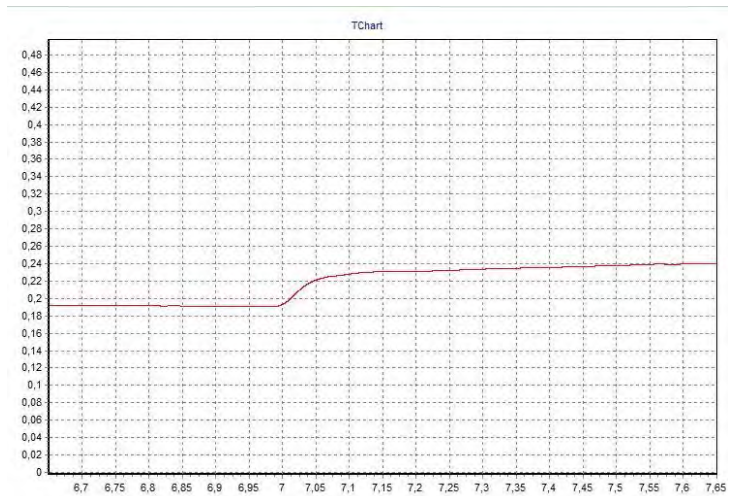
$$SNR = 20 \log \left(\frac{V_{signal(pp)}}{V_{noise(pp)}} \right) \quad (4.1)$$

Pengujian selanjutnya adalah mengimplementasikan sistem penguat *lock-in* pada sensor gas MQ-7 ketika ruang uji gas diberikan gas buang

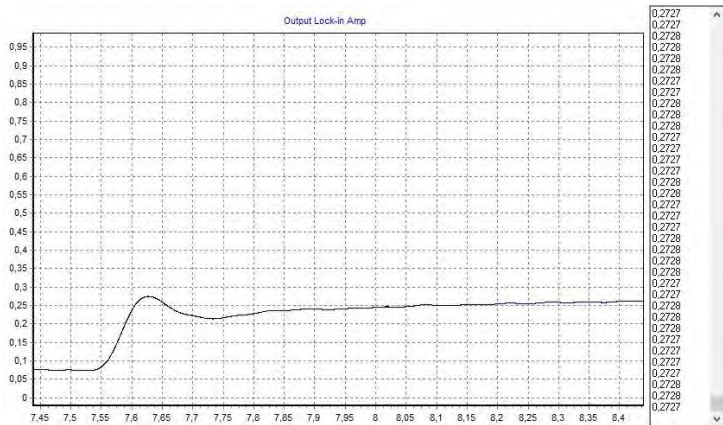
kendaraan dengan konsentrasi CO sebesar 23 ppm. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.31. Dari hasil pengamatan pada keluaran penguat *lock-in* digital, didapatkan amplitudo keluaran sensor gas adalah 272 mV dan amplitudo derau adalah 70mV. Sehingga didapatkan SNR sebesar 11,79 dB.



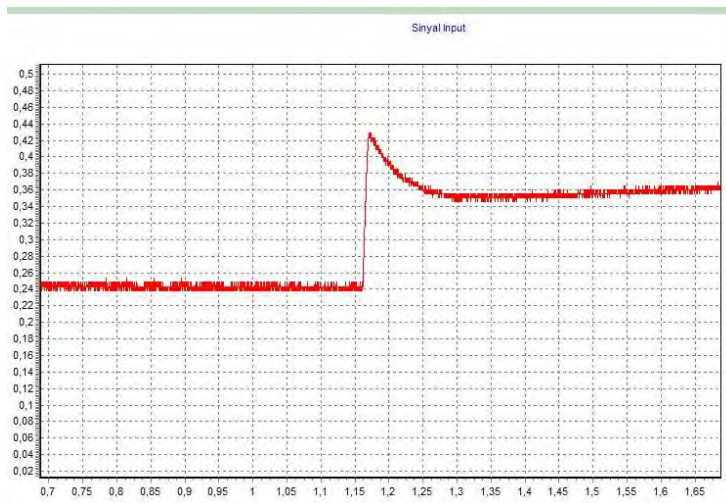
Gambar 4.29 Keluaran MQ-7 ketika ditambah gas buang kendaraan



