



TESIS - TE142599

Desain Penguat *Lock-In* Digital Untuk Deteksi Gas Berkonsentrasi Rendah

HANDI RAHMANNURI
2214204012

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



TESIS - TE142599

Desain Penguat Lock-In Digital Untuk Deteksi Gas Berkonsentrasi Rendah

HANDI RAHMANNURI
2214204012

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN


Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Handi Rahmannuri
NRP. 2214204012

Tanggal Ujian : 31 Mei 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

- 
1. Dr. Muhammad Rivai, ST. MT. (Pembimbing I)
NIP: 19690426 199403 1 003
 2. Dr. Tri Arief Sardjono, ST. MT. (Pembimbing II)
NIP: 19700212 199512 1 001
 3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. Ph.D (Penguji)
NIP: 19651211 199002 1 002
 4. Achmad Arffin, ST. M.Eng. Ph.D (Penguji)
NIP: 19710314 199702 1 001
 5. Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D (Penguji)
NIP: 19810118 200312 1 003



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“DESAIN PENGUAT *LOCK-IN* DIGITAL UNTUK DETEKSI GAS BERKONSENTRASI RENDAH”** 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, 21 juli 2017



Handi Rahmannuri

NRP.2214204012

PENGUAT LOCK-IN DIGITAL UNTUK DETEKSI GAS BERKONSENTRASI RENDAH

Nama mahasiswa : Handi Rahmanuri
NRP : 2214204012
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai ST., MT
2. Dr. Tri Arief Sardjono ST., MT

ABSTRAK

Penelitian ini merancang dan membuat penguat *lock-in* digital (DLIA) yang diperuntukkan untuk sensor gas berkonsentrasi rendah. DLIA adalah penguat yang mampu untuk memulihkan sinyal yang terbenam di dalam derau. Tujuan dari penelitian ini untuk meningkatkan *signal-to-noise ratio* (SNR) dari sinyal kecil yang berasal dari sensor gas. *Digital Signal Processing* (DSP) diimplementasikan pada mikroprosesor ARM STM32F4. Sistem ini mempunyai penguatan variabel DC yang berkisar antara 20 sampai 100 dB. Kinerja DLIA ditunjukkan dengan mengukur sinyal kecil 100 mV pada 1 Hz dengan frekuensi *cut-off* (f_c) 5 Hz. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai SNR untuk sinyal asli dan output DLIA dengan penguatan satu kali, masing-masing adalah -4.73 dan 4.08 dB. Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran gas karbon monoksida (CO) berkonsentrasi 30 ppm menggunakan sensor gas semikonduktor MQ7 sebagai input dari sistem DLIA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai SNR untuk sinyal asli dan output DLIA dengan penguatan satu kali, masing-masing adalah 3.9 dan 7.8 dB. Untuk DLIA dengan penguatan empat kali dapat menghasilkan SNR sebesar 15.6 dB.

Kata kunci - DLIA; Mikroprosesor ARM STM32F4; Sinyal kecil; SNR.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF DIGITAL LOCK-IN AMPLIFIER FOR LOW CONCENTRATION GAS DETECTION

By : Handi Rahmanuri
Student Identity Number : 2214204012
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai ST., MT
2. Dr. Tri Arief Sardjono ST., MT

ABSTRACT

This study has designed and constructed a digital lock-in amplifier (DLIA) for low-concentration gas sensors. DLIA is an amplifier which capable of recovering signals buried in the noise. The purpose of this research is to improve signal-to-noise ratio (SNR) of small signal coming from a gas sensor. Digital Signal Processing (DSP) is implemented on ARM STM32F4 microprocessor. The system has the DC gain ranging from 20 to 100 dB. DLIA performance is indicated by measuring small signal 100 mV at 1 Hz with cut-off frequency (f_c) of 5 Hz. The experimental results show that the SNR values for the original signal and the DLIA output with a unity gain are -4.73 and 4.08 dB, respectively. In this study, carbon monoxide (CO) gas with the concentration of 30 ppm was measured using MQ7 semiconductor gas sensor as input for DLIA system. The experimental results show that the SNR values for the original signal and DLIA output with a unity gain are 3.9 and 7.8 dB, respectively. For DLIA with the gain of four can produce SNR of 15.6 dB.

Keywords – DLIA; ARM STM32F4 Microprocessor; Small signal; SNR.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“Desain Penguat *Lock-In* Digital Untuk Deteksi Gas Berkonsentrasi Rendah”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Bapak Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. , Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. dan Bapak Ronny Mardiyanto ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi selaku ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Ibu dan Ayah tercinta, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.
5. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, 31 Mei 2017

Handi Rahmannuri

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat | 3 |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Sensor Gas..... | 5 |
| 2.2 Penguat Lock-In..... | 10 |
| 2.3 Mixer | 15 |
| 2.4 Filter Digital IIR..... | 17 |
| 2.5 Mikroprosesor ARM STM32F4 DISCOVERY..... | 20 |
| 2.6 Rangkaian <i>Non-Inverting</i> | 22 |
| 2.7 Rangkaian <i>Astable Multivibrator</i> | 24 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 27 |
| 3.1 Deskripsi Sistem | 27 |
| 3.2 Sampel Uji..... | 31 |
| 3.3 Suplai Udara Bersih | 31 |
| 3.4 Sistem Katup | 33 |
| 3.5 Rangkaian Dasar Sensor Gas | 34 |
| 3.6 Driver Katup Udara..... | 35 |
| 3.7 Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> | 36 |
| 3.8 Osilator Digital..... | 37 |
| 3.9 Mixer Digital..... | 38 |
| 3.10 Perancangan Low Pass Filter Digital | 39 |
| 3.11 Alur Penguat Lock-In Digital | 42 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 3.12 | Ruang Pengujian Sampel Gas | 43 |
| 3.13 | Prosedur Pengambilan Data | 44 |
| 3.13.1 | Pengambilan data dari rangkaian osilator LM 555 sebagai masukan dari sistem DLIA | 44 |
| 3.13.2 | Pengambilan data dari sensor gas MQ 3 sebagai masukan dari sistem DLIA..... | 46 |
| 3.13.3 | Pengambilan data dari sensor gas MQ 7 sebagai masukan dari sistem DLIA..... | 48 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 51 |
| 4.1 | Pengujian Rangkaian Osilator Sebagai Masukan Dari Sistem DLIA | 52 |
| 4.1.1 | Tujuan Pengujian | 52 |
| 4.1.2 | Prosedur Pengujian | 52 |
| 4.1.3 | Hasil Pengujian dan Analisa | 53 |
| 4.2 | Pengujian Hasil Sistem DLIA Dengan Sensor Gas Alkohol..... | 65 |
| 4.2.1 | Tujuan Pengujian | 65 |
| 4.2.2 | Prosedur Pengujian | 65 |
| 4.2.3 | Hasil Pengujian dan Analisa | 65 |
| 4.3 | Pengujian Hasil Sistem DLIA Dengan Sensor Gas Karbon Monoksida | 67 |
| 4.3.1 | Tujuan Pengujian | 67 |
| 4.3.2 | Prosedur Pengujian | 67 |
| 4.3.3 | Hasil Pengujian dan Analisa | 67 |
| BAB 5 KESIMPULAN | | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 77 |
| LAMPIRAN | | 81 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Ilustrasi Penyerapan O ₂ Oleh Sensor. | 6 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Ketika Sensor Mendeteksi Adanya Gas. | 7 |
| Gambar 2.3 Konfigurasi Pin Pada Sensor Gas. | 8 |
| Gambar 2.4 Rangkaian Pada Sensor Gas. | 8 |
| Gambar 2.5 Hubungan Antara Tegangan Keluaran Sensor Gas HS 134 dan Konsentrasi Gas CO. | 9 |
| Gambar 2.6 Kurva Hubungan Antara Suhu dan Penguatan. | 10 |
| Gambar 2.7 Diagram Blok Penguat Lock-in. | 12 |
| Gambar 2.8 Diagram Blok PSD. | 13 |
| Gambar 2.9 Sinyal Referensi (kotak) Memiliki $\phi = 0^\circ$ | 14 |
| Gambar 2.10 Sinyal Referensi (kotak) Memiliki $\phi = 90^\circ$ | 14 |
| Gambar 2.11 Keluaran dari Penguat Lock-in : (a) Dari Pembagi Tegangan Biasa; (b) Dari Penguat Lock-in. | 15 |
| Gambar 2.12 Simbol Mixer. | 16 |
| Gambar 2.13 Sinyal A, Sinyal B, dan Sinyal Keluaran. | 16 |
| Gambar 2.14 Respon Frekuensi Sinyal A, Sinyal B, dan Sinyal. | 16 |
| Gambar 2.15 Diagram Blok Filter IIR. | 19 |
| Gambar 2.16 Bentuk dari Mikroprosesor ARM STM32F4 DISCOVERY. | 20 |
| Gambar 2.17 Rangkaian penguat <i>non-inverting</i> | 22 |
| Gambar 2.18 Rangkaian dasar <i>astable multivibrator</i> | 24 |
| Gambar 2.19 Sinyal keluaran <i>astable multivibrator</i> | 25 |
| Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Secara Umum. | 27 |
| Gambar 3.2 Diagram blok ruang uji gas. | 28 |
| Gambar 3.3 Diagram blok perangkat keras DLIA. | 28 |
| Gambar 3.4 Diagram blok sistem penguat <i>lock-in</i> digital. | 29 |
| Gambar 3.5 Perancangan sistem pompa udara. | 32 |
| Gambar 3.6 Perbandingan silika gel : (a) Silika gel yang baru dan (b) Silika gel yang sudah terpakai. | 32 |
| Gambar 3.7 Silika gel yang digunakan. | 32 |
| Gambar 3.8 Perancangan sistem katup. | 33 |
| Gambar 3.9 Perancangan sistem sensor gas. | 34 |
| Gambar 3.10 Perancangan sistem katup udara. | 35 |
| Gambar 3.11 Perancangan penguat <i>non-inverting</i> | 37 |
| Gambar 3.12 Diagram alir dari penguat <i>lock-in</i> digital. | 42 |
| Gambar 3.13 Ruang pengujian sampel gas. | 43 |
| Gambar 3.14 Ilustrasi perhitungan sinyal informasi dan sinyal derau. | 45 |
| Gambar 3.15 Rangkaian keseluruhan dari pengujian sistem DLIA dengan osilator sebagai pengganti sensor. | 45 |
| Gambar 3.16 (a) Mikroliter dan (b) Proses penyuntikan $1\mu\text{L}$ gas alkohol. | 46 |
| Gambar 3.17 (a) CO meter dan (b) Proses penyuntikan 30ppm gas CO. | 48 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.1 Perangkat keras sistem DLIA secara keseluruhan. | 51 |
| Gambar 4.2 Sinyal modulasi dari mikroprosesor ARM STM32F4. | 53 |
| Gambar 4.3 Sinyal referensi untuk sistem DLIA. | 54 |
| Gambar 4.4 Sinyal keluaran osilator yang dimodulasi. | 55 |
| Gambar 4.5 Sinyal keluaran osilator yang dimodulasi dalam skala 100 mV. | 56 |
| Gambar 4.6 Perbandingan sinyal referensi (hijau) dan sinyal keluaran osilator (kuning). | 56 |
| Gambar 4.7 Sinyal keluaran dari blok mixer. | 56 |
| Gambar 4.8 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal dengan frekuensi 1 Hz (b) Sinyal keluaran LPF dengan frekuensi cut-off 5 Hz. | 57 |
| Gambar 4.9 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran LPF dari sinyal dengan frekuensi 5 Hz (b) Sinyal keluaran LPF dari sinyal dengan frekuensi 10 Hz. | 58 |
| Gambar 4.10 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran dari osilator (b) Sinyal keluaran dari osilator dengan penguatan 2 kali. | 59 |
| Gambar 4.11 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal tanpa DLIA dan (b) Sinyal dengan DLIA. | 60 |
| Gambar 4.12 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 5$ Hz dan frekuensi sinyal informasi = 10 Hz. | 60 |
| Gambar 4.13 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran menggunakan dengan DLIA dengan penguatan 2 kali lebih besar. | 62 |
| Gambar 4.14 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 5$ Hz dan frekuensi sinyal informasi = 1 Hz. | 62 |
| Gambar 4.15 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor menggunakan DLIA pada frekuensi 22Hz. | 63 |
| Gambar 4.16 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 20$ Hz and frekuensi sinyal informasi= 10 Hz. | 64 |
| Gambar 4.17 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 20$ Hz and frekuensi sinyal informasi= 22 Hz. | 64 |
| Gambar 4.18 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor menggunakan DLIA. | 66 |
| Gambar 4.19 Grafik perbandingan SNR pada percobaan sensor gas alkohol. | 66 |
| Gambar 4.20 Sinyal modulasi untuk sensor MQ 7. | 68 |
| Gambar 4.21 Sinyal referensi sistem DLIA dengan masukan sensor MQ 7. | 68 |
| Gambar 4.22 Sinyal keluaran sensor MQ 7 yang dimodulasi. | 69 |
| Gambar 4.23 Sinyal keluaran dari blok mixer. | 69 |
| Gambar 4.24 Sinyal keluaran dari sensor MQ 7 dengan penguatan 4 kali. | 70 |
| Gambar 4.25 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor MQ 7 tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor MQ 7 dengan DLIA. | 71 |
| Gambar 4.26 Pengujian sensor gas CO dengan DLIA dengan penguatan 8 kali. | 72 |
| Gambar 4.27 Grafik perbandingan SNR pada percobaan sensor gas CO. | 72 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Konfigurasi katup untuk pengaturan aliran udara | 33 |
| Tabel 4.1 Tabel perbandingan SNR untuk tiap percobaan..... | 73 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi dalam bidang sensor semakin berkembang. Teknologi sensor dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan yang berhubungan dengan parameter akurasi, presisi, resolusi, dan penguatan. Penggunaan teknologi sensor dapat digunakan dalam sistem otomasi di banyak industri misalnya kesehatan, militer, dan sebagainya. Selain itu, penggunaan teknologi sensor juga dapat diterapkan untuk kebutuhan tertentu sebagai solusi dari permasalahan-permasalahan manusia (Bochenkov dkk, 2010). Pada umumnya sebuah sensor bisa bekerja dengan baik adalah karena sensor itu sendiri sudah memiliki hubungan yang linear antara masukan dan keluaran serta memiliki penguatan yang tinggi. Dalam kasus ini penguat lock-in digital diimplementasikan pada sensor gas. Dalam kesempatan kali ini penulis mencoba mengoptimalkan fungsi dari penguat *lock-in* digital karena dapat meningkatkan penguatan dan *signal-to-noise ratio* (SNR) dari sensor gas dan tentu saja dapat meningkatkan kinerja dari sensor gas (Hernandez dkk, 2014). Dengan mengoptimalkan fungsi penguat lock-in digital diharapkan bisa menciptakan suatu sistem pendeteksian gas yang handal dan sangat berguna untuk membantu pekerjaan manusia dengan lebih efektif dan efisien. Pada banyak eksperimen, proses pengukuran melibatkan pendeteksian kuantitas elektrik, baik tegangan maupun arus. Beberapa kuantitas fisik merupakan elemen elektrik secara alami, contohnya tegangan jatuh dioda, atau level cahaya yang dikonversi menuju kuantitas elektrik oleh transduser (sensor). Anehnya kuantitas elektrik (sinyal) yang diinginkan terganggu oleh derau. Berbagai macam teknik telah dikembangkan untuk mengembalikan sinyal yang diinginkan dari komposisi penjumlahan sinyal dan derau, dan salah satu teknik yaitu phase sensitive (*lock-in*) detection akan dikembangkan pada penelitian kali ini. Sinyal yang berasal dari transduser resistif, secara teori fisik memiliki derau yang sulit untuk dihilangkan pada keluarannya. Sebagai tambahan, derau yang dapat diminimalisir ($1/f$ dari penguat, interferensi elektromagnetik, microphone)

hampir selalu ada pada keluaran transduser, menampik teori bahwa derau akan muncul pada level tertentu pada sebuah sinyal transduser. Pada akhirnya, menguatkan sinyal yang memiliki derau tidak akan membuat sinyal asli terbebas dari derau. Pengukuran sinyal elektrik yang memiliki amplitudo rendah yang berasal dari tegangan suplai rendah adalah Page yang sangat sulit dilakukan terutama sinyal keluaran yang berasal dari sensor gas yang berkonsentrasi rendah rendah (Marcellis, 2010). Interferensi 50/60 Hz dari power line, derau $1/f$ dari amplifier yang memiliki gain tinggi, thermal derau dari sensor, arus drift dari photodetector, atau kombinasi dari semua derau tersebut mengPageangi kemampuan dalam pengukuran yang cepat dan akurat pada sinyal kecil. Derau-derau tersebut dapat menyebabkan pembacaan sinyal AC maupun DC tidak stabil dan dapat juga meningkatkan ketidakmenentuan akurasi dari pembacaan (Hernandez dkk, 2014; Maximiliano, 2005; Gooch dkk, 1996). Konstanta waktu lama dapat meningkatkan akurasi pengukuran dengan cara mengambil nilai rata-rata dari derau sinyal AC. Bagaimanapun juga, jika dalam pengukuran tersebut terdapat derau DC *drift*, akan menyebabkan pengukuran tidak valid, disamping itu konstanta waktu lama juga memakan cukup banyak waktu dalam proses pembacaan sinyal (Gooch dkk, 1996). Penguat lock-in dapat menapis derau baik dari sumber AC maupun DC sebelum sinyal tersebut dibaca oleh suatu sistem. Sinyal yang terbaca dapat diambil nilai rata-ratanya dengan konstanta waktu yang jauh lebih pendek. Dengan begitu hasil pengukuran dapat lebih cepat dan akurat. Penguat lock-in digital dapat meningkatkan *signal-to-noise* ratio sampai dengan 100dB daripada sebuah penguat lock-in analog yang hanya bisa sampai 60dB (Gooch dkk, 1996). Maka dari itu diperlukan sebuah alat yang dapat meningkatkan sensitifitas dan *signal-to-noise* ratio serta dapat juga melakukan pengukuran yang cepat dan akurat.

Penguat lock-in ini dirancang secara digital karena dinilai mempunyai beberapa kelebihan diantaranya adalah memiliki respon filter yang lebih mendekati ideal dari penguat lock-in analog, serta memiliki bentuk fisik yang jauh lebih sederhana karena semua pemrosesan sinyal dilakukan secara digital pada 1 IC, sedangkan pada penguat lock-in analog, untuk mendapatkan respon filter yang mendekati ideal harus membutuhkan banyak sekali rangkaian analog karena

semakin besar orde filter yang dirancang maka akan semakin banyak pula rangkaian analognya, kemudian keluaran lebih stabil dalam arti tidak memiliki arus *drift* dan *DC coupled* layaknya rangkaian analog, memiliki kemampuan menapis derau dengan akurasi sudut fasa tunggal 0.001° dari penguat *lock-in* analog yang hanya mampu sebesar 1° , dan memiliki osilator yang stabil karena diproses secara digital Maximiliano, 2005; Farrar, 1993; Gooch dkk, 1996). Kemudian perbedaan penguat *lock-in* digital ini dengan filter biasa adalah pada filter biasa, sinyal data yang memiliki derau masuk ke dalam amplifier sehingga derau ikut dikuatkan, dan kemudian sinyal itu baru masuk pada filter untuk meminimalisir derau. Berbeda dengan penguat *lock-in*, pada penguat ini sinyal data yang memiliki derau masuk ke *mixer* yang menghasilkan sinyal pada frekuensi tertentu saja. Sinyal keluaran *mixer* yang dikuatkan memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi sinyal osilator dan sinyal yang memiliki frekuensi selain itu tidak dikuatkan sehingga ketika memasuki *Low Pass Filter* (LPF) maka sinyal yang mempunyai frekuensi selain frekuensi osilator diredam sehingga sudah pasti penguatan dan *signal-to-noise ratio* (SNR) meningkat dan tentu saja jauh lebih besar dari penguatan dan SNR amplifier dengan filter biasa.

1.2 Rumusan Masalah

Secara umum perumusan masalah penelitian ini adalah untuk membuktikan apakah sistem penguat *lock-in* yang diusulkan dapat meningkatkan penguatan dan SNR dari sensor gas. Adapun permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Jenis sensor gas yang digunakan dalam percobaan.
2. Bagaimana cara membuat penguat *lock-in* digital.
3. Bagaimana cara mengetahui unjuk kerja sistem.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan SNR dari sinyal yang tertimbun oleh derau sekaligus meningkatkan kepekaan dari sensor uji

yang menjadi masukan dari sistem DLIA. Secara terperinci tujuan penelitian ini adalah:

1. Menggunakan sensor gas CO (MQ 7) dan uap alkohol (MQ 3).
2. Mampu membuat penguat *lock-in* digital berbasis ARM STM32F4.
3. Dilakukan pengukuran SNR untuk gas berkonsentrasi rendah.

Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain dapat dijadikan solusi untuk memperbaiki sinyal kecil yang tertimbun oleh derau dari berbagai sensor.

BAB 2

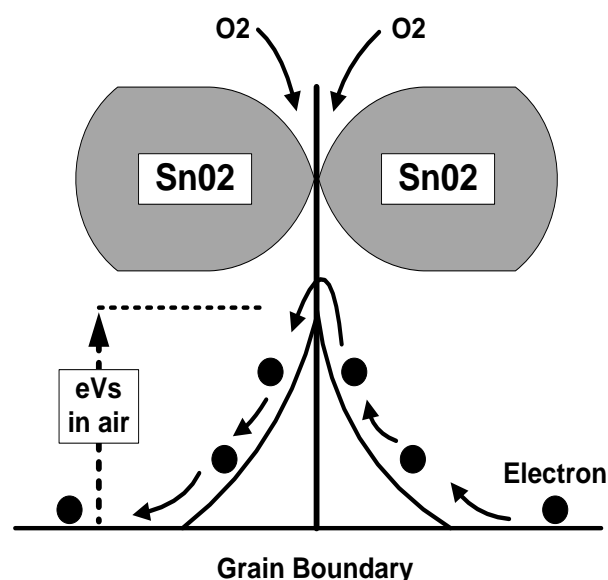
KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka merupakan rangkuman singkat yang komprehensif tentang semua materi terkait yang terdapat di dalam berbagai referensi. Bagian ini dapat disajikan dalam tampilan diskusi atau debat antar pustaka. Selain itu juga dapat menjelaskan tentang teknik, peralatan atau teknologi yang akan dan atau telah digunakan dalam penelitian yang akan sedang dilaksanakan. Uraian yang ditulis diarahkan untuk menyusun kerangka pendekatan atau konsep yang diterapkan dalam penelitian. Materi yang disampaikan diusahakan dari referensi terbaru dan sumber asli, misalkan dari jurnal, seminar, buku, dan sebagainya.

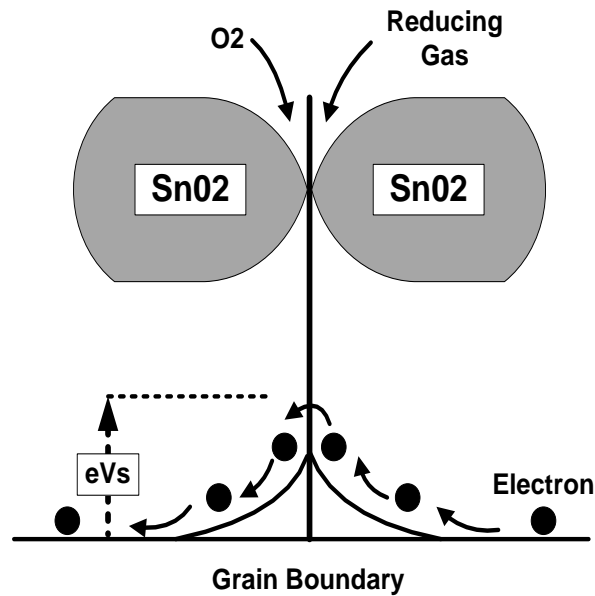
2.1 Sensor Gas

Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur senyawa gas polutan yang ada di udara, seperti karbonmonoksida, hidrokarbon, nitrooksida, dan lain-lain. Gas-gas polutan sudah tentu berbahaya bagi lingkungan, maka dari itu diperlukan adanya alat yang bisa mendeteksi keberadaan gas-gas berbahaya tersebut (Raharjo dkk, 2008). Sudah semakin banyak dipasaran telah beredar pengindra gas semikonduktor. Tentunya dibedakan oleh penguatan sensor tersebut, semakin maPage maka penguatan semakin bagus. Pengindra gas tersebut bekerja dengan prinsip bahwa semakin tinggi konsentrasi gas maka resistansinya semakin rendah. Banyak sekali tipe sensor gas yang digunakan dan tersedia dipasaran, seperti sensor gas untuk mendeteksi gas LPG yaitu tipe TGS 2610 dan sensor gas untuk mendeteksi gas carbone monoxide yaitu tipe HS 134. Pada pembahasan ini yang di bahas adalah Sensor Gas Type AF 30. Sensor ini terdiri dari bahan micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, active carbon filtering layer, terbuat juga dari bahan plastik dan jaringan besi. Partikel karbon aktif pada sensor ini dapat mengurangi interferensi dari gas NO_x, Akane, dan lain-lain. Sensor gas tipe TGS 2610 adalah sensor gas yang terbuat dari semikonduktor. Sensor gas semikonduktor dapat digunakan pada sistem analisis konvensional seperti kromatografi gas dan deteksi optikal (radiasi infra merah).

Interaksi pada analit di dalam fase gas dan material sensor dikonversi menjadi sinyal elektrik yang bisa diukur dan bisa berubah karena pengaruh konduktansi, kapasitansi, dan potensial pada elemen (Moos dkk, 2009). Bahan sensor berubah sehingga menghasilkan sinyal tertentu (Kanan dkk, 2009). Sensor gas ini relatif murah jika dibandingkan dengan sensor gas tipe lainnya, kuat, tahan lama, berbahan material yang mempunyai penguatan tinggi, dan mempunyai respon waktu yang cepat. Sensor jenis telah digunakan secara intensif untuk mengukur dan memonitor gas seperti CO dan NO₂ (Fine dkk, 2010). Ketika metal oksida (SnO₂) dihangatkan pada temperatur tertentu, oksigen akan diserap pada permukaan kristal dan oksigen akan bermuatan negatif. Page ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar, sehingga oksigen akan bermuatan negatif dan muatan positif akan terbentuk pada permukaan luar kristal. detektor dari sensor adalah metal oksida, khususnya senyawa SnO₂. Sensor semikonduktor metal oksida didesain untuk bereaksi pada satu kelas dari gas yang mana bahan ini mengalami reduksi dan oksidasi. Proses ini menyebabkan sensor semikonduktor metal oksida menukar elektron dengan gas target pada nilai karakteristik tertentu.



Gambar 2.1 Ilustrasi Penyerapan O₂ Oleh Sensor (Amril, 2010).



Gambar 2.2 Ilustrasi Ketika Sensor Mendeteksi Adanya Gas (Amril, 2010).

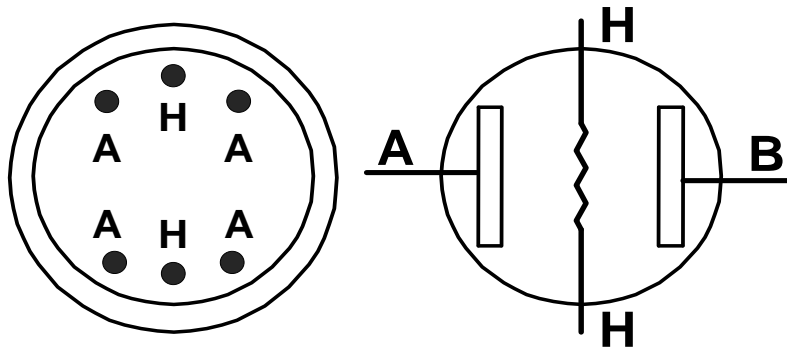
Tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran elektron seperti tampak pada ilustrasi Gambar 2.1. Di dalam sensor, arus elektrik mengalir melewati daerah sambungan (*grain boundary*) dari kristal SnO₂. Pada daerah sambungan, penyerapan oksigen mencegah muatan untuk bergerak bebas. Jika konsentrasi gas menurun, proses deoksidasi akan terjadi, rapat permukaan dari muatan negatif oksigen akan berkurang, dan akan mengakibatkan menurunnya ketinggian penghalang dari daerah sambungan. Dengan menurunnya penghalang maka resistansi sensor akan juga ikut menurun seperti pada Gambar 2.2.

Hubungan antara resistansi sensor dengan konsentrasi gas pada proses deoksidasi dapat ditunjukkan dengan Persamaan 2.1.

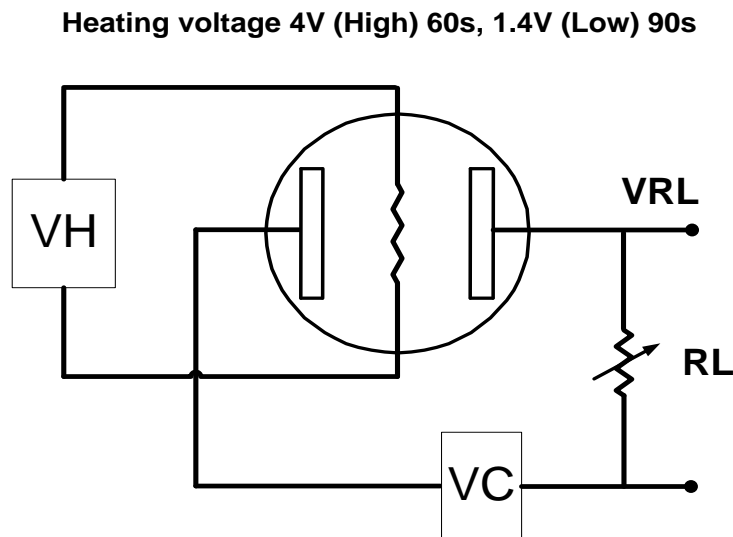
$$R = A[C]^{-\alpha} \quad (2.1)$$

keterangan :

- R : resistansi sensor
- A, α : Konstanta
- C : konsentrasi gas



Gambar 2.3 Konfigurasi Pin Pada Sensor Gas (Amril, 2010).



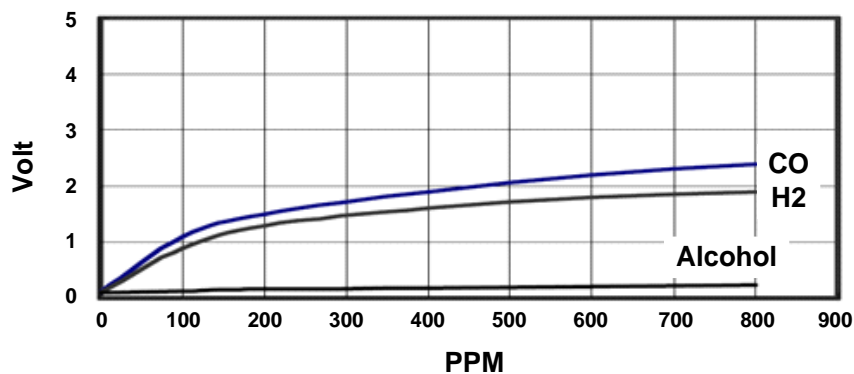
Gambar 2.4 Rangkaian Pada Sensor Gas (Amril, 2010).

HS 134 mempunyai 6 pin, 4 diantaranya digunakan untuk menangkap sinyal, dan 2 yang lain untuk pemanas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pencium utama pada rangkaian pendeteksi gas ini adalah sebuah sensor gas HS 134 yang di dalamnya terdapat kawat pemanas (*heater*) dari bahan nichrome yang berbentuk miniatur dengan nilai resistansi nominal 33 ohm, permukaan sensor dilapisi dengan *dioxide* (SnO_2) yang tahan terhadap panas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. HS 134 ini sangat peka terhadap gas carbone monoxide dan cara kerjanya sederhana. Jika molekul gas menyentuh permukaan sensor maka satuan resistansinya akan mengecil sesuai dengan konsentrasi gas.

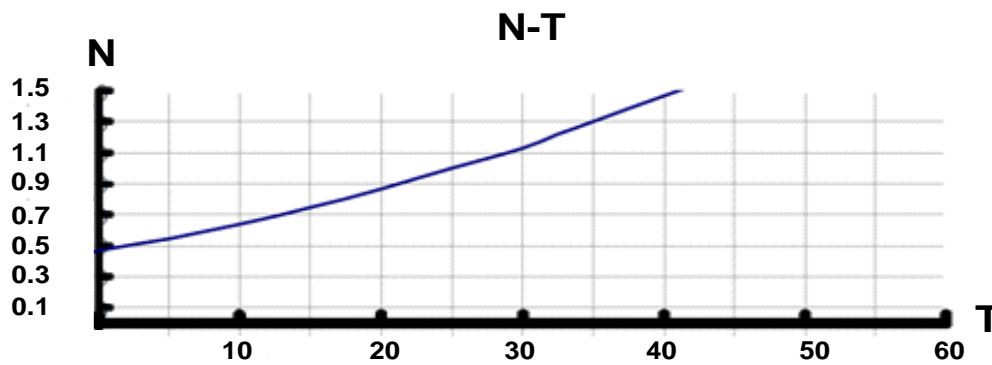
Sebaliknya, jika konsentrasi gas menurun akan diikuti dengan semakin tingginya resistansi maka tegangan keluarannya akan menurun. Dengan demikian perubahan konsentrasi gas dapat mengubah nilai resistansi sensor dan juga akan mempengaruhi tegangan keluarannya juga, perbedaan inilah yang dijadikan acuan bagi pendeteksi gas berbahaya ini. Rangkaian pengukuran standar terdiri dari 2 bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, yang pertama adalah rangkaian pemanas yang mempunyai fungsi kontrol waktu (tegangan tinggi dan tegangan rendah). Yang kedua adalah rangkaian keluaran, rangkaian ini dapat merespon perubahan resistansi dari permukaan sensor secara akurat. V_c merupakan tegangan suplai rangkaian sensor gas sedangkan V_{RL} adalah tegangan pada beban RL. Resistansi permukaan R_s diperoleh dari analisa tegangan keluaran terhadap resistansi beban RL dalam rangkian seri yang ditunjukkan dengan Persamaan 2.2.

$$\frac{R_s}{RL} = \frac{(V_c - V_{RL})}{V_{RL}} \quad (2.2)$$

Pada Gambar 2.5 adalah kurva relatif antara sinyal keluaran V_{RL} (diukur menggunakan rangkaian pada Gambar 2.4 dan konsentrasi gas CO. Berikut ini adalah kurva sinyal keluaran ketika kondisi sensor berpindah dari udara bersih menuju kondisi di mana terdapat gas CO yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Data ini diukur sesudah proses periode heating 2.5 menit dari voltase tinggi menuju ke voltase rendah.



Gambar 2.5 Hubungan Antara Tegangan Keluaran Sensor Gas HS 134 dan Konsentrasi Gas CO (Amril, 2010).



Gambar 2.6 Kurva Hubungan Antara Suhu dan Penguatan (Amril, 2010).

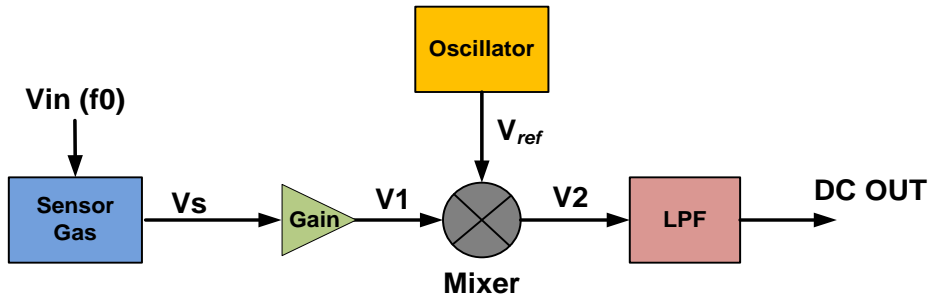
Pada Gambar 2.6 menunjukkan kurva dimana suhu lingkungan akan mempengaruhi penguatan. Pada konsentrasi CO yang berbeda, nilai resistansi HS 134 juga berbeda. Jadi sangat penting untuk mengatur penguatan dengan langkah-langkah sebagai berikut,

- a. Hubungkan sensor dengan rangkaian aplikasi
- b. Nyalakan power, preheating 48 jam.
- c. Atur resistansi beban RL sampai mendapatkan sinyal yang sesuai dengan konsentrasi CO.

2.2 Penguat Lock-In

Penguat lock-in merupakan sebuah penguat yang dapat mengukur sinyal pada lebar frekuensi yang sangat sempit, artinya penguat ini dapat mendeteksi sinyal AC yang sangat kecil walaupun sinyal tersebut terkena gangguan derau yang lebih besar dari sinyal aslinya (Armen, 2008; Lacopini, 1983; Li, 2013; Gaspar, 2003; Sonnaillon, 2005). Kemampuan utama penguat lock-in ini disebut juga dynamic reserve. Dynamic reserve berarti rasio sinyal kepada derau yang optimal, artinya semakin besar *signal-to-noise ratio* (SNR) maka sinyal itu semakin baik karena perbandingan sinyal asli dan sinyal derau sangat kecil, dengan kata lain dynamic reserve yaitu rasio sinyal pada derau yang masih dapat ditoleransi (satuan dB). Sebagai contoh, sinyal masukan sebesar $1\mu\text{V}$ dengan dynamic reserve 60 dB berarti derau sebesar 1 mV (60 dB lebih besar dari sinyal

masuk) masih dapat ditoleransi pada masukan tanpa *overload* (Hernandez dkk, 2014). Untuk mendapatkan *dynamic reserve* dilakukan dengan cara mengatur penguatan sinyal (*gain*) pada nilai yang kecil sehingga keluaran dari PSD juga kecil. Kemudian LPF menapis derau yang besar yang menyisakan sinyal DC untuk dikuatkan. Untuk dapat melakukan Page tersebut, penguat lock-in harus memiliki sinyal referensi yang frekuensinya sama dan harus memiliki beda fasa 0° dengan sinyal yang mau diukur. Jika sinyal yang mau diukur adalah sinyal DC, maka sinyal DC tersebut harus dimodulasi terlebih dahulu dengan sinyal AC [4]. Dalam menjalankan fungsinya penguat lock-in melakukan proses yang disebut signal mixing dan frequency shifting. Teknik ini biasanya disebut dengan *phase sensitive detection* (PSD). PSD secara umum adalah sebuah sistem yang dapat melakukan sinkronisasi antara sinyal data dan sinyal referensi yang bertujuan untuk mendeteksi sinyal data pada frekuensi tertentu (Lacopini, 1983; Hernandez dkk, 2014; Sonnaillon, 2005). Hal ini dilakukan dengan cara memasukkan sinyal masukan menuju komparator agar menghasilkan gelombang kotak. Gelombang kotak tersebut digunakan untuk mengontrol *switch* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Page ini dilakukan agar dapat mengetahui mana sinyal data dan mana yang merupakan sinyal derau, dengan demikian sinyal data dapat dipisahkan dengan sinyal derau secara optimal (Masciotti, 2008). PSD merupakan jantung dari penguat lock-in yang kemampuan utamanya adalah dapat memisahkan sinyal data dari sinyal derau walaupun sinyal derau tersebut lebih besar dari sinyal data. PSD pada penelitian kali ini menggunakan teknik demodulasi sinyal sinus dimana sinyal data dikalikan dengan sinyal referensi sinus (Scofield, 1994). Teknik ini memiliki keunggulan yaitu memiliki nilai error hanya 1% dan distorsi harmonik sebesar 0.1% (Bengtsson, 2012; Gooch dkk, 1996). Diagram blok dari penguat lock-in ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram Blok Penguat Lock-in (Armen, 2008; Scofield, 1994).