Gambar 4.30 Keluaran sensor gas ketika difilter



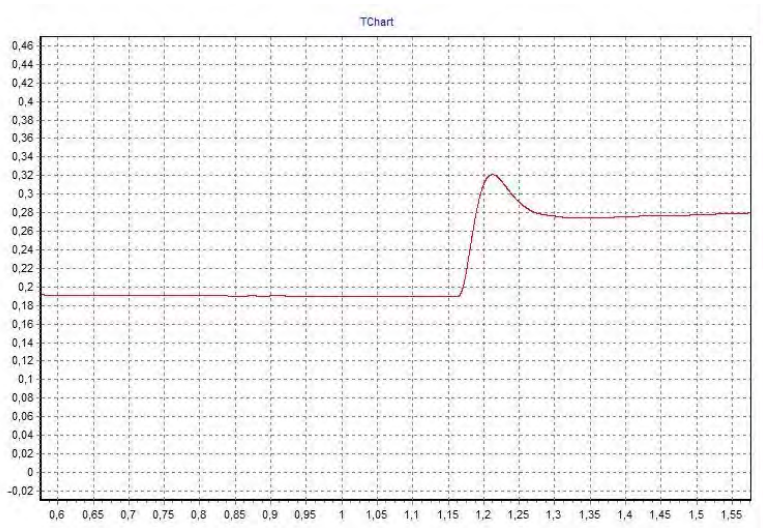
Gambar 4.31 Keluaran Penguat Lock-in



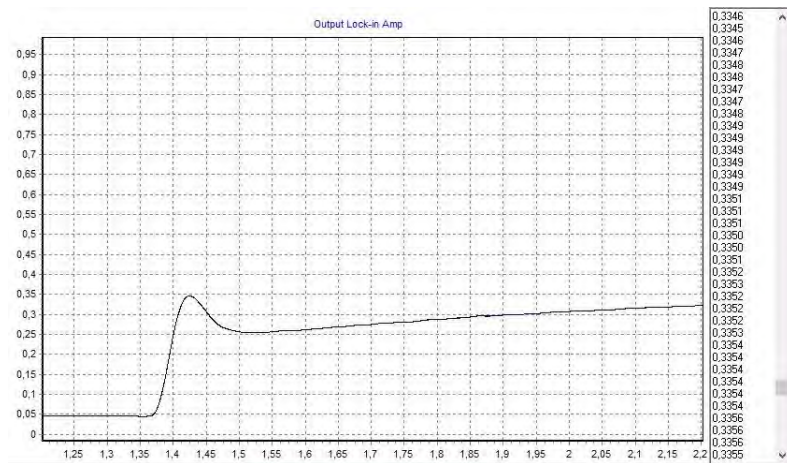
Gambar 4.32 Keluaran sensor gas saat diberikan gas buang

Pengujian selanjutnya adalah implementasi penguat *lock-in* pada sensor gas MQ-7 yang diberikan gas buang dengan volume 2 mL dan konsentrasi CO sebesar 62ppm. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.34. Dari pengamatan yang dilakukan pada keluaran penguat *lock-in* digital didapatkan amplitudo sinyal ketika ditambahkan gas

adalah 305 mV dan amplitudo dari derau adalah 50 mV. Sehingga di dapatkan nilai SNR sebesar 15,7 dB.



Gambar 4.33 Keluaran sensor gas yang dilewatkan filter



Gambar 4.34 Keluaran Penguat *Lock-in*

Tabel 4.1 Tabel perbandingan SNR untuk setiap percobaan

| No | Percobaan | Frekuensi input | Frekuensi <i>cut-off</i> | SNR | |
|----|------------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | | Tanpa <i>Lock-in</i> | Dengan <i>lock-in</i> |
| 1 | Rangkaian osilator sebagai masukan | 1,4Hz | 50Hz | -18,95dB | 27 dB |
| 2 | Rangkaian osilator sebagai masukan | 1,4Hz | 100 Hz | -18,95dB | 21,23 dB |
| 3 | Rangkaian osilator sebagai masukan | 1,4Hz | 200Hz | -18,95dB | 15,19 dB |
| 4 | Rangkaian osilator sebagai masukan | 1,4Hz | 500 Hz | -18,95dB | 2,13 dB |
| 5 | Rangkaian osilator sebagai masukan | 1,4Hz | 900 Hz | -18,95dB | -3,39 dB |
| 6 | Sensor MQ-7 (23 ppm) | - | 10 Hz | -11,59 dB | 11,79 dB |
| 7 | Sensor MQ-7 (62 ppm) | - | 10 Hz | -6,94 dB | 15,7 dB |