Sinyal keluaran dari diagram blok di atas ditunjukkan dengan Persamaan 2.3. Berdasarkan Gambar 2.7 Persamaan sistem DLIA adalah sebagai berikut :

Sinyal $V_s(t)$ relatif bervariasi dengan lambat sebagaimana pada Persamaan 2.3

$$V_1 = V_s(t) \cos \omega t \quad (2.3)$$

Sinyal pada Persamaan 2.4 bermodulasi pada frekuensi tinggi, ini adalah local osilator yang mempunyai amplitude tetap yang mempunyai fasa variabel ϕ and frekuensi osilator ω sama dengan frekuensi modulasi.

$$V_{ref} = \cos(\omega t + \phi) \quad (2.4)$$

Mixer V_1 dikalikan dengan V_{ref} seperti pada Persamaan 2.5

$$V_1 \times V_{ref} = V_2 = \frac{1}{2} V_s(t) \cos \omega t + \frac{1}{2} V_s \cos(2\omega t + \phi) \quad (2.5)$$

Jika sinyal V_2 dimasukkan LPF, maka akan menjadi sinyal seperti Persamaan 2.6

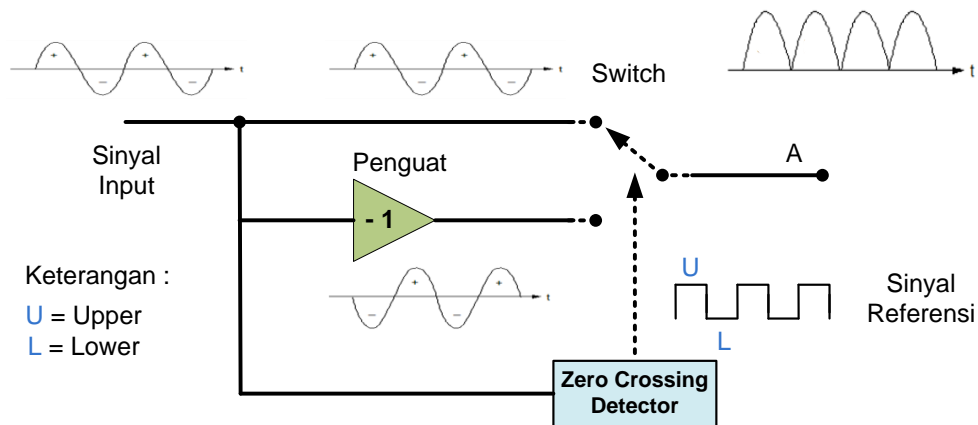
$$V_2 = V_s(t) \cos \phi \quad (2.6)$$

Jika terdapat derau pada V_1 maka sinyal akan menjadi seperti Persamaan 2.7

$$V_1 = V_s(t) \cos \omega t + n(t) \cos(\omega t + \phi)$$

$$V_2 = \frac{1}{2} V_s(t) \cos \phi + \frac{1}{2} V_s(t) \cos(2\omega t + \phi) + n(t) \cos(\omega t + \phi) \quad (2.7)$$

Persamaan ke-3 adalah derau yang memiliki frekuensi ω , jika LPF diimplementasikan pada persamaan itu dan f_c lebih kecil dari $\frac{\omega}{2}$ maka sinyal komponen derau akan hilang (Dening, 1976; Armen, 2008; Gaspar, 2003).

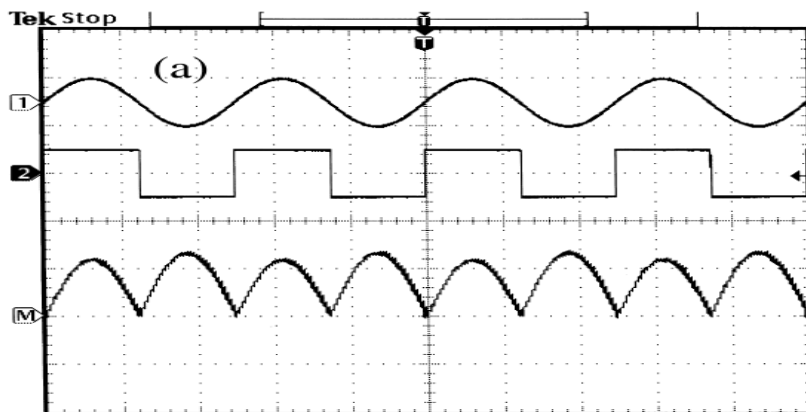


Gambar 2.8 Diagram Blok PSD.

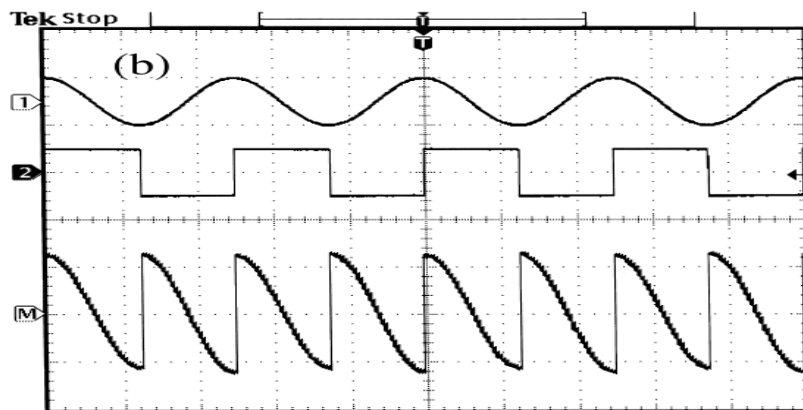
Penguat lock-in bekerja berdasarkan sistem PSD (*Phase Sensitive Detection*) yaitu menyearahkan kemudian menapis sinyal pada frekuensi tertentu. PSD terdiri dari tiga komponen dasar yaitu saklar sinkron (*switch*), penguat, dan zero crossing detector seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pertama-tama saklar sinkron bekerja berdasarkan periode dari sinyal referensi T_m dan frekuensi sinyal referensi f_m yang ditunjukkan dengan Persamaan 2.8,

$$T_m = \frac{1}{f_m} \quad (2.8)$$

pada posisi upper sinyal referensi, saklar sinkron membiarkan sinyal diteruskan tanpa ada perubahan, dan pada posisi lower, sinyal diteruskan tetapi polaritasnya berlawanan. Jika sinyal masukan sinusoidal yang mempunyai frekuensi yang sama terhadap sinyal referensi maka sinyal pada titik A akan bergantung pada sudut fasa ϕ antara sinyal referensi dan sinyal masukan. Pada sudut fasa $\phi = 0^\circ$, kedua sinyal mempunyai fasa yang sama dan hasil pada titik A sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9 dimana gelombang sinus disearahkan. Jika sinyal diteruskan menuju penguat / penapis dengan *time constant* τ maka sinyal akan menjadi DC yang nilainya akan sesuai dengan amplitude V_0 . Bagaimanapun juga jika perbedaan sudut fasa antara sinyal masukan dan referensi adalah 90° , maka sinyal pada titik A akan simetris pada 0 volt, dan keluaran dari penguat / penapis akan 0 volt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Sonnaillon, 2005).



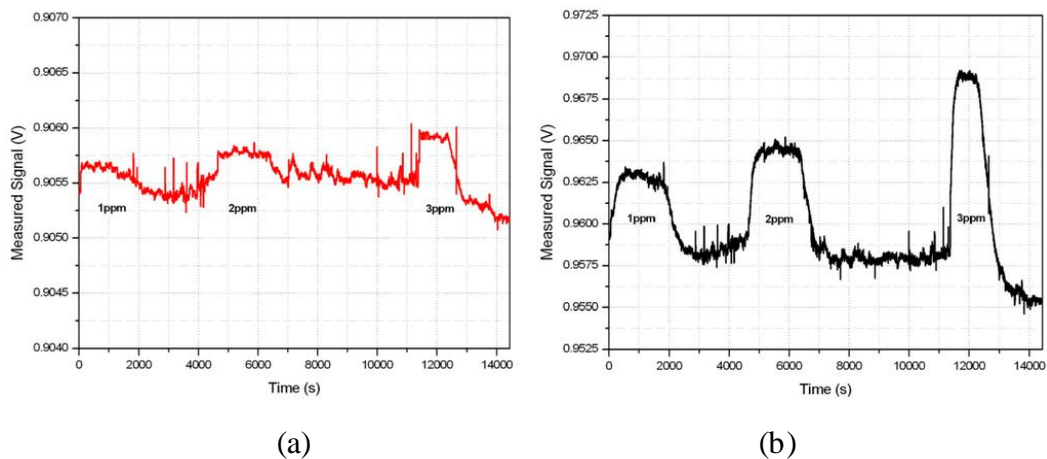
Gambar 2.9 Sinyal Referensi (kotak) Memiliki $\phi = 0^\circ$.



Gambar 2.10 Sinyal Referensi (kotak) Memiliki $\phi = 90^\circ$.

Kemudian jika $\phi = 180^\circ$ maka keluaran akan menjadi $-V_0$. Secara kualitatif, sistem ini juga dapat mengurangi derau secara signifikan. Jika sinyal masukan memiliki frekuensi yang tidak sama dengan frekuensi sinyal referensi maka fasa ϕ akan berubah secara konstan, dan hasilnya sinyal keluaran sebesar 0 volt (Bengtsson, 2012; Wolfson, 1991).

Penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa penguat lock-in dapat meningkatkan penguatan sensor gas sampai 25 kali. Jadi sinyal keluaran langsung dari sensor gas berkonsentrasi rendah yang menggunakan pengkondisi sinyal berupa pembagi tegangan biasa dibandingkan dengan sinyal keluaran dari sensor gas berkonsentrasi rendah yang menggunakan penguat lock-in dimana grafiknya ditunjukkan pada Gambar 2.11.

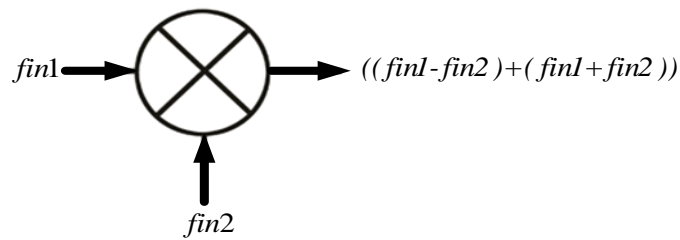


Gambar 2.11 Keluaran dari Penguat Lock-in : (a) Dari Pembagi Tegangan Biasa; (b) Dari Penguat Lock-in (Hernandez dkk, 2014).

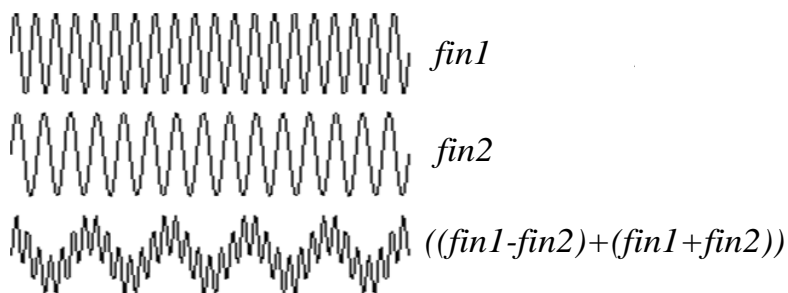
Pada Gambar 2.11 terlihat perbedaan respon sinyal ketika sensor gas berkonsentrasi rendah mendeteksi gas dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 1 ppm, 2 ppm, dan 3 ppm. Terlihat bahwa sinyal yang berasal dari penguat lock-in (hitam) memiliki penguatan yang jauh lebih tinggi daripada sinyal yang berasal dari pembagi tegangan biasa (merah) (Hernandez dkk, 2014). Dari Gambar 2.12 juga dapat disimpulkan bahwa SNR sinyal keluaran dari penguat lock-in jauh lebih besar dari SNR sinyal keluaran dari pembagi tegangan biasa. Dengan kata lain penguat lock-in dapat meningkatkan penguatan dan SNR.

2.3 Mixer

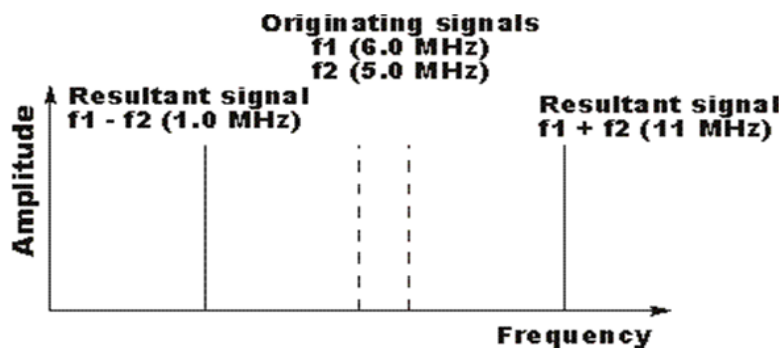
Mixer adalah sebuah sistem nonlinear yang menghasilkan frekuensi baru dari dua buah sinyal masukan. Pada kebanyakan aplikasi, dua sinyal masukan yang memiliki frekuensi f_{in1} dan f_{in2} akan menghasilkan sinyal-sinyal baru yang memiliki frekuensi $f_{in1}+f_{in2}$ dan $f_{in1}-f_{in2}$ dari frekuensi sinyal (Niknejad dkk, 2005). *Mixer* biasanya banyak digunakan untuk menggeser frekuensi sinyal menuju frekuensi sinyal yang lain. Prinsip dari proses ini adalah untuk memindah sinyal yang diterima menuju frekuensi antara. Simbol mixer ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Simbol Mixer (Marki dkk, 2010).



Gambar 2.13 Sinyal A, Sinyal B, dan Sinyal Keluaran (Marki dkk, 2010).



Gambar 2.14 Respon Frekuensi Sinyal A, Sinyal B, dan Sinyal (Marki dkk, 2010).

Mixer adalah proses *non-linear* yang melibatkan tingkat sesaat dari satu sinyal yang mempengaruhi tingkat yang lainnya pada keluaran. Pada Gambar 2.13, sinyal yang memiliki frekuensi $fin1$ dan $fin2$ merupakan masukan dari *mixer* yang masing-masing memiliki frekuensi 6.0 MHz dan 5.0 MHz. Maka respon frekuensinya dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan untuk bentuk gelombangnya dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Jika dua buah sinyal masukan direpresentasikan pada Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 dimana A dan B adalah amplitude, f adalah frekuensi, dan t adalah waktu dalam satuan detik,

$$V_1 = A \sin(2\pi f_1 t) \quad (2.9)$$

$$V_2 = B \sin(2\pi f_2 t) \quad (2.10)$$

oleh karena kedua sinyal yang direpresentasikan pada Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 akan dikalikan, maka digunakan ekspresi trigonometri yang ditunjukkan dengan Persamaan 2.11.

$$\sin(A) \times \sin(B) = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)] \quad (2.11)$$

Perkalian dua sinyal masukan pada Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 menghasilkan ekspresi trigonometri yang ditunjukkan pada Persamaan 2.12.

$$V_1 \times V_2 = \frac{(A \times B)}{2} [\cos(2\pi \{f_1 - f_2\} t)] - \cos(2\pi \{f_1 + f_2\} t)] \quad (2.12)$$

Dari Persamaan 2.10 dapat dilihat bahwa terdapat penjumlahan frekuensi dan pengurangan frekuensi dari frekuensi sinyal masukan (Marki dkk, 2010; Schilcher, 2007).

2.4 Filter Digital IIR

Filter digital memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan filter analog, baik dalam performa yang lebih tinggi dengan *transition zone* yang lebih kecil, ketahanan, serta fleksibilitas dalam menentukan range kerjanya. Karena faktor-faktor ini, filter digital merupakan elemen penting dalam bidang DSP (*Digital Signal Processing*). Yang perlu diingat disini bahwa *infinite impulse response* (IIR) dalam Page ini bukan berarti filter yang bekerja dari nilai negatif tak hingga sampai positif tak hingga. Pengertian sederhana untuk infinite impulse respon filter disini adalah bahwa keluaran filter merupakan fungsi dari kondisi masukan sekarang, masukan sebelumnya dan keluaran di waktu sebelumnya. Konsep ini kemudian lebih kita kenal sebagai recursive filter, yang mana

melibatkan proses feedback dan feed forward. Filter digital IIR mempunyai beberapa kelebihan diantaranya adalah memiliki hasil desain dengan koefisien yang jauh lebih sedikit dibanding dengan FIR pada orde yang sama. Jadi filter IIR dapat meringankan beban komputasi sehingga proses pengolahan sinyal digital bisa lebih cepat dan tidak memakan banyak memori (Schafer dkk, 2006). Persamaan beda $y[n]$ yang menghubungkan masukan dengan keluaran dinyatakan dalam Persamaan 2.13.

$$y[n] = \sum_{l=1}^n a_l y[n-1] + \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] \quad (2.13)$$

keterangan :

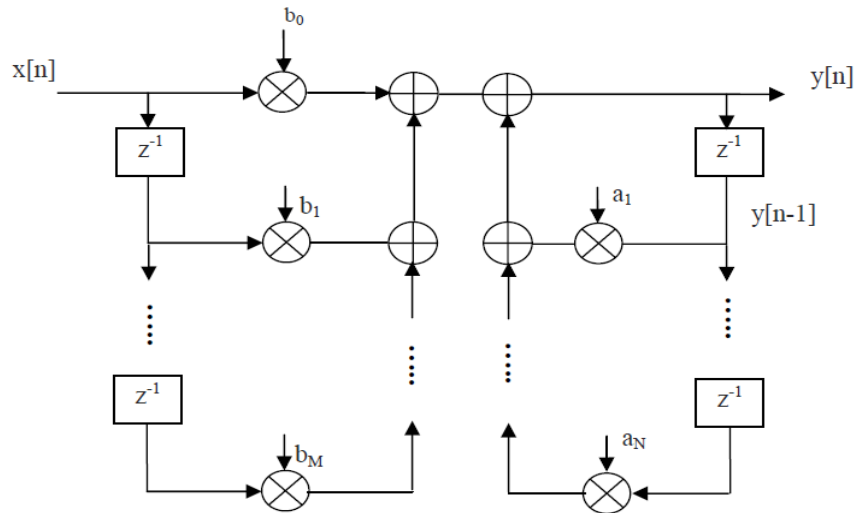
$\{b_k\}$ koefisien *feed forward*

$\{a_l\}$ koefisien *feed back*

banyaknya (total koefisien) = M+N+1

N ditetapkan sebagai orde filter IIR.

Untuk merealisasikan ke dalam sebuah program simulasi atau perangkat keras maka bentuk persamaan diatas dapat disederhanakan ke dalam diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Untuk implementasi sebuah low pass filter bersifat narrow-band menggunakan sebuah filter IIR merupakan pilihan yang sangat sulit tetapi masih mungkin dilakukan. Satu alasannya adalah penentuan orde yang tepat sehingga menghasilkan bentuk yang tajam pada respon frekuensi itu relatif sulit. Pada domain unit circle bidang z sering ditandai dengan letak pole-pole yang ada diluar lingkaran, Page ini secara fisis memberikan arti bahwa filter yang dihasilkan tidak stabil.



Gambar 2.15 Diagram Blok Filter IIR (Santoso dkk, 2008; Savitri dkk, 2009).

Berdasarkan persamaan beda maka diagram pada Gambar 2.16 dapat dijabarkan dengan Persamaan 2.14.

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + b_2x(n-2) + a_1y(n-1) + a_2y(n-2) \quad (2.14)$$

Berdasarkan teknik desainnya filter IIR dapat dikategorikan dalam beberapa teknik desain. Teknik desain IIR didasarkan pada transformasi bilinear dari prototipe fungsi transfer analog. Fungsi transfer analog biasanya salah satu dari fungsi transfer : Butterworth, Chebishev tipe 1, Chebishev tipe 2, dan Elliptic (Fessler dkk, 2004). Perbedaan antara tipe-tipe filter tersebut dapat digelaskan dengan melihat filter lolos bawah (*lowpass*) analog berikut, Fungsi transfer lolos bawah Butterworth mempunyai tanggapan magnitudo mendatar maksimum dan tanggapan magnitudo berkurang secara mendatar dengan frekuensi bertambah.

Fungsi transfer lolos bawah Chebishev tipe 1 mempunyai tanggapan magnitudo dengan riak setimbang pada pita lolos dan tanggapan magnitudo berkurang secara mendatar dengan frekuensi bertambah di sebelah luar pita lolos.

Fungsi transfer lolos bawah Chebishev tipe 2 mempunyai tanggapan magnitudo berkurang secara mendatar pada pita lolos dengan frekuensi bertambah dan tanggapan magnitudo riak setimbang pada pita cegah.

Fungsi transfer lolos bawah Elliptic mempunyai tanggapan magnitudo riak setimbang pada kedua pita, pita lolos maupun pita cegah.

2.5 Mikroprosesor ARM STM32F4 DISCOVERY

Chip yang digunakan untuk pengolahan sinyal pada sistem ini adalah mikroprosesor ARM yang memiliki kecepatan clock jauh lebih besar dari keluarga AT-mega dan AT-tiny. Selain itu ARM juga memiliki fasilitas yang memungkinkan pengolahan sinyal digital dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Mikroprosesor ARM memiliki arsitektur prosesor 32-bit RISC yang dikembangkan oleh ARM Limited. Dikenal sebagai Advanced RISC Machine dimana sebelumnya dikenal sebagai Acorn RISC Machine. Pada awalnya merupakan prosesor desktop yang sekarang didominasi oleh keluarga x86. Namun desain yang sederhana membuat prosesor ARM cocok untuk aplikasi berdaya rendah. Page ini membuat prosesor ARM mendominasi pasar mobile elektronik dan sistem embedded dimana hanya membutuhkan daya dan harga yang rendah. Pada penelitian ini akan digunakan mikroprosesor ARM STM32F4 DISCOVERY karena telah memiliki DAC dan ADC internal yang dapat memudahkan dalam perancangan penguat lock-in digital, karena dengan begitu perancangan sistem tidak membutuhkan banyak sekali perangkat keras (STMicroelectronics, 2014). Perangkat keras ARM STM32F4 DISCOVERY ditunjukkan pada Gambar 2.16.



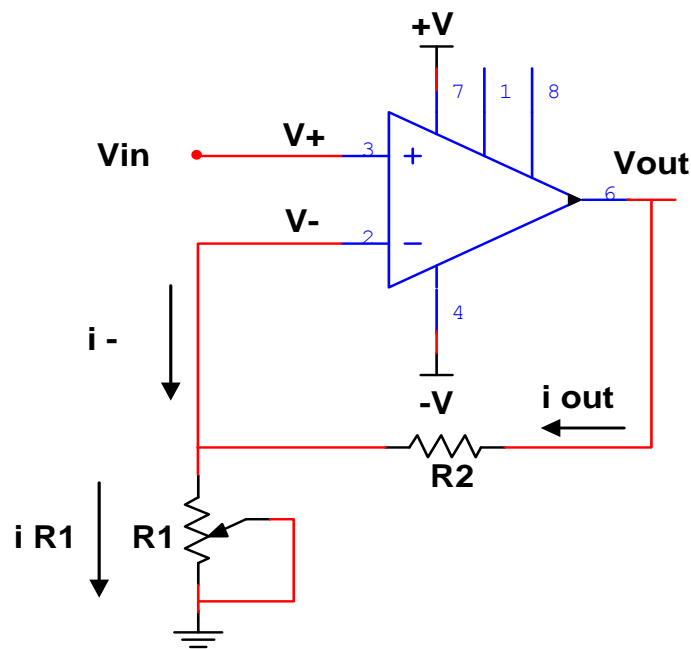
Gambar 2.16 Bentuk dari Mikroprosesor ARM STM32F4 DISCOVERY (STMicroelectronics, 2014).

Fasilitas-fasilitas yang dimiliki oleh mikroprosesor ARM STM32F4 antara lain :

- STM32F407VGT6 mempunyai 32-bit ARM® Cortex® -M4 dengan FPU core, memori 1-Mbyte Flash, 192-Kbyte RAM dalam LQFP100.
- ST-LINK/V2 yang terintegrasi dengan STM32F4DISCOVERY (versi lama) atau ST-LINK/V2-A on STM32F407G-DISC1 (versi baru).
- USB ST-LINK dengan kemampuan enumerasi dan tiga antarmuka yang berbeda:
 - Port debug
 - Com port virtual
 - Mass storage
- Catu daya yang terintegrasi: melalui USB atau dari eksternal 5 V
- Eksternal power suplai: 3 V dan 5 V
- LIS302DL atau LIS3DSH ST MEMS 3-axis accelerometer.
- MP45DT02 ST-MEMS audio sensor omni-directional digital microphone
- CS43L22 audio DAC dengan driver speaker class D yang terintegrasi
- Delapan buah LEDs:
- LD1 (merah/hijau) untuk komunikasi USB
- LD2 (merah) untuk 3.3 V power on
- Empat LED untuk user, LD3 (oranye), LD4 (hijau), LD5 (merah) and LD6 (biru)
- 2 USB OTG LEDs LD7 (hijau) VBUS and LD8 (merah) over-current
- Dua push-buttons (user and reset)
- USB OTG FS dengan konektor micro-AB
- Header ekstensi untuk semua LQFP100 I/Os untuk koneksi cepat menuju board dan proses probing yang mudah
- Software gratis termasuk contoh-contoh program, semisal STM32CubeF4 atau STSW-STM32068 untuk digunakan sebagai library standard.

2.6 Rangkaian *Non-Inverting*

Penguat operasional atau yang dikenal sebagai Op-Amp merupakan suatu rangkaian terintegrasi atau IC yang memiliki fungsi sebagai penguat sinyal, dengan beberapa konfigurasi. Secara ideal Op-Amp memiliki impedansi masukan dan penguatan yang tak berhingga serta impedansi keluaran sama dengan nol. Dalam prakteknya, Op-Amp memiliki impedansi masukan dan penguatan yang besar serta impedansi keluaran yang kecil. Banyak rangkaian elektronika yang memerlukan penguatan tegangan atau arus yang tinggi tanpa terjadi pembalikan (*inversion*) isyarat. Penguat op-amp tak-membalik (*noninverting op-amp*) didesain untuk keperluan ini. Rangkaian ini dapat digunakan untuk memperkuat isyarat AC maupun DC dengan keluaran yang tetap sefase dengan masukan. Impedansi masukan dari rangkaian ini berharga sangat tinggi dengan nilai sekitar $100\text{ M}\Omega$. Dengan isyarat masukan dikenakan pada terminal masukan *non-inverting*, besarnya penguatan tegangan tergantung pada harga $R1$ dan $R2$. Penguat non inverting ini memiliki masukan yang dibuat melalui masukan non-inverting. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan masukannya (Roberge, 1975). Rangkaian penguat *non-inverting* ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rangkaian penguat *non-inverting* (Roberge, 1975).

Persamaan yang menunjukkan tegangan pada masukan op-amp ditunjukkan pada Persamaan 2.15.

$$V_+ = V_- = V_{in} \quad (2.15)$$

Arus pada hambatan R_2 dan arus pada hambatan R_1 ditunjukkan pada Persamaan 2.16.

$$i_{R1} = V_{in} / R_1$$

$$i_{out} = \frac{(V_{out} - V_{in})}{R_2} \quad (2.16)$$

Hukum kirchhof pada titik masukan *inverting* ditunjukkan pada Persamaan 2.17.

$$i_{out} + i_{(-)} = i_{R1} \quad (2.17)$$

Arus yang masuk dalam op-amp adalah nol, $i_- = 0$ maka persamaan keluaran op-amp ditunjukkan pada Persamaan 2.18.

$$i_{out} = i_{R1}$$

$$\frac{(V_{out} - V_{in})}{R_2} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

yang kemudian dapat disederhanakan menjadi :

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (2.18)$$

Jika penguatan G adalah perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka didapat penguatan op-amp non-inverting ditunjukkan pada Persamaan 2.19.

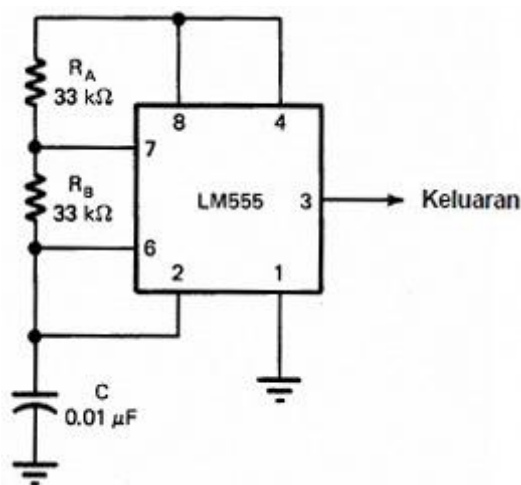
$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.19)$$

Impedansi untuk rangkaian Op-amp non-inverting adalah impedansi dari masukan op-amp non-inverting tersebut.

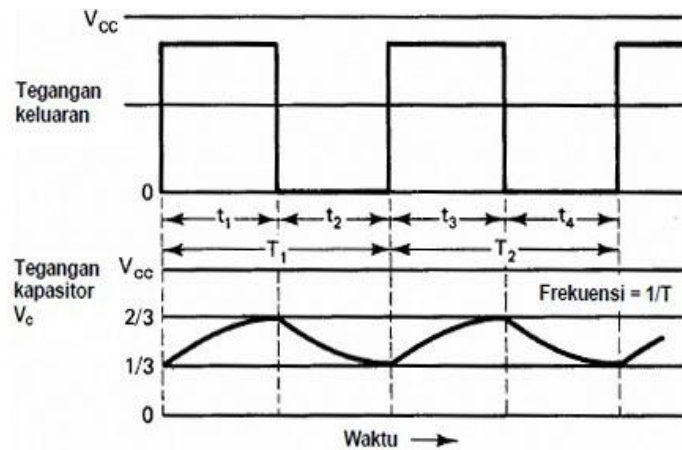
2.7 Rangkaian *Astable Multivibrator*

Astable multivibrator yang dibangun menggunakan IC pembangkit gelombang 555 cukup sederhana, karena hanya menambahkan fungsi rangkaian tanki selain IC 555 itu sendiri. IC pembangkit gelombang 555 merupakan chip yang didesain khusus untuk keperluan pembangkit pulsa pada multivibrator dan timer. *Tank circuit* yang digunakan untuk membuat *multivibrator* astabil dengan IC 555 cukup menggunakan resistor (R) dan kapasitor (C). Rangkaian dasar multivibrator astabil yang dibangun menggunakan IC 555 dapat dilihat pada gambar rangkaian berikut (Bahri, 2013).

Pada rangkaian tank circuit multivibrator astabil dengan IC 555 diperlukan dua resistor, sebuah kapasitor. Kemudian untuk merangkai tank circuit tersebut resistor R_A dihubungkan antara +VCC dan terminal discharger (pin 7). Resistor R_B dihubungkan antara pin 7 dengan terminal treshod (pin 6). Kapasitor dihubungkan antara pin treshold dan ground. Triger (pin 2) dan masukan treshold (pin 6) dihubungkan menjadi satu. Pada saat sumber tegangan pertama kali diberikan, kapasitor akan terisi melalui R_A dan R_B . Ketika tegangan pada pin 6 ada naik di atas dua pertiga VCC, maka terjadi perubahan kondisi pada komparator 1. Ini akan me-reset flip-flop dan keluarannya akan berubah ke positif. Keluaran (pin 3) berubah low dan basis Q1 mendapat bias maju. Q1 mengosongkan muatan C lewat R_B ke ground.



Gambar 2.18 Rangkaian dasar *astable multivibrator* (Bahri, 2013).



Gambar 2.19 Sinyal keluaran *astable multivibrator* (Bahri, 2013).

Ketika tegangan pada kapasitor C turun sampai di bawah sepertiga V_{CC} , ini akan memberikan energi ke komparator 2. Antara triger (pin 2) dan pin 6 masih terhubung bersama. Komparator 2 menyebabkan tegangan positif pada masukan set dari flip-flop dan memberikan keluaran negatif. Keluaran (pin 3) akan berubah ke harga $+V_{CC}$ dan terjadi proses pengosongan melalui (pin 7). Kemudian C mulai terisi lagi ke harga V_{CC} melalui RA dan RB. Kapasitor C akan terisi dengan harga berkisar antara sepertiga dan dua pertiga V_{CC} .

Frekuensi keluaran *astable multivibrator* dinyatakan sebagai $f = 1/T$. Ini menunjukkan sebagai total waktu yang diperlukan untuk pengisian dan pengosongan kapasitor C. Waktu pengisian ditunjukkan oleh jarak t_1 dan t_3 . Waktu pengosongan diberikan oleh t_2 dan t_4 . Frekuensi kerja astabil multivibrator dengan IC 555 diatas dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(RA + 2RB)C} \quad (2.20)$$

Nilai resistansi RA dan RB sangat penting untuk pengoperasian *astable multivibrator*. Jika RB lebih dari setengah harga RA, rangkaian tidak akan beresilasi. Harga ini mengPageangi sinyal triger turun dari harga dua pertiga V_{CC} ke sepertiga V_{CC} . Ini berarti IC tidak mampu untuk memicu kembali secara mandiri atau tidak siap untuk operasi berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

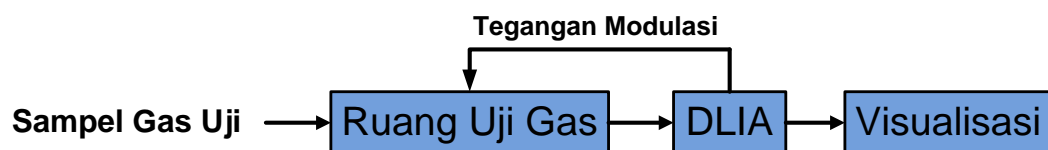
BAB 3

METODE PENELITIAN

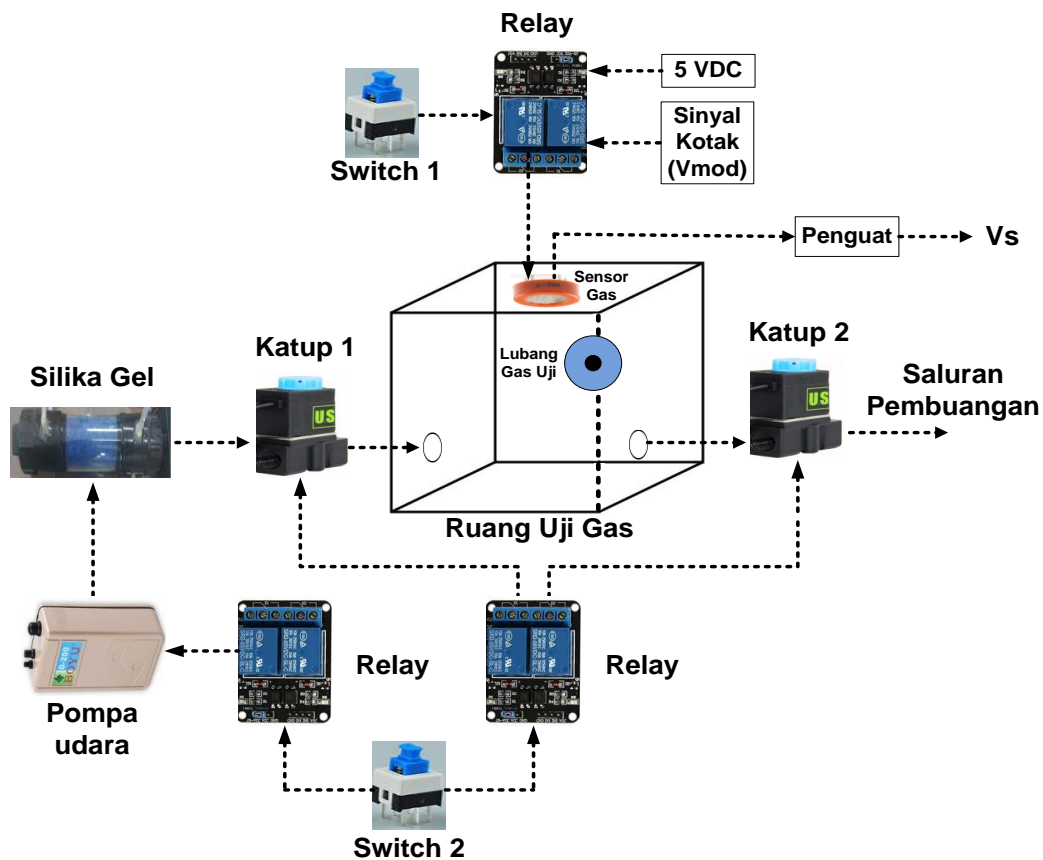
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai diagram blok sistem, perancangan dan pembuatan DLIA, baik perangkat keras dan perangkat lunak, prosedur pengambilan data dan analisa data, dan proses identifikasi gas.

3.1 Deskripsi Sistem

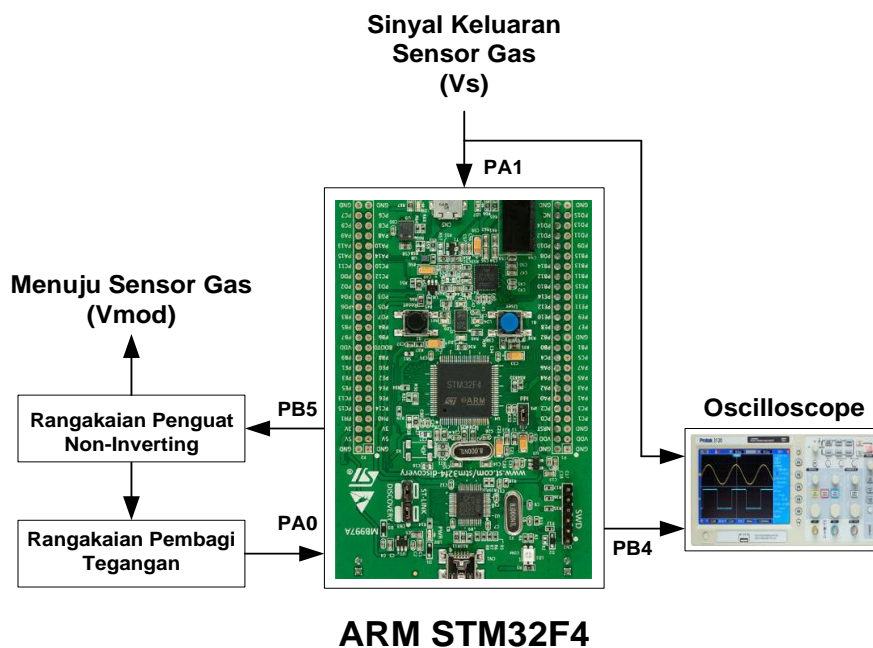
Perancangan dan pembuatan sistem sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan penelitian ini. Untuk mempermudah dalam proses perancangan dan pembuatan sistem diperlukan diagram blok sistem secara umum, sistem perangkat keras, dan perangkat lunak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, Gambar 3.2, dan Gambar 3.3. Prinsip kerja dari blok diagram secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1. Blok diagram secara umum terdiri dari sampel gas uji sebagai masukan dari blok ruang uji gas, blok DLIA yang berfungsi sebagai pemrosesan sinyal digital, dan blok visualisasi. Sampel gas uji yang digunakan adalah gas alkohol dan gas sisa pembuangan kendaraan bermotor. Ilustrasi detail dari blok ruang uji gas ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pompa udara berfungsi untuk sumber sumber aliran udara yang berfungsi menyalurkan udara ke ruang uji sampel gas. Sebelum masuk ke ruang uji, udara harus melewati silika gel yang berfungsi sebagai pengering udara atau dengan kata lain menghilangkan kandungan air dalam udara. Jadi jika ruang uji sampel gas harus terisi dengan udara kering agar hasil pengukuran bisa presisi dan valid. Katup 1 dan 2 berfungsi untuk mengontrol aliran udara yang masuk ruang uji, jadi ketika proses pembersihan sampel gas, pompa aktif, katup 1 dan 2 terbuka, ketika proses penyuntikan sampel gas, pompa mati dan katup 1 dan 2 tertutup.



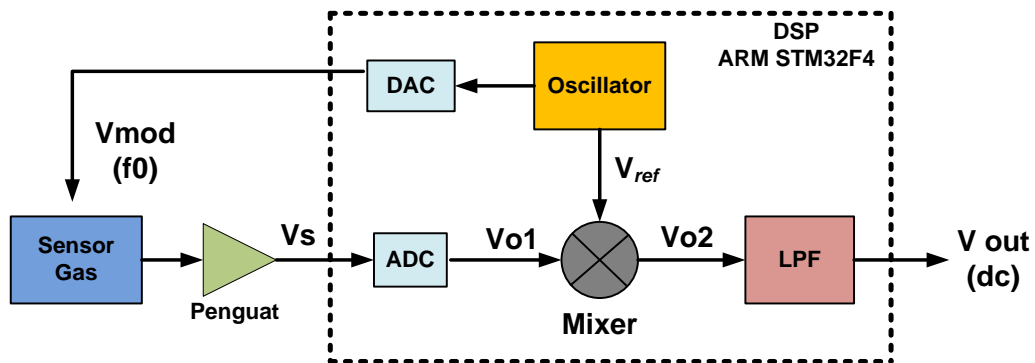
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Secara Umum.



Gambar 3.2 Diagram blok ruang uji gas.



Gambar 3.3 Diagram blok perangkat keras DLIA.



Gambar 3.4 Diagram blok sistem penguat *lock-in* digital.

Pada Gambar 3.2 katup udara berfungsi untuk membuka-tutup saluran udara yang masuk ataupun keluar ruang gas uji. Kemudian switch 2 berfungsi untuk mengaktifkan pompa, katup 1, dan katup 2. Ketika pompa, katup 1, dan katup 2 aktif maka sedang berlangsung proses pembersihan ruang uji sampel. Kemudian switch 1 berfungsi sebagai pemindah sumber suplai dari tegangan modulasi menuju ke tegangan dc atau sebaliknya. Pemindahan sumber suplai ini nantinya berfungsi sebagai pembanding antara sistem yang tidak memakai DLIA dan yang memakai DLIA, jadi yang memakai DLIA menggunakan tegangan suplai modulasi dan yang tidak memakai DLIA menggunakan tegangan suplai dc 5V. Cara memindah tegangan suplai ini adalah dengan memanfaatkan modul relay arduino dan kontrol pemindahan tegangan suplai ini dilakukan oleh switch suplai sensor gas. Rangkaian penguat non-inverting berfungsi untuk menguatkan sinyal modulasi (sinyal kotak dengan frekuensi 1 KHz) yang berasal dari pin DAC mikroprosesor ARM STM32F4 karena sensor gas membutuhkan tegangan suplai setidaknya 5V sedangkan amplitud maksimal yang keluar dari pin DAC adalah 3V. Kemudian rangkaian pembagi tegangan 1 berfungsi sebagai penurun tegangan dari keluaran rangkaian non-inverting. Keluaran dari rangkaian pembagi tegangan 1 akan dimasukkan menuju pin ADC (PA0) yang berfungsi sebagai tegangan referensi untuk sistem DLIA. Rangkaian pembagi tegangan 2 berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dari sensor gas karena tegangan maksimal yang masuk menuju pin mikroprosesor maksimal 3V. Rangkaian pembagi tegangan 2

juga berfungsi sebagai pengatur tingkat penguatan dari sistem DLIA karena penguatan atau pelemahan tegangan keluaran dari sensor gas yang masuk ke dalam sistem DLIA merupakan salah satu komponen penguatan yang berfungsi untuk mengatur tingkat penguatan dari sistem DLIA. Kemudian sinyal keluaran dari sistem DLIA diobservasi melalui osiloskop dan dibandingkan dengan sinyal keluaran dari sensor gas yang tidak menggunakan DLIA.