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini telah dibuat sebuah sistem penguat *lock-in* digital yang terdiri sensor MQ-7 dan osilator LM555 sebagai objek uji, mikrokontroler Arduino Mega 2560, dan aplikasi dengan *compiler* delphi sebagai pusat proses data. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi referensi maksimum yang dapat diterima dan di visualisiskan oleh delphi adalah 100 Hz.
2. Pada pengujian dengan menggunakan osilator LM555 sebagai objek uji dengan mengubah-ubah *cut-off* dari LPF, didapatkan SNR - 18.95dB pada sinyal keluaran sensor tanpa penguat *lock-in* digital. Hasil pengujian menunjukkan sistem dengan *cut-off* 50 Hz memiliki SNR lebih besar dari yang lain yaitu 27 dB.
3. Pada pengujian dengan sensor MQ7 sebagai objek uji dilakukan dua pengujian. Pengujian pertama dengan menambahkan 23 ppm gas CO. Dari pengujian didapatkan hasil SNR keluaran sensor sebelum diproses di penguat *lock-in* adalah -11,59 dB dan SNR keluaran sensor dengan penguat *lock-in* adalah 11,79 dB. Pada pengujian kedua diberikan gas buang kendaraan dengan konsentrasi CO sebesar 62 ppm. Didapatkan SNR pada sebelum dilewatkan penguat *lock-in* sebesar -6,94 dB dan ketika dilewatkan penguat *lock-in* adalah 15,7 dB.
4. Dengan mengamati nilai SNR keluaran sensor sebelum dan sesudah diimplementasikan penguat *lock-in*, Sistem telah mampu mengurangi derau pada keluaran sensor MQ-7.

5.2 Saran

Perancangan penguat *lock-in* digital yang berbasis komputer membutuhkan pembacaan data sensor yang cepat dan akurat. Dalam penelitian ini penggunaan mikrokontroler Arduino Mega2560 dirasa memiliki performa yang kurang dalam pembacaan data sensor, *spike noise* yang terlihat pada pengamatan *oscilloscope* tidak dapat dibaca

dengan sempurna oleh ADC arduino. Oleh karena itu, untuk rencana kedepan pada penelitian ini diperlukan ADC dengan bit yang lebih besar sehingga spike noise dapat terbaca dengan baik. Penggunaan Arduino Due atau mikrokontroler lain yang memiliki ADC lebih dari 10 bit dapat menjadi salah satu solusinya.

Selain itu pada perancangan perangkat kerasnya dibutuhkan kotak uji yang lebih tertutup dan dilengkapi dengan katub serta motor untuk mengalirkan udara kering ke kotak uji gas dan membuat gas pada pengujian sebelumnya. Sehingga pengujian dapat dilakukan dengan lebih cepat tanpa harus menunggu gas tereduksi alami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ballarà M, Gemma, “*Lock-in Amplifier* based on Virtual Instrumentation”. Barcelona, Spain, 2016.
- [2] Gooch, Housego. “The benefit of DSP *Lock-in* Amplifier, Lecture Handout: *Lock-in Amplifier* Principle”, Rev 9-96, 1996.
- [3] Herjuno D, Rivai M, Sardjono TA, “Teledeteksi Gas Pada Mobile Robot yang Dikendalikan Gelombang Radio” *Jurnal Teknik ITS* Vol.1, 2012.
- [4] Priyanta IF, Rivai M, Dikairono R, “Pemetaan Distribusi Gas Polutan Menggunakan Quadcopter Berbasis Autonomous Waypoint” ” *Jurnal Teknik ITS* Vol.5, No.2, 2016.
- [5] Supeno AB, Rivai M, Suwito, “Rancang Bangun Data Logging Berbasis Web Server Pada Robot Balon Udara Untuk Deteksi Kebocoran Pipa Gas”, *Jurnal Teknik ITS* Vol.5, No.2 2016.
- [6] Oktorizal, Andrew, “Studi Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave Untuk Penerapan Pada Sistem Identifikasi Gas”, Desember 2010.
- [7] Akbar LA, Rivai M, Budiman F, “Rancang Bangun Sensor Node pada Wireless Sensor Network Menggunakan Deret Sensor Gas dan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Mendeteksi Kebakaran Hutan” *Jurnal Teknik ITS* Vol.5, No.2 2016.
- [8] Putra, helmi IR, “Virtual *Lock-in Amplifier* Berbasis DAQ 9215A”, Depok, (2011).
- [9] Armen B.G, “Phase Sensitive Detection: The *Lock-in Amplifier*” The University of Tennessee, 2008.
- [10] Masciotti J. M, Lasker J. M, Hielscher A. H, “Digital *Lock-in* Detection for Discriminating Multiple Modulation Frequencies With High Accuracy and Computational Efficiency” *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, VOL. 57, NO. 1, Januari 2008.
- [11] Rahmannuri H, Rivai M, Sardjono TA, “Design of Digital *Lock-in Amplifier* for Low Concentration Gas Detection” International Seminar on Intelligent Technology and Its Application (2017).
- [12] Niknejad A. M, “Lecture 15: Introduction to *Mixers*”, University of California, Berkeley, 2005.
- [13] S. Long, “*Mixer Lectures*”.2009.