Pada Gambar 3.3, rangkaian penguat *non-inverting* berfungsi untuk menguatkan sinyal kotak yang berasal dari DAC mikroprosesor ARM STM32F4 agar dapat digunakan untuk memodulasi sensor gas. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sinyal kotak agar dapat digunakan sebagai sinyal referensi dari sistem DLIA agar sinyal keluaran dari sensor gas yang menggunakan sistem DLIA dan sinyal referensi memiliki frekuensi yang sama dan beda fasa 0° .

Proses pengolahan sinyal secara digital dan modulasi sensor gas dilakukan oleh mikroprosesor ARM STM32F4 karena mikroprosesor ini sudah memiliki 2 pin DAC. Sistem pembacaan sensor gas menggunakan sistem penguat *lock-in* digital seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Sensor gas diberi tegangan suplai dengan sinyal kotak yang mempunyai frekuensi f_0 . Blok osilator berfungsi sebagai sinyal referensi bagi blok *mixer* sekaligus sebagai sinyal modulator dari sensor gas. Jadi masukan dari *mixer* menggunakan tegangan dari sumber yang sama. Blok *mixer* bekerja berdasarkan prinsip PSD (*Phase Sensitive Detector*) yang sudah digelaskan pada bab sebelumnya yaitu mengkalikan sinyal keluaran dari sensor gas dan sinyal keluaran dari osilator. Kemudian DAC berfungsi sebagai sumber dari sinyal kotak yang memiliki frekuensi 1 KHz yang akan disambungkan ke tegangan suplai dari sensor gas guna memodulasi sensor gas. DAC pada penelitian ini menggunakan resolusi 12 bit dengan tegangan referensi yang sama dengan ADC yaitu 3V yang berarti perubahan per bit membutuhkan tegangan sebesar 0.07 mV. ADC berfungsi untuk membaca tegangan keluaran dari sensor gas dengan resolusi 12 bit.

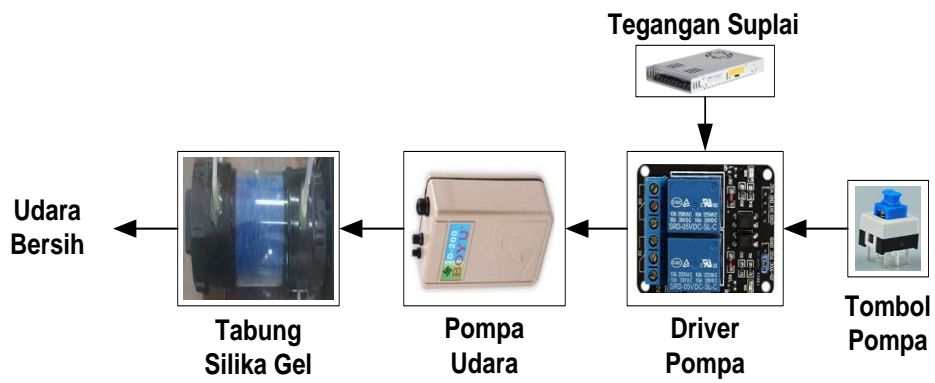
3.2 Sampel Uji

Sampel uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah alkohol, gas buang kendaraan bermotor dan asap rokok. Asap rokok dan gas buang kendaraan bermotor mengandung gas-gas beracun yang berdampak sistemik, salah satunya adalah gas karbon monoksida. Kedua jenis sampel uji ini dapat dideteksi oleh sensor gas jenis MQ. Untuk mendeteksi kandungan gas CO di dalam asap rokok digunakan sensor MO 7 dan untuk mendeteksi kandungan gas alkohol digunakan sensor MO 3.

3.3 Suplai Udara Bersih

Pompa udara berfungsi mengalirkan udara ke ruang uji sensor gas. Pompa udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa motor DC 1.5 V dengan sumber tegangan dari baterai. Lubang buang udara dihubungkan dengan ruang silika gel dan *driver* yang digunakan untuk mengontrol pompa menggunakan modul driver relay. Pemilihan modul ini karena mampu men-drive pompa udara dengan tegangan 1.5V DC. Untuk menghasilkan tegangan DC 1.5V menggunakan 2 buah baterai A3 yang dihubungkan secara paralel, Switch untuk on-off pompa menggunakan *self-lock switch* karena pembersihan ruang uji gas memerlukan waktu beberapa saat, perancangan sistemnya ditunjukkan pada Gambar 3.5.

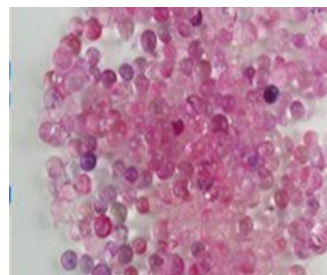
Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika gel biru. Apabila silika gel berubah warna menjadi merah muda, hal ini berarti silika gel dalam keadaan jenuh. Silika gel kondisi baik dan kondisi jenuh ditunjukkan pada Gambar 3.6 (a) dan 3.6 (b). Untuk jenis silika gel yang digunakan dalam penelitian ini, apabila silika gel sudah dalam keadaan jenuh dapat dikembalikan ke keadaan baik dengan cara di sangrai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Fungsi silika gel pada penelitian ini adalah untuk menyerap dan meminimalkan kandungan uap air pada wadah sensor dan menyerap sampel gas yang terikat oleh polimer sehingga sensor kembali ke keadaan awal. Silika gel pada penelitian ini ditempatkan pada ruang plastic kedap udara supaya tidak menyerap air dari udara bebas dan hanya digunakan untuk pembersihan ruang uji sensor gas saja.



Gambar 3.5 Perancangan sistem pompa udara.



(a)



(b)

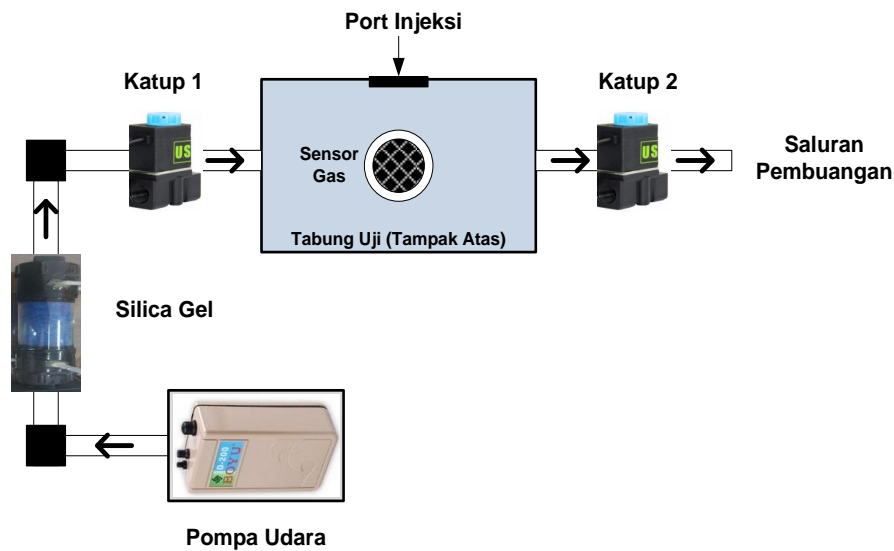
Gambar 3.6 Perbandingan silika gel : (a) Silica gel yang baru dan (b) Silica gel yang sudah terpakai.



Gambar 3.7 Silika gel yang digunakan.

3.4 Sistem Katup

Sistem katub berfungsi untuk mengatur arah aliran udara yang menuju wadah pengujian sensor gas. Pengaturan aliran udara yang dimaksud ada dua macam yaitu untuk mengalirkan udara kering dan untuk memvakumkan wadah pengujian sensor gas. Desain perancangan sistem katub ditunjukkan Gambar 3.8. Katub yang digunakan berupa solenoid katup 12V DC yang berjumlah 2 buah.



Gambar 3.8 Perancangan sistem katup.

Pengontrolan katup solenoid ini menggunakan relay. Relay dikontrol secara manual dengan self-lock switch seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Jadi ketika ruang uji akan disuntik sampel uji, maka relay 1, 2, 3 dan 3 akan diaktifkan secara bersamaan yang artinya pompa udara aktif, katub 1, dan katub 2 membuka, jadi udara bisa masuk ke dalam ruang uji. Pengaktifan ketiga relay ini dilakukan beberapa saat sampai udara di dalam ruang uji relatif kering. Konfigurasi pengaturan aliran udara ditunjukkan pada Tabel 3.1.

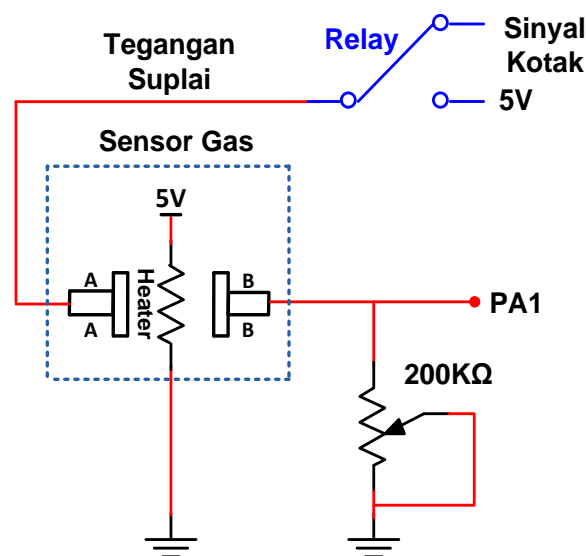
Tabel 3.1 Konfigurasi katup untuk pengaturan aliran udara

| NO | Katup | | Fungsi |
|----|----------|----------|---------------------------------------|
| | Katup 1 | Katup 2 | |
| 1 | terbuka | terbuka | Mengalirkan udara kering ke ruang uji |
| 2 | tertutup | tertutup | Menutup ruang uji untuk pengukuran |

3.5 Rangkaian Dasar Sensor Gas

Sensor gas pada penelitian ini menggunakan tipe MQ7 yang dapat mendeteksi kadar karbon monoksida (CO) di dalam udara. Sensor gas ini dapat mendeteksi kadar CO mulai 20 ppm-2000 ppm. Sensor gas secara umum memiliki dua buah tegangan suplai yaitu tegangan suplai rangkaian VS dan tegangan *heater* VH. VH pada penelitian kali ini diberi tegangan konstan sebesar 5V dan VS diberi tegangan berupa sinyal kotak yang memiliki frekuensi 1KHz, tujuannya adalah untuk memodulasi sensor gas. Potensiometer multiturun 200K Ω digunakan untuk mengatur amplitudo tegangan keluaran dari sensor gas, dalam kasus ini digunakan untuk mengatur penguatan dari sistem DLIA karena penguatan keluaran sensor gas merupakan salah satu komponen yang bisa digunakan untuk mengatur tingkat penguatan.

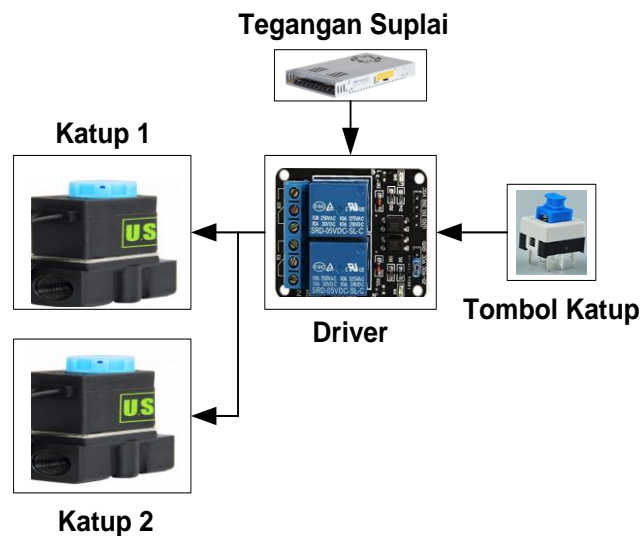
Perancangan rangkaian sensor gas ditunjukkan pada Gambar 3.9. Potensiometer multiturun 10K Ω digunakan untuk mengatur jumlah arus yang melewati *heater* karena semakin naik nilai resistor semakin turun suhu heater dan sebaliknya, suhu heater mempengaruhi tingkat respon dari sensor untuk mendeteksi suatu gas. Keluaran dari sensor ini masuk ke dalam pin ADC dari ARM STM32F4.



Gambar 3.9 Perancangan sistem sensor gas.

3.6 Driver Katup Udara

Sistem katup berfungsi membuka dan menutup aliran udara yang masuk ke ruang uji sensor gas. Karena tanpa sistem katup ini udara di dalam ruang uji sensor gas tidak bisa vacuum. Jika ruang uji gas tidak vacuum maka hasil pengukuran gas tidak valid dan tidak bisa dijadikan patokan pengukuran. Katup yang digunakan dalam penelitian ini adalah katup solenoid 12 V dengan sumber tegangan dari power suplai. Lubang masuk dan lubang buang udara dari ruang uji gas dihubungkan dengan katup. *Driver* yang digunakan untuk mengontrol katup menggunakan modul driver relay. Pemilihan modul ini karena mampu men-drive katup udara dengan tegangan 12V DC. Switch untuk *on-off* katup udara menggunakan *self-lock switch* karena pembersihan dan pemvakuman ruang uji gas memerlukan waktu beberapa saat, perancangan sistemnya ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Perancangan sistem katup udara.

3.7 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

Rangkaian penguat *non-inverting* yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dirancang untuk menguatkan sinyal osilator dari mikroprosesor ARM STM32 agar sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sensor gas. Sensor gas membutuhkan tegangan suplai sekitar 5V sedangkan keluaran dari DAC mikroprosesor hanya 3V, jadi sinyal osilator harus dikuatkan. Rangkaian pembagi tegangan yang terdapat di bagian keluaran rangkaian *non-inverting* berfungsi untuk mengatur besarnya amplitude sinyal keluaran. Sinyal keluaran dari rangkaian pembagi tegangan akan digunakan untuk tegangan referensi pada sistem DLIA. Besarnya amplitude tegangan referensi adalah 2V. Persamaan dari rangkaian *non-inverting* dan rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada persamaan 3.1 dan 3.2.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right) \quad (3.1)$$

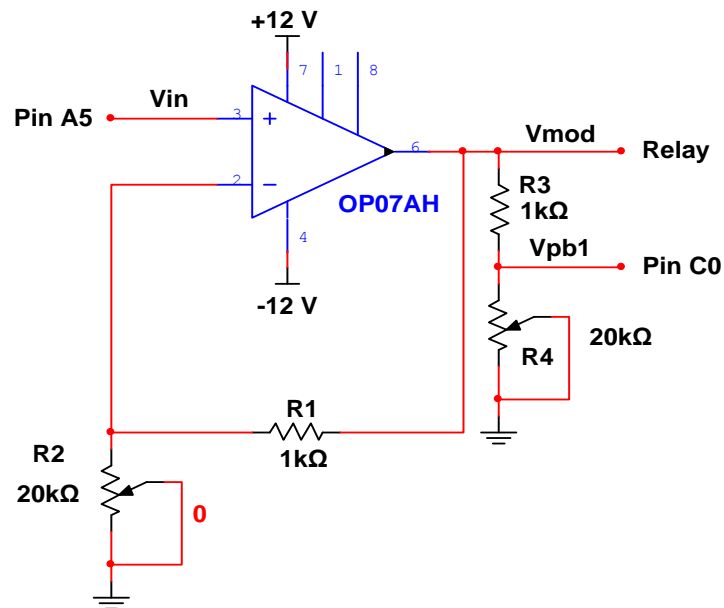
$$V_{ref} = V \text{ mod} \left(\frac{R4}{R4 + R1} \right) \quad (3.2)$$

Perancangan dari rangkaian penguat *non-inverting* yang digunakan sebagai tegangan suplai sensor gas adalah sebagai berikut :

Tegangan suplai untuk sensor gas adalah 5V dan tegangan yang masuk menuju rangkaian penguat *non-inverting* adalah 3V. Resistor R1 memiliki hambatan 1K Ω , jadi untuk mendapatkan tegangan keluaran 5V maka perhitungan untuk resistor R2 menggunakan Persamaan 3.1.

$$5 = 3 \left(1 + \frac{1000}{R2} \right)$$

Jadi resistor multiterun R2 harus diputar hingga memiliki hambatan 1.5K Ω



Gambar 3.11 Perancangan penguat non-inverting.

3.8 Osilator Digital

Osilator digital pada penelitian ini berasal dari mikroprosesor ARM STM32F4 yang berasal dari pin DAC. Osilator digital dirancang dengan gelombang kotak yang memiliki duty cycle 50% dan dengan frekuensi 1KHz. Osilator pada penelitian ini berfungsi untuk memodulasi tegangan suplai sensor gas agar sinyal informasi bisa dibawa oleh sinyal osilator pada frekuensi tinggi yang bertujuan untuk menghindari sinyal informasi beresilasi pada frekuensi rendah. Sinyal yang beresilasi pada frekuensi rendah cenderung terganggu oleh derau. Tegangan referensi dari sinyal osilator ini 3V, oleh karena itu amplitude maksimalnya adalah 3V. Pin DAC menggunakan resolusi 12 bit, jadi resolusi tegangannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Resolusi tegangan} &= \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \\ &= \frac{3}{4096 - 1} = 0.07mV \end{aligned}$$

Berikut ini adalah potongan program untuk merancang osilator digital :

```
SistemInit ();  
TM_DELAY_Init ();  
TM_DAC_SIGNAL_Init (TM_DAC22 , TIM5);  
TM_DAC_SIGNAL_SetSignal (TM_DAC22 ,  
TM_DAC_SIGNAL_Signal_Square , 1000);
```

3.9 Mixer Digital

Mixer digital pada penelitian ini berfungsi sebagai PSD yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Jadi, jika dua buah sinyal berfrekuensi melalui proses mixer maka keluaran mixer akan menjadi sinyal yang mempunyai 2 frekuensi yaitu frekuensi hasil penjumlahan dari kedua masukan dan frekuensi selisihnya. Proses mixer pada penelitian ini adalah mengalikan 2 buah sinyal berfrekuensi yaitu sinyal keluaran dari sensor gas yang sudah dimodulasi dengan sinyal referensi sistem DLIA yang berasal dari osilator digital. Berikut ini adalah potongan program untuk merancang mixer digital :

```
int main(void) {  
    SistemInit ();  
    TM_DELAY_Init ();  
    TM_ADC_Init (ADC1, ADC_Channel_0);  
    TM_ADC_Init (ADC1, ADC_Channel_1);  
}  
  
void TIM2_IRQHandler(void)  
{  
    if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_Update) != RESET)  
    {  
        TIM_ClearITPendingBit (TIM2, TIM_IT_Update);  
        ref=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_0));  
        adc1=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_1));  
        mixer=((adc1*ref)/4096)+100;  
    }  
}
```

Proses mengkalikan dua buah sinyal masukan menggunakan *interrupt* timer yang memiliki frekuensi 10KHz. Pemilihan frekuensi 10KHz dilakukan karena frekuensi modulasi sensor gas sebesar 1KHz, jadi minimal frekuensi sampling data harus 2 kali dari frekuensi sinyal yang harus di-sampling.

3.10 Perancangan Low Pass Filter Digital

LPF digital dirancang menggunakan LPF orde 1 yang ditunjukkan pada persamaan 3.3. Penentuan f_c didasari oleh persamaan sistem penguat lock-in

digital mengharuskan nilai dari f_c harus lebih kecil dari $\frac{\omega}{2}$. Pada penelitian kali ini dirancang LPF IIR yang mempunyai f_c 1 Hz. Perancangan persamaan filter digital dilakukan dengan perangkat lunak berbasis komputasi numerikal. Berikut ini adalah langkah-langkah perancangannya :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.3)$$

Ditentukan nilai C sama dengan 100nF, kemudian didapat nilai R sebagai berikut :

$$1 = \frac{1}{2\pi R \left(\frac{100}{10^9} \right)}$$

$$R = 1592357$$

Kemudian menghitung persamaan kontinyu dari filter dengan menggunakan persamaa (3.4)

$$\frac{V_{O(s)}}{V_{i(s)}} = \frac{\frac{1}{R \times C}}{S + \frac{1}{R \times C}} \quad (3.4)$$

$$\frac{V_{O(s)}}{V_{i(s)}} = \frac{\frac{1}{1592357 \times \left(\frac{100}{10^9} \right)}}{S + \frac{1}{1592357 \times \left(\frac{100}{10^9} \right)}}$$

Persamaan kontinyu dari LPF digital seperti yang ditunjukkan persamaan 3.5.

$$\frac{V_{o(s)}}{V_{i(s)}} = \frac{6.25}{S + 6.25} \quad (3.5)$$

Setelah persamaan kontinyu didapatkan maka langkah selanjutnya adalah mencari persamaan diskrit menggunakan perangkat lunak berbasis komputasi numerical. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

Pertama-tama masukkan persamaan kontinyu seperti pada Persamaan 3.5 pada sebuah variabel, kemudian buat variabel baru untuk menampung persamaan diskrit dari filter dan frekuensi sampling menggunakan 10KHz seperti yang ditunjukkan pada program di bawah ini.

```
>> filter=tf(6.25,[1 6.25]);
>> filterd=c2d(filter,0.0001);
filterd =
    0.0006248
    -----
    z - 0.9994
```

Kemudian dari perangkat lunak berbasis komputasi numerikal didapat persamaan diskrit dari LPF seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.6. dan Persamaan 2.19 adalah persamaan LPF yang dirancang dalam penelitian ini.

$$\frac{V_{o(z)}}{V_{i(z)}} = \frac{0.0006248}{z - 0.9994} \quad (3.6)$$

Dari Persamaan 3.6 kemudian dihitung persamaan beda dari LPF seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.7.

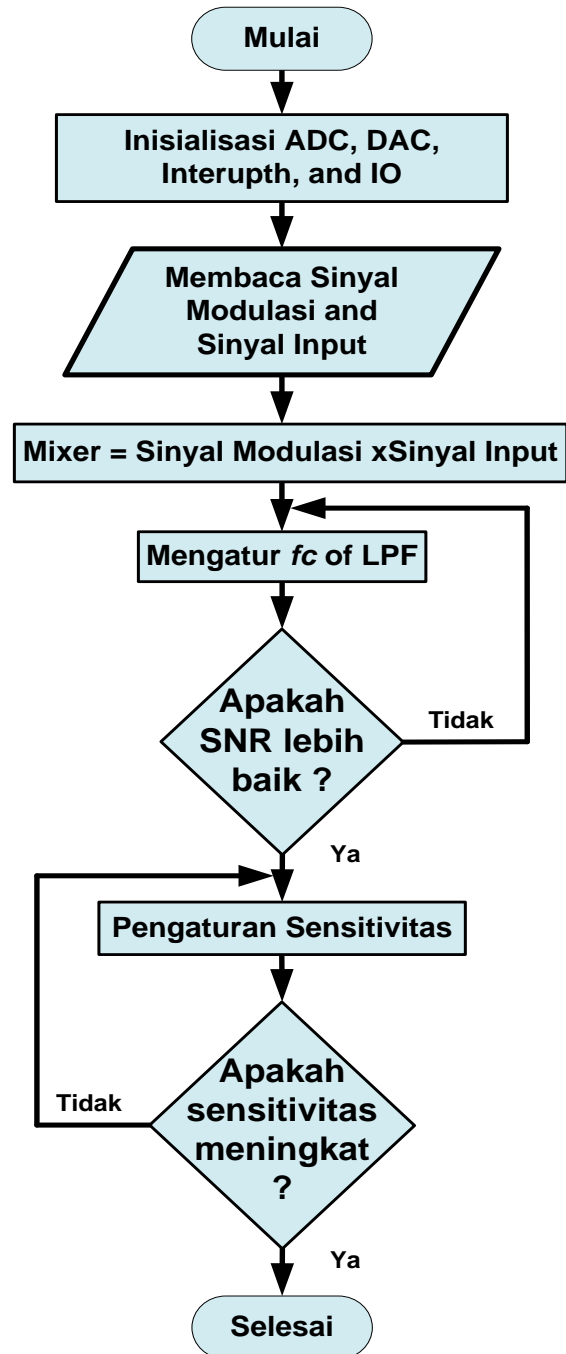
$$\begin{aligned} \frac{V_{o(z)}}{V_{i(z)}} &= \frac{0.0006248}{z - 0.9994} \times \frac{z^{-1}}{z^{-1}} \\ \frac{V_{o(z)}}{V_{i(z)}} &= \frac{0.0006248z^{-1}}{1 - 0.9994z^{-1}} \\ V_{o(z)} &= 0.0006248V_{i(z)}z^{-1} + 0.9994V_{o(z)}z^{-1} \\ V_{o(n)} &= 0.0006248V_{i(n)}(n-1) + 0.9994V_{o(n)}(n-1) \\ V_{o(n+1)} &= 0.0006248V_{i(n)} + 0.9994V_{o(n)} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Penerapan LFP dengan frekuensi cut-off 1Hz ditunjukkan pada program di bawah ini.

```
void TIM2_IRQHandler(void){
    if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_Update) != RESET){
        TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_Update);
        ref=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_0));
        adc1=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_1));
        mixer=((adc1*ref)/4096)+100;
        LPFsk=((0.0006278*mixer) + (0.9994*LPFsb));
        LPFsb=LPFsk;
        TM_DAC_SetValue(TM_DAC1, (LPFsk));
    }
}
```

3.11 Alur Penguat Lock-In Digital

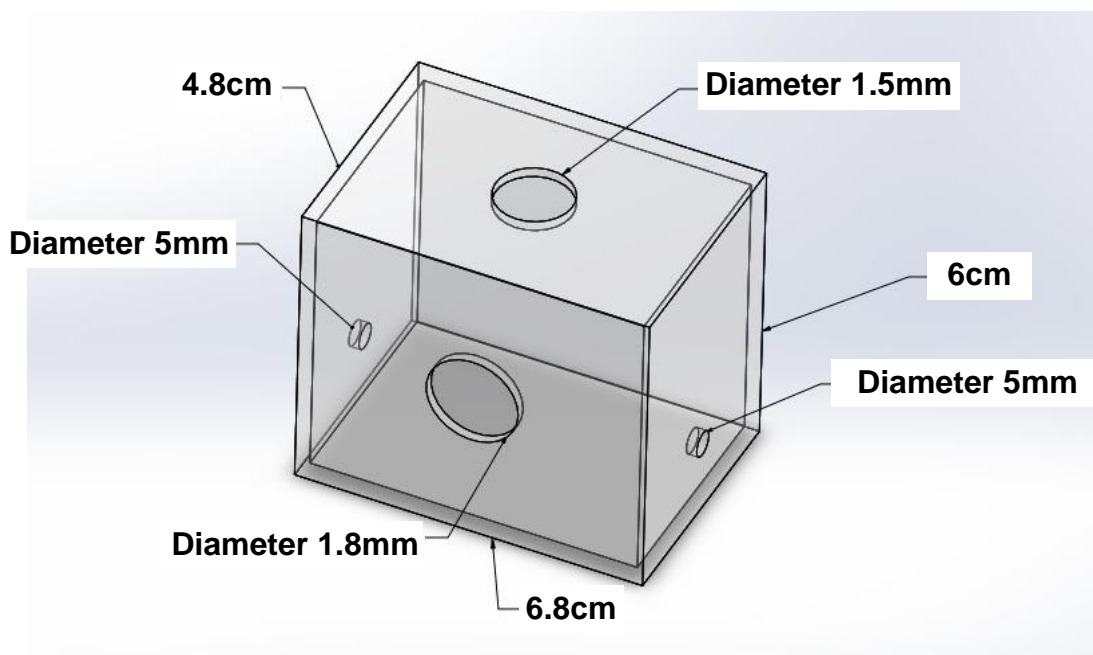
Berikut ini adalah alur keseluruhan dari sistem penguat lock-in digital seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram alir dari penguat lock-in digital.

3.12 Ruang Pengujian Sampel Gas

Ruang pengujian sampel terbuat dari bahan akrilik berbentuk balok. Pada ruang pengujian terdapat 4 buah lubang yang berbeda ukuran, 2 buah lubang udara yang mempunyai diameter berukuran 0.5 cm berfungsi untuk sirkulasi udara pada saat proses pembersihan ruang udara dari gas sampel, 1 buah lubang untuk tempat dudukan sensor gas CO mempunyai diameter 1.5 cm, dan 1 buah lubang untuk tempat menyuntikkan sampel gas mempunyai diameter 1.8 cm. Perancangan ruang uji sampel gas ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Ruang pengujian sampel gas.

3.13 Prosedur Pengambilan Data

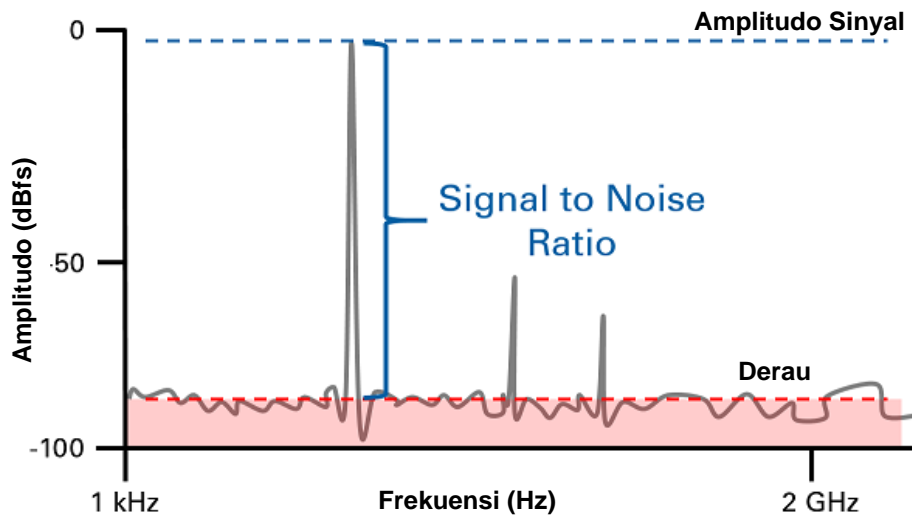
Prosedur pengambilan data dilakukan untuk perubahan frekuensi *cut-off* dari LPF digital dan perubahan frekuensi sinyal informasi untuk melihat seberapa tahan sinyal keluaran dari sensor gas terhadap derau. Kemudian perubahan penguatan juga diobservasi dalam proses pengambilan data.

3.13.1 Pengambilan data dari rangkaian osilator LM 555 sebagai masukan dari sistem DLIA

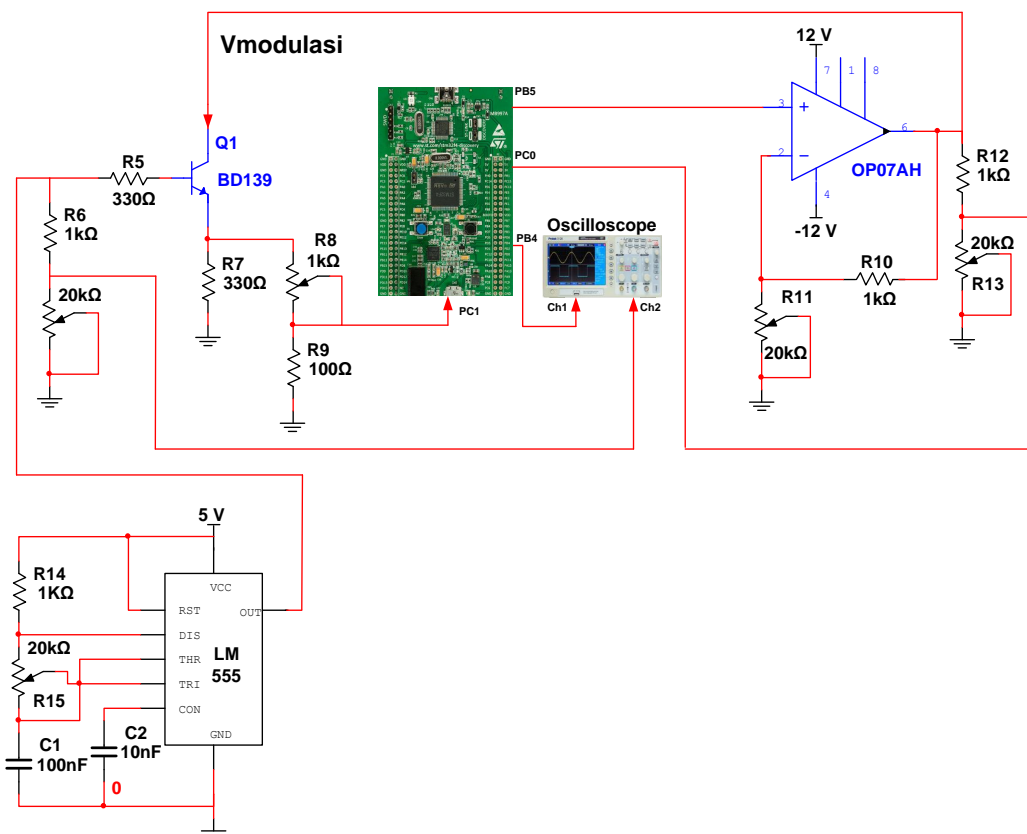
Prosedur pengambilan data dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut :

1. Menentukan frekuensi sinyal modulasi dari mikroprosesor ARM STM32F4 untuk rangkaian osilator LM 555.
2. Menentukan sinyal referensi untuk mikroprosesor ARM STM32F4.
3. Menentukan frekuensi sinyal keluaran dari LM 555 pada 1Hz dan 10Hz serta menentukan frekuensi *cut-off* LPF digital pada 5Hz.
4. Menaikkan penguatan dengan cara mengatur resistor multiturun 1K Ω agar tegangan yang masuk ke ADC menjadi lebih besar pada kasus ini tegangan dinaikkan menjadi 2 kali lebih besar dari tegangan semula. Posisi resistor multiturun 1K Ω ditunjukkan pada Gambar 3.15.
5. Menentukan frekuensi sinyal keluaran dari LM 555 pada 10Hz dan 22Hz serta menentukan frekuensi *cut-off* LPF digital pada 20Hz.
6. Memberi tegangan suplai DC 5V pada rangkaian LM 555.
7. Membandingkan sinyal keluaran dari LM 555 yang menggunakan sistem penguat lock-in digital dengan sinyal yang tidak menggunakan sistem penguat lock-in digital.
8. Menghitung SNR dari kedua buah sinyal yang dibandingkan menggunakan Persamaan 3.9 dan ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 3.14

$$SNR = 20 \text{ Log} \left(\frac{V_{signal}(rms)}{V_{nois}(rms)} \right) \quad (3.9)$$



Gambar 3.14 Ilustrasi perhitungan sinyal informasi dan sinyal derau.



Gambar 3.15 Rangkaian keseluruhan dari pengujian sistem DLIA dengan osilator sebagai pengganti sensor.

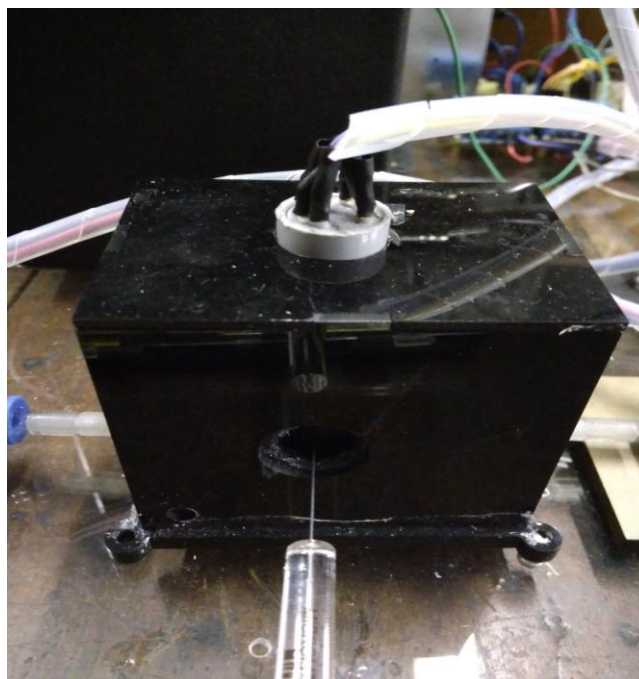
3.13.2 Pengambilan data dari sensor gas MQ 3 sebagai masukan dari sistem DLIA

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Menyuntikkan $1\mu\text{L}$ alkohol 96% ke dalam ruang uji sensor gas setelah kondisi dari sensor gas steady state beberapa saat. Sinyal keluaran dari sensor gas diproses menggunakan sistem penguat lock-in digital. Sinyal diobservasi pada osiloskop. Mikroliter dan tata-cara penyuntikan ditunjukkan pada Gambar 3.16.



(a)



(b)

Gambar 3.16 (a) Mikroliter dan (b) Proses penyuntikan $1\mu\text{L}$ gas alkohol.

2. Melakukan langkah 1 dan sinyal keluaran dari sensor MQ 3 tidak diproses menggunakan sistem penguat lock-in digital. tanpa sistem penguat lock-in digital. Sinyal diobservasi pada osiloskop.
3. Membandingkan sinyal keluaran dari sistem yang menggunakan penguat lock-in digital dan yang tidak menggunakan sistem penguat lock-in digital. Sinyal diobservasi pada osiloskop.
4. Menghitung nilai ppm (*part per million*) gas alkohol yang dideteksi oleh sensor MQ 3 dengan persamaan 3.10.

$$c = \frac{V_m}{M} \times \frac{V_g \rho_g}{V_c} 10^3 \quad (3.10)$$

Dimana V_m adalah molar standar dari gas ideal pada tekanan 1 bar dan suhu 298°K sebesar 24,45 mL/mmol. M adalah massa molar gas sebesar 46068.44 mg/mmol untuk alkohol. V_c adalah volume ruang uji sensor gas dalam m³ sebesar 1.9×10^{-5} m³, V_g adalah volume gas dalam ml, ρ_g adalah massa jenis gas sebesar 0.8119 g/ml untuk alkohol. Konsentrasi etanol dalam ppm untuk volume 1 μ l dapat ditentukan, yaitu :

$$\begin{aligned} c &= \frac{24,45}{46068.44} \times \frac{5 \times 0,8119}{1,9 \times 10^{-5}} \times 10^3 \\ &= 113224.73 \text{ ppm} \end{aligned}$$

5. Menghitung SNR pada kedua buah sinyal yang dibandingkan dengan Persamaan 3.9.

3.13.3 Pengambilan data dari sensor gas MQ 7 sebagai masukan dari sistem DLIA

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan kalibrasi jumlah gas CO dalam ppm pada ruang uji sensor gas dengan cara menyuntikkan 1 strip (5 cc) besar asap rokok ke dalam ruang uji, kemudian dibandingkan dengan alat ukur CO meter. CO meter akan menunjukkan nilai jumlah gas CO dalam ppm. CO meter menunjukkan 30 ppm.
2. Membersihkan ruang pengujian sensor gas dengan udara kering selama beberapa saat dengan cara menekan switch katup 1, katup 2, dan pompa sampai sinyal yang tampak pada osiloskop stabil.



(a)



(b)

Gambar 3.17 (a) CO meter dan (b) Proses penyuntikan 30ppm gas CO.

3. Menyuntikkan kurang lebih gas CO sebanyak 30 ppm dari asap rokok ke dalam ruang uji sensor gas setelah kondisi dari sensor gas *steady state* beberapa saat. Perubahan sinyal diobservasi pada osiloskop. CO meter dan kalibrasi jumlah konsentrasi gas CO dalam ppm ditunjukkan pada Gambar 3.17.
4. Membersihkan ruang pengujian sensor gas dengan udara kering selama beberapa saat dengan cara menekan switch katup 1, katup 2, dan pompa sampai sinyal yang tampak pada osiloskop stabil.
5. Menyuntikkan kurang lebih gas CO sebanyak 30ppm dari asap rokok ke dalam ruang uji sensor gas setelah kondisi dari sensor gas *steady state* beberapa saat. Pada langkah ini penguatan dari sistem *lock-in* diperbesar dengan cara mengatur multiturn 200K Ω pada blok penguatan seperti pada gambar 3.2. Perubahan sinyal diobservasi pada osiloskop.
6. Mengganti tegangan suplai dari sensor gas dari tegangan modulasi menuju tegangan DC 5V dengan cara menekan (*switch* suplai sensor gas).
7. Menyuntikkan kurang lebih gas CO sebanyak 30ppm dari asap rokok ke dalam ruang uji sensor gas setelah kondisi dari sensor gas *steady state* beberapa saat. Perubahan sinyal diobservasi pada osiloskop.
8. Menghitung SNR pada kedua buah sinyal yang dibandingkan dengan Persamaan 2.20.