- [14] Anonim. “Bahan Digital Signal Processing Lanjut”, <URL : <http://reni.lecturer.pens.ac.id>> diakses 30 Agustus 2017.
- [15] Suwardi, Rochim.” Pengolahan Sinyal Digital : Desain Filter Digital Nonrekursif dengan Menggunakan Metode Window”, Bandung.
- [16] Anonim. “Arduino Mega 2560” ,<URL: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>> Diakses pada tanggal 30 Agustus 2017.
- [17] Anonim,”Pengenalan Delphi”. <http://elib.unikom.ac.id>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2017.

LAMPIRAN

Program Delphi

```
var
  Form1: TForm1;
  x, posi, ind, bts : integer;
  tmp : array [1..10] of string;
  simpan : String;
  adc1, adc2, input, sigref, mix, y : array[-10..1000000] of Extended;
  ts: extended;
```

implementation

```
{ $R *.dfm }
```

```
Procedure delay(Perioda: integer);
```

```
var
  Ref: integer;
begin
  Ref:= gettickcount;
  repeat
    application.ProcessMessages;
  until ((gettickcount-Ref)>= Perioda)
end;
```

```
procedure TForm1.bt_exitClick(Sender: TObject);
```

```
begin
  halt;
end;
```

```
procedure TForm1.bt_setupClick(Sender: TObject);
```

```
begin
  comport1.ShowSetupDialog;
end;
```

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    bt_stop.Enabled := false;  
end;
```

```
procedure TForm1.bt_runClick(Sender: TObject);  
begin  
    bts := 100000;  
    bt_stop.Enabled:= true;  
    bt_run.Enabled :=false;  
    bt_exit.Enabled := false;  
  
    series1.Clear;  
    series2.Clear;  
    series3.Clear;  
    series4.Clear;  
  
    comport1.Open;  
    delay (10);  
    comport1.WriteStr('1111');  
    delay(1);  
end;
```

```
procedure TForm1.bt_stopClick(Sender: TObject);  
begin  
    bt_run.Enabled := true;  
    bt_stop.Enabled := false;  
    bt_exit.Enabled := true;  
  
    comport1.WriteStr('2222');  
    delay(10);  
    comdatapacket1.ResetBuffer;  
    comport1.Close;  
end;
```

```
procedure TForm1.ComDataPacket1Packet(Sender: TObject; const Str:  
String);  
begin  
    ts:= 0.0002;  
    simpan := Str;  
    posi:=1;
```



```

ind:=1;
while posi>-1 do
begin
  posi := ansipos('#',simpan);
  if posi=0 then
  begin
    tmp[ind]:= simpan;
    Break;
  end;
  tmp[ind]:= AnsiLeftStr(simpan, posi-1);
  simpan:= AnsiRightStr(simpan, length(simpan)-posi);
  ind:=ind+1;
end;
sigref[x mod bts]:= strtoint(tmp[2])/1023*4.98;
input [x mod bts]:= strtoint(tmp[1])/1023*4.98;
mix [x mod bts] := sigref[x mod bts]* input[ x mod bts];
y[x mod bts] := mix[x mod bts]*0.3913*1.0e-04 + mix[(x-1) mod
bts]*0.7826*1.0e-04 + mix[(x-2) mod bts]*0.3913*1.0e-04 -y[(x-1) mod
bts]*-1.9822 -y[(x-2) mod bts]*0.9824; //fc 10hz fs 5000hz
memo1.Lines.Add(floattostrf(y[x mod bts],ffixed,4,4));
memo2.Lines.Add(floattostrf(input[x mod bts],ffixed,4,4));