Halaman ini sengaja dikosongkan

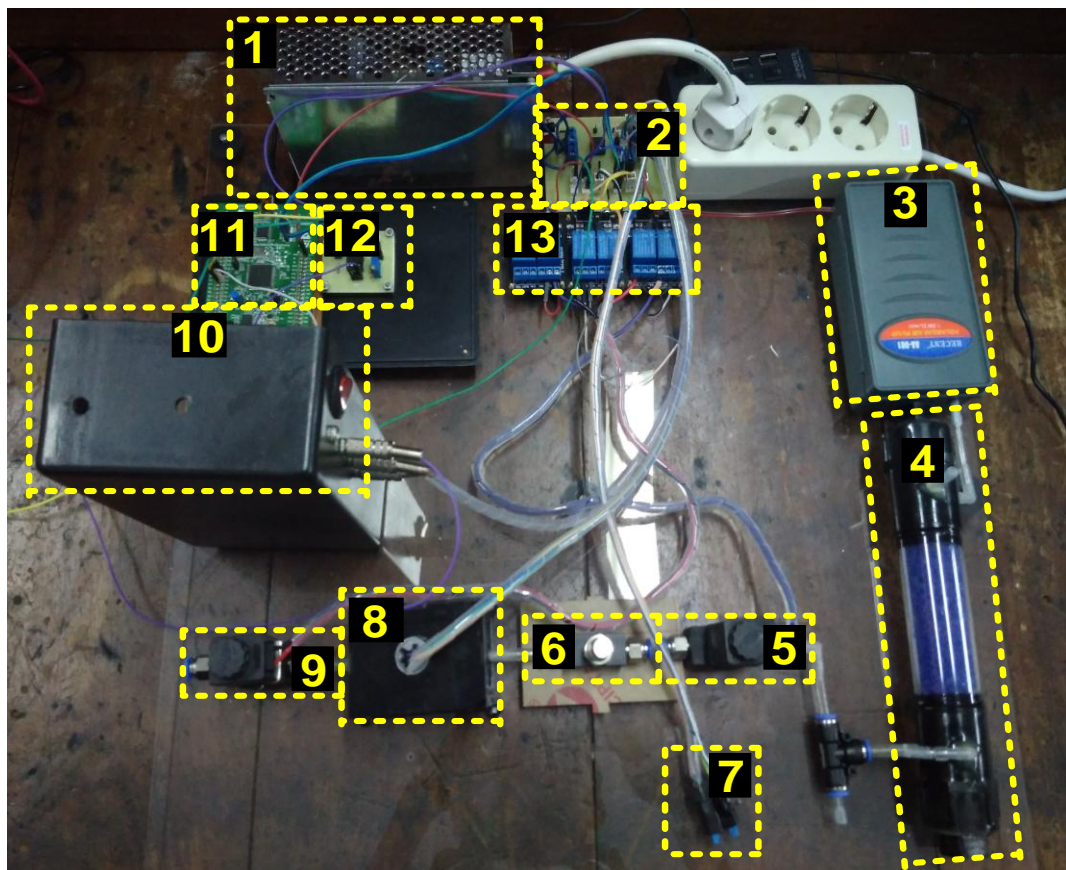
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan digelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian rangkaian osilator LM 555 sebagai masukan dari sistem DLIA.
2. Pengujian sensor gas MQ 3 sebagai masukan dari sistem DLIA.
3. Pengujian sensor gas MQ 7 sebagai masukan dari sistem DLIA.

Hasil dari perancangan dan pembuatan perangkat keras sistem DLIA ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perangkat keras sistem DLIA secara keseluruhan.

Keterangan :

1. Suplai catu daya
2. Rangkaian distribusi catu daya dan rangkaian minimum sistem sensor gas
3. Pompa
4. Silika gel
5. Katup udara 1
6. Pengatur aliran udara
7. Switch 1 dan switch 2
8. Ruang uji sensor gas
9. Katup udara 2
10. Box
11. Mikroprosesor ARM STM32F4
12. Rangkaian penguat non-inverting dan rangkaian pembagi tegangan
13. Modul relay

4.1 Pengujian Rangkaian Osilator Sebagai Masukan Dari Sistem DLIA

4.1.1 Tujuan Pengujian

Sistem DLIA merupakan sistem yang paling utama dalam penelitian ini, karena sistem ini dapat memperbaiki sinyal kecil yang tertimbun oleh derau. Pemakaian rangkaian osilator bertujuan agar sinyal masukan dari sistem DLIA dapat diatur rentang frekuensinya. Pengaturan rentang frekuensi dari rangkaian osilator bertujuan agar sistem DLIA dapat diuji dengan sinyal masukan yang memiliki frekuensi dengan rentang yang bervariasi. Oleh karena sistem DLIA merupakan sebuah sistem yang bersifat umum, maka frekuensi yang bervariasi dari sinyal masukan dari rangkaian osilator diasumsikan sebagai masukan dari berbagai jenis sensor.

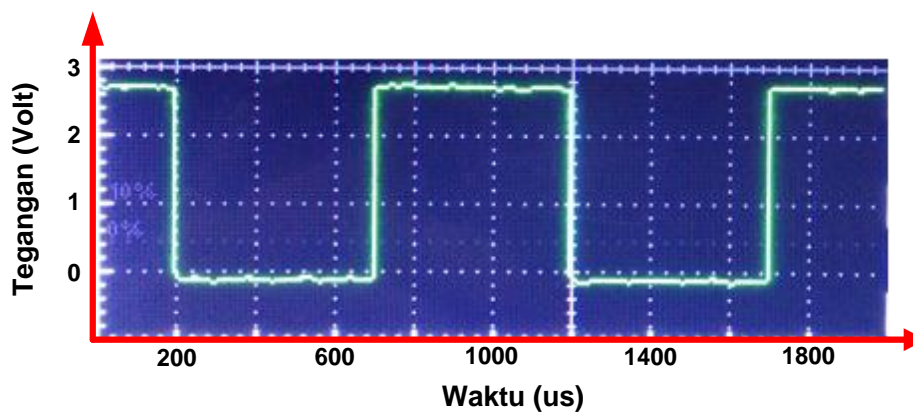
4.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian sistem ini dilakukan dengan membuktikan bahwa sinyal-sinyal pada setiap komponen sistem DLIA telah sesuai dengan yang diinginkan. Sinyal modulasi untuk tegangan suplai rangkaian osilator, sinyal referensi untuk sistem DLIA, sinyal keluaran rangkaian osilator yang dimodulasi, sinyal hasil mixer, sinyal pengujian LPF, dan sinyal keluaran LPF dari sistem DLIA harus diverifikasi. Kemudian pada pengujian selanjutnya adalah mengubah frekuensi dari keluaran dari rangkaian osilator agar menghasilkan sinyal keluaran yang

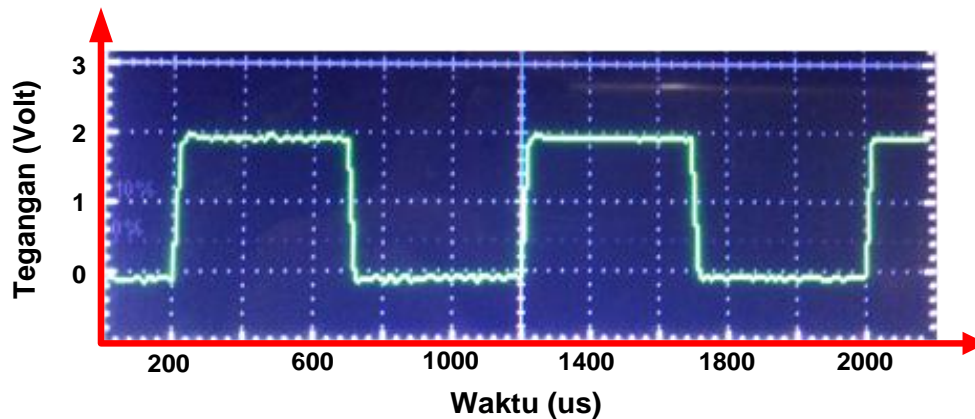
memiliki frekuensi 1 Hz, 10 Hz, 11 Hz, dan 22 Hz. LPF digital juga diatur agar memiliki frekuensi cut-off 5 Hz dan 20 Hz. Penguatan dari sistem DLIA juga dinaikkan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap SNR. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui korelasi antara tingkat penguatan suatu sinyal keluaran terhadap SNR dan untuk meningkatkan penguatan dari sistem DLIA sehingga nilai SNR semakin besar. Jika SNR semakin besar maka kualitas sinyal keluaran semakin bagus.

4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.2 menunjukkan sinyal modulasi yang berasal dari mikroprosesor ARM STM32F4. Sinyal modulasi berupa sinyal kotak dengan tegangan puncak (V_{peak}) 3V karena tegangan referensi yang digunakan oleh *Digital to Analog Converter* (DAC) adalah 3V. Sinyal modulasi ini dikuatkan oleh penguat tak membalik (*non-inverting*) agar memiliki variasi tegangan yang lebih besar. Penguat tak membalik berfungsi juga sebagai penguat arus, jadi untuk menghindari drop tegangan pada saat sinyal modulasi diumpangkan menuju beban, dalam kasus ini digunakan untuk memodulasi rangkaian osilator. Rangkaian osilator sebagai masukan dari sistem DLIA ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 4.2 Sinyal modulasi dari mikroprosesor ARM STM32F4.

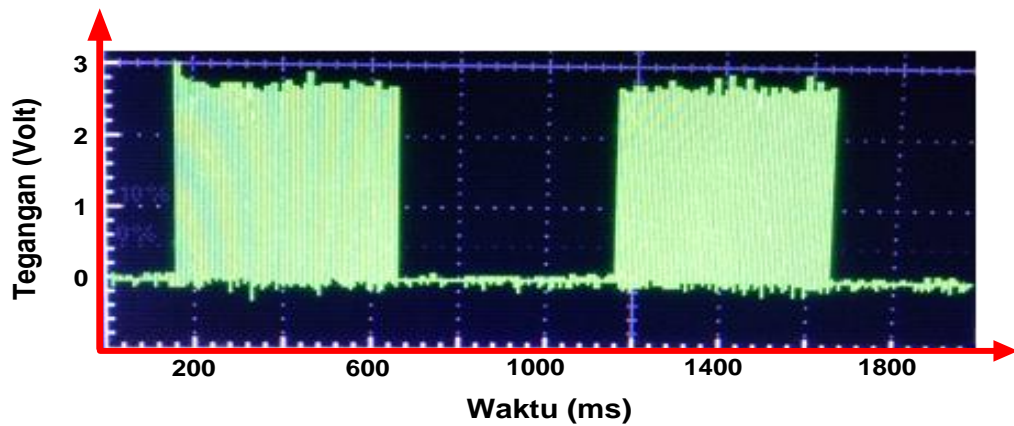


Gambar 4.3 Sinyal referensi untuk sistem DLIA.

Gambar 4.3 menunjukkan sinyal referensi untuk sistem DLIA, sinyal ini masuk menuju *Analog to Digital Converter* (ADC) dari mikroprosesor ARM STM32F4. Tegangan puncak dari sinyal referensi ini adalah 2V karena sinyal maksimal yang dapat dibaca oleh ADC mikroprosesor adalah 3V. Sinyal ini sejatinya adalah sinyal yang sama seperti sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 yang masuk menuju rangkaian pembagi tegangan terlebih dahulu agar didapatkan tegangan puncak sebesar 2V. Sinyal referensi ini nantinya akan menjadi salah satu masukan dari blok mixer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Gambar 4.4 menunjukkan sinyal keluaran dari rangkaian osilator yang tegangan suplainya dimodulasi dengan sinyal kotak 1 KHz. Sinyal kotak 1 Hz diasumsikan sebagai sinyal yang berasal dari sensor yang memiliki respon lambat, misalnya sensor gas. Terlihat bahwa satu periode sinyal memiliki waktu 1000 ms atau 1s, kemudian frekuensi tinggi 1 KHz terlihat di dalam sinyal ketika dalam keadaan high.

Gambar 4.5 menunjukkan sinyal keluaran dari rangkaian osilator yang tegangan suplainya dimodulasi dengan sinyal kotak 1 KHz. Sinyal ini diteruskan menuju rangkaian pembagi tegangan untuk memperkecil amplitudo dari sinyal. Tujuannya adalah untuk membuktikan bahwa sinyal masukan dari sistem DLIA adalah sinyal kecil yang rentan sekali terhadap gangguan derau.

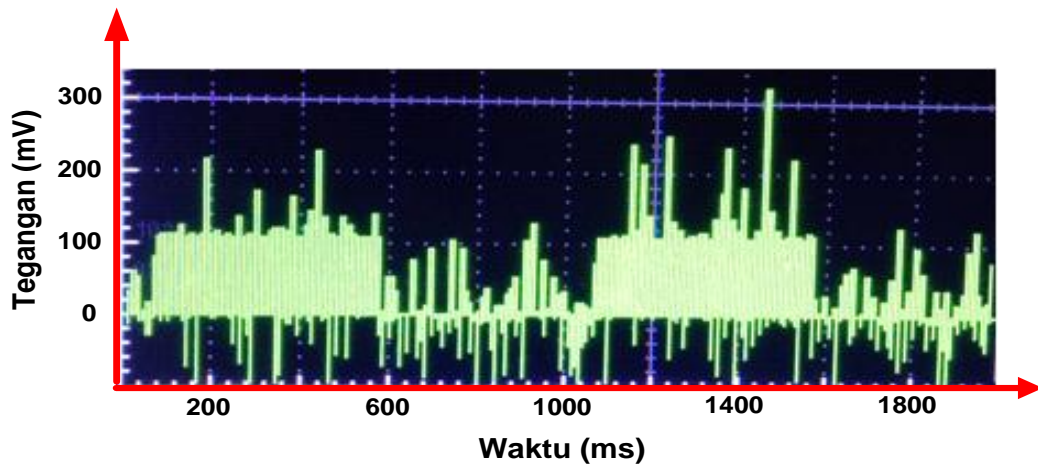


Gambar 4.4 Sinyal keluaran osilator yang dimodulasi.

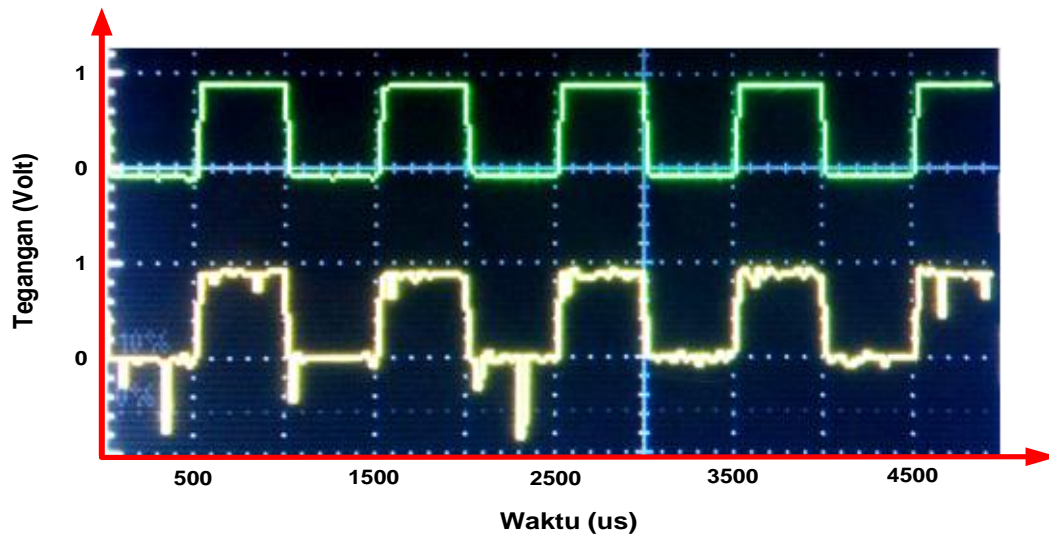
Terlihat bahwa derau sangat berpengaruh sekali terhadap bentuk dari sinyal, bahkan beberapa *spike* dari derau bahkan memiliki amplitude lebih tinggi dari dari sinyal informasi. Sinyal ini nantinya akan menjadi salah satu masukan dari blok *mixer*. Jadi pada proses mixer, terdapat 2 masukan sinyal yang diproses. Sinyal yang diproses tersebut adalah sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara sinyal referensi dan sinyal keluaran dari rangkaian osilator. Perbandingan ini menunjukkan bahwa antara kedua sinyal memiliki beda fasa sebesar 0° dan ini sudah sesuai dengan konsep sistem DLIA.

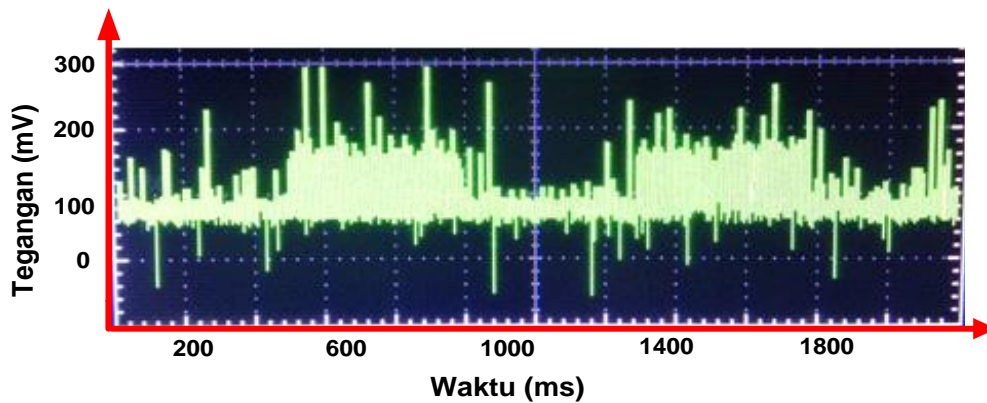
Gambar 4.7 menunjukkan sinyal keluaran dari blok *mixer*, blok *mixer* berfungsi sebagai PSD atau dengan kata lain mengalikan sinyal referensi dan sinyal keluaran dari rangkaian osilator. Jika frekuensi dan fasanya sama, maka keluaran dari blok mixer akan mempunyai tegangan rata-rata di atas nol. Lihat bahwa sinyal sedikit terangkat ke atas sebesar 50 mV dan tegangan rata-rata sinyal ini di atas 0V menunjukkan bahwa antara tegangan referensi dan sinyal keluaran dari rangkaian osilator memiliki beda fasa 0° .



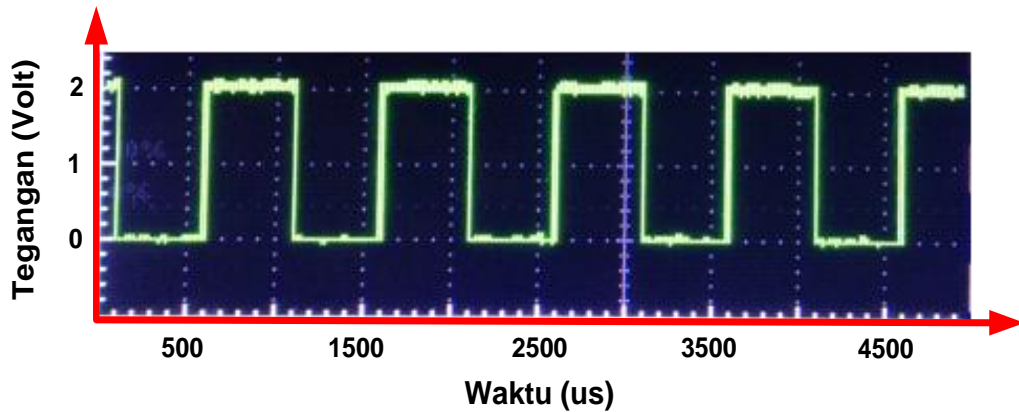
Gambar 4.5 Sinyal keluaran osilator yang dimodulasi dalam skala 100 mV.



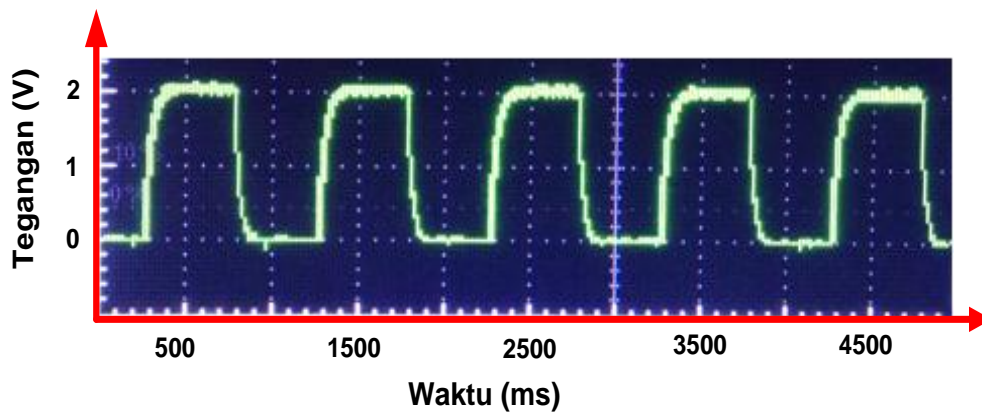
Gambar 4.6 Perbandingan sinyal referensi (hijau) dan sinyal keluaran osilator (kuning).