series1.AddXY(x*ts,input[x mod bts]);
series3.AddXY(x*ts,y[x mod bts]);
series2.AddXY(x*ts,mix[x mod bts]);
series4.AddXY(x*ts,y[x mod bts]);
edit1.Text := floattostrf(input[x mod bts],ffixed,4,4);
edit2.Text := floattostrf(y[x mod bts],ffixed,4,4);
if (x>=10000) then
begin
series1.GetHorizAxis.SetMinMax((x-10000)*ts,x*ts);
series3.GetHorizAxis.SetMinMax((x-10000)*ts,x*ts);
series2.GetHorizAxis.SetMinMax((x-10000)*ts,x*ts);
series4.GetHorizAxis.SetMinMax((x-10000)*ts,x*ts);
end;

if (checkbox1.Checked = true) then
begin

```

```

    chart1.LeftAxis.SetMinMax(series1.MinYValue-
0.05,series1.MaxYValue +0.05);
    //chart1.LeftAxis.AutomaticMaximum := true;
    //chart1.LeftAxis.Minimum:= 0.1;
    //chart1.LeftAxis.AutomaticMinimum := true;
    chart3.LeftAxis.AutomaticMaximum := true;
    chart4.LeftAxis.AutomaticMaximum := true;
    chart4.LeftAxis.Minimum:= 0.45;

```

```

    end
else
begin
    chart1.LeftAxis.SetMinMax(0,0.5);
    chart3.LeftAxis.SetMinMax(0,1);
    chart4.LeftAxis.SetMinMax(0,1);
end;

```

```

    x := x+1;
end;

```

```

procedure TForm1.Chart1MouseMove(Sender: TObject; Shift:
TShiftState; X,
Y: Integer);
var
    tmpX,tmpY:double;
begin
    series1.GetCursorValues(tmpX,tmpY);
    edit3.Text := floattostrf(tmpY,ffixed,4,4);

end;

```

```

procedure TForm1.Chart3MouseMove(Sender: TObject; Shift:
TShiftState; X,
Y: Integer);
var
    tmpX,tmpY:double;
begin
    series3.GetCursorValues(tmpX,tmpY);
    edit3.Text := floattostrf(tmpY,ffixed,4,4);

```

```

end;

procedure TForm1.Chart4MouseMove(Sender: TObject; Shift:
TShiftState; X,
  Y: Integer);
var
  tmpX,tmpY:double;
begin
  series4.GetCursorValues(tmpX,tmpY);
  edit3.Text := floattostrf(tmpY,ffixed,4,4);

end;

end.

```

Program Arduino

```

#include <Arduino.h>;
int ADC0, ADC2;
int serin;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  tone(2,100);
  if (Serial.available() > 0) {
    serin = Serial.parseInt();
    if (serin == 1111) {
      kirim();
    }
  }
}

```

```
    Serial.flush();
}
void kirim() {
    ADC0 = analogRead(A0);
    ADC2 = analogRead(A2);

    Serial.print('a');
    Serial.print(ADC0); Serial.print('#'); Serial.print(ADC2);
    Serial.print('b');

    if (Serial.available() > 0) {
        serin = Serial.parseInt();
        if (serin == 2222) {
            delay(5000);
            return loop();
        }
    }
    kirim();
}
```

BIODATA PENULIS



Diana Rofiqoh dilahirkan dilahirkan di Probolinggo, pada tanggal 31 Januari 1995 dari pasangan Bapak ImamulHaq dan Ibu Sunarmi. Penulis memiliki motto kerja keras akan mendekatkan pada kesuksesan. Motto hidup tersebut memotivasi penulis untuk menjalani hidup lebih baik lagi.

Perjalanan penulis mengenyam pendidikan dimulai sejak umur 4 tahun di TK Siti Khodijah yang kemudian dilanjutkan di MI Raudlatul Ulum. Setelah lulus SD melanjutkan jenjang berikutnya di SMP Negeri 1 Gending, Probolinggo. Kemudian Penulis memberanikan diri untuk merantau dan bersekolah di SMA Taruna Dra. Zulaeha. Perjalanan penulis kemudian dilanjutkan dengan kuliah di Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Judul tugas akhir penulis adalah *“Implementasi Penguat Lock-in Digital Untuk Deteksi Gas”*

E-mail: rofiqoh.diana95@gmail.com