Gambar 4.7 Sinyal keluaran dari blok mixer.



(a)

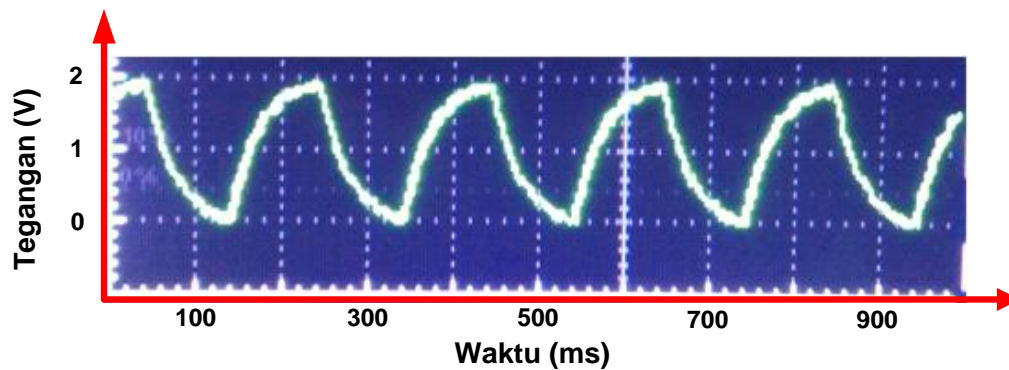


(b)

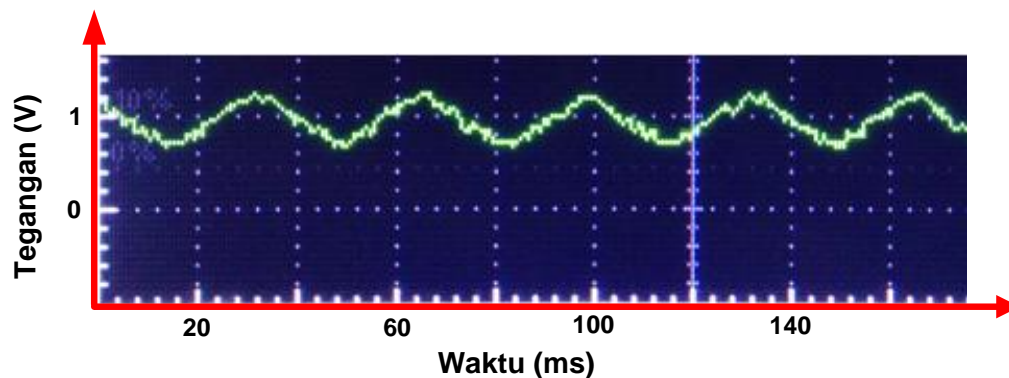
Gambar 4.8 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal dengan frekuensi 1 Hz (b) Sinyal keluaran LPF dengan frekuensi cut-off 5 Hz.

Pada pengujian selanjutnya, LPF dari sistem DLIA akan diuji dengan sinyal masukan dari berbagai frekuensi apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan. Sinyal keluaran dari LPF langsung dikeluarkan melalui pin DAC dari mikroprosesor ARM STM32F4.

Gambar 4.8 (a) menunjukkan sinyal yang memiliki frekuensi 1 Hz yang akan diproses oleh LPF dengan frekuensi *cut-off* 5 Hz. Gambar 4.8 (b) menunjukkan sinyal keluaran dari LPF. Sinyal ini tampak sedikit berbeda dengan sinyal yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 (a) karena pengaruh dari LPF meskipun rentang frekuensinya masih di bawah frekuensi *cut-off* LPF.



(a)

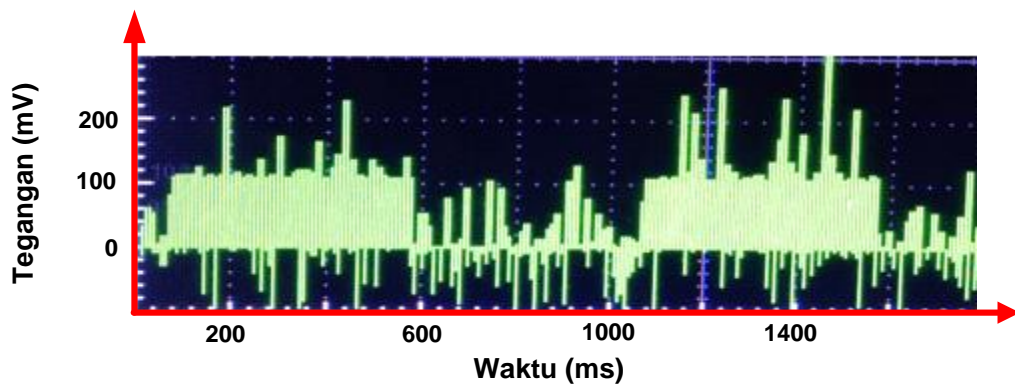


(b)

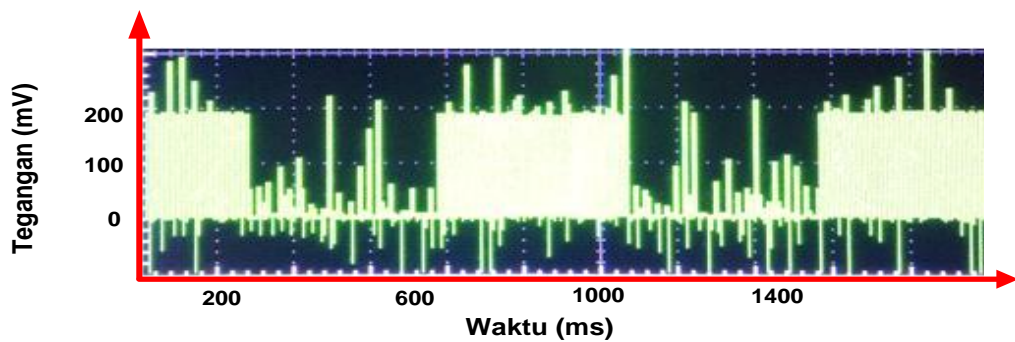
Gambar 4.9 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran LPF dari sinyal dengan

Gambar 4.9 (a) menunjukkan sinyal keluaran dari LPF dengan masukan sinyal yang memiliki frekuensi 5 Hz dengan frekuensi *cut-off* 5 Hz. Gambar 4.8 (b) menunjukkan sinyal keluaran dari LPF dengan masukan sinyal yang memiliki frekuensi 10 Hz. Sinyal pada Gambar 4.9 (a) mulai berubah bentuknya karena pengaruh dari LPF, artinya sinyal masukan yang berupa sinyal kotak diredam oleh LPF. Kemudian pada Gambar 4.9 (b) sinyal masukan sudah diredam dengan signifikan karena sinyal masukan memiliki frekuensi 10 Hz.

Gambar 4.10 (a) menunjukkan sinyal keluaran dari rangkaian osilator sebelum dikuatkan, artinya penguatan belum dinaikkan. Gambar 4.10 (b) menunjukkan sinyal keluaran osilator yang sudah dikuatkan sebanyak 2 kali, artinya penguatan dari sistem DLIA dinaikkan sebesar 2 kali.



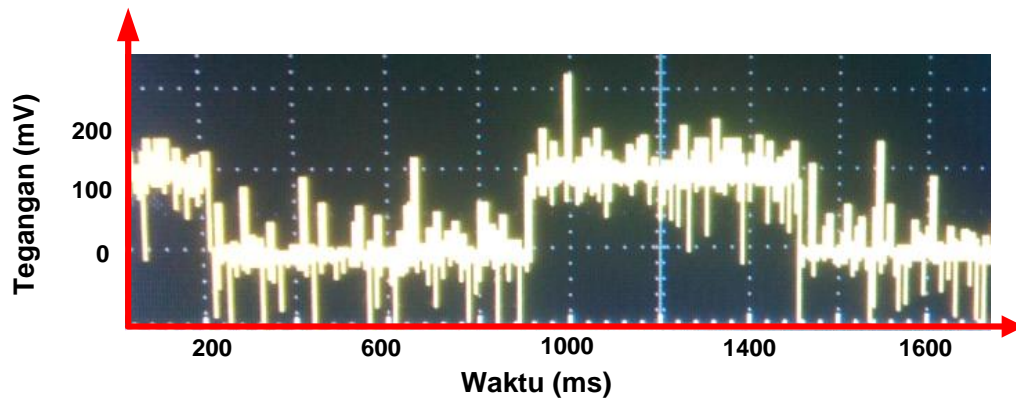
(a)



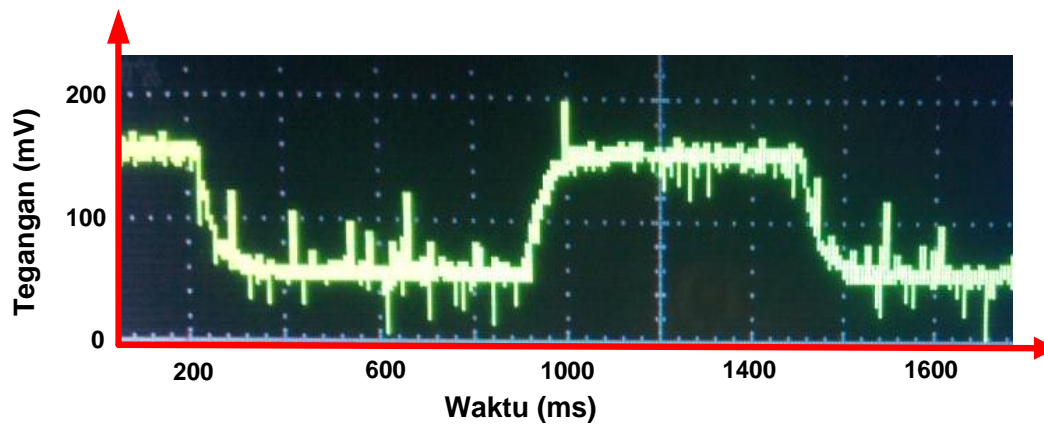
(b)

Gambar 4.10 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran dari osilator (b) Sinyal keluaran dari osilator dengan penguatan 2 kali.

Gambar 4.11. menjelaskan bahwa sinyal tanpa DLIA (a) yang muncul dengan derau yang signifikan pada level tegangan 100 mVp dapat diperbaiki dengan DLIA. Keluaran DLIA (b) tampil dengan derau yang kurang signifikan pada level tegangan yang sama yaitu 100 mVp, artinya SNR meningkat, semakin SNR besar semakin baik untuk sinyal yang akan dievaluasi, karena sinyal yang terkubur dalam derau sulit diamati. Hasil percobaan menunjukkan bahwa DLIA yang diusulkan dapat memulihkan sinyal yang tertimbun derau dengan $SNR = 4,08 \text{ dB}$, sedangkan sinyal yang berasal dari keluaran rangkaian osilator tanpa melalui sistem DLIA memiliki nilai $SNR = -4.73$.

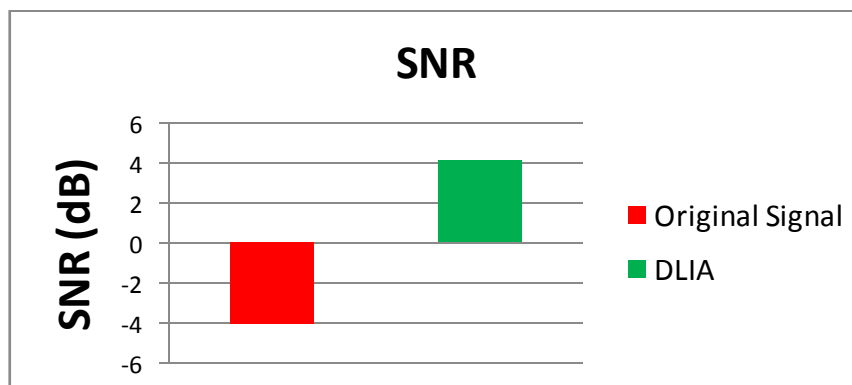


(a)



(b)

Gambar 4.11 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal tanpa DLIA dan (b) Sinyal dengan DLIA

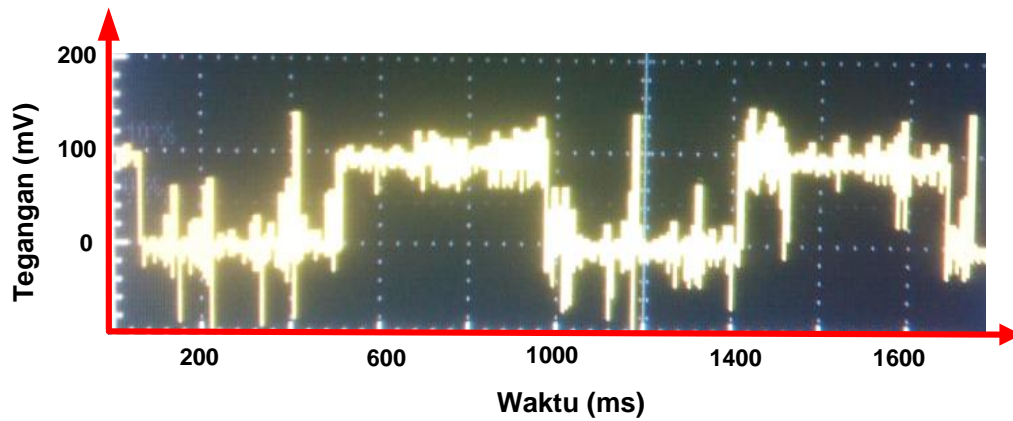


Gambar 4.12 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 5$ Hz dan frekuensi sinyal informasi = 10 Hz.

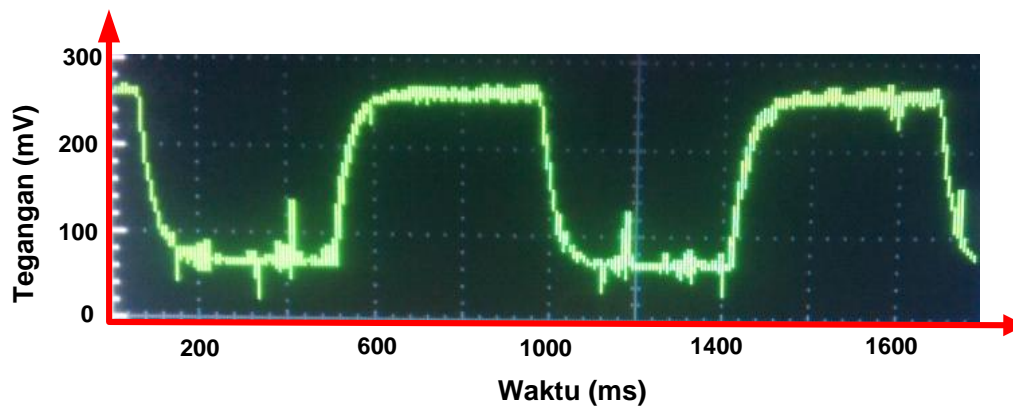
Nilai SNR minus dikarenakan tegangan V_{peak} derau lebih besar dari V_{peak} sinyal dan sebaliknya. Pada Gambar 4.11 juga bisa dilihat secara visual bahwa sinyal keluaran rangkaian osilator tanpa sistem DLIA (b) memiliki kualitas yang jauh lebih buruk dari sinyal keluaran rangkaian osilator yang menggunakan sistem DLIA (a). Kemudian pada keluaran rangkaian osilator dengan frekuensi 10Hz memiliki SNR untuk sinyal keluaran tanpa sistem DLIA sebesar -4.08 dB dan keluaran dengan sistem DLIA sebesar 4.08 dB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12. Ini membuktikan bahwa walaupun sinyal informasi memiliki frekuensi di atas frekuensi cut-off dari LPF digital, sinyal keluaran yang menggunakan sistem DLIA memiliki nilai SNR yang relatif lebih baik. Pengujian kali ini juga melibatkan perubahan penguatan dari sistem DLIA karena penguatan dan SNR merupakan 2 faktor penting dalam masalah pengukuran sinyal.

Gambar 4.13 menjelaskan bahwa sinyal dengan DLIA (b) yang memiliki penguatan lebih tinggi juga memiliki SNR yang lebih besar. Hasil percobaan menunjukkan bahwa DLIA dengan penguatan yang diperbesar sebanyak 2 kali dapat memulihkan sinyal yang tertimbun derau dengan $SNR = 10.45$ dB. Sedangkan sinyal yang tidak menggunakan sistem DLIA memiliki $SNR = -6.02$ dB. Ini dikarenakan jika penguatan diperbesar maka derau akan tetap teredam dan amplitude sinyal akan bertambah besar, oleh sebab itu nilai SNR dari keluaran sistem DLIA bertambah besar dari sebelumnya.

Gambar 4.14 menjelaskan bahwa nilai SNR dari keluaran sinyal yang menggunakan sistem DLIA selalu memiliki nilai yang lebih tinggi daripada sinyal yang tidak menggunakan sistem DLIA. Pada grafik terlihat jelas bahwa keluaran sinyal yang menggunakan sistem DLIA dengan nilai penguatan 2 kali lebih besar daripada sebelumnya memiliki nilai SNR yang paling tinggi. Gambar 4.13 dan 4.14 juga menunjukkan bahwa jika nilai penguatan dinaikkan lagi maka nilai SNR dari sinyal tersebut akan bertambah besar dan itu berarti kualitas sinyal semakin bagus. Semakin besar nilai penguatan maka semakin besar nilai SNR.

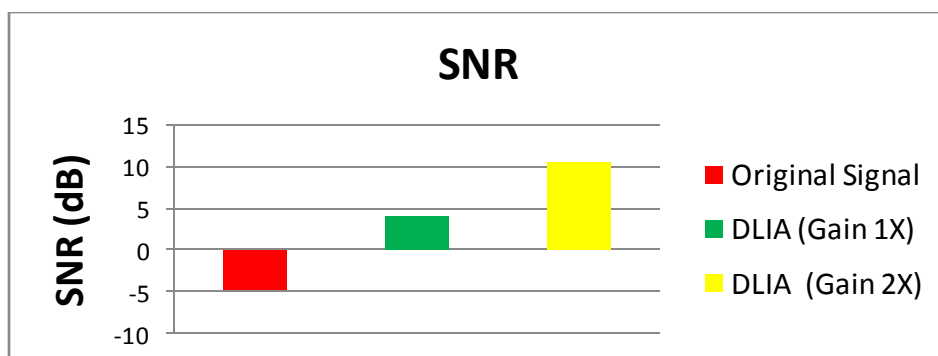


(a)



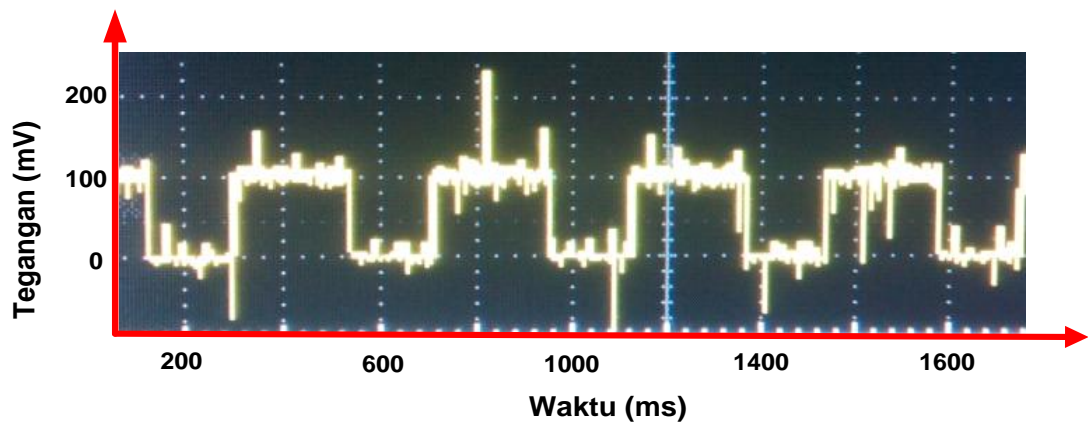
(b)

Gambar 4.13 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran menggunakan dengan DLIA dengan sensitivitas 2 kali lebih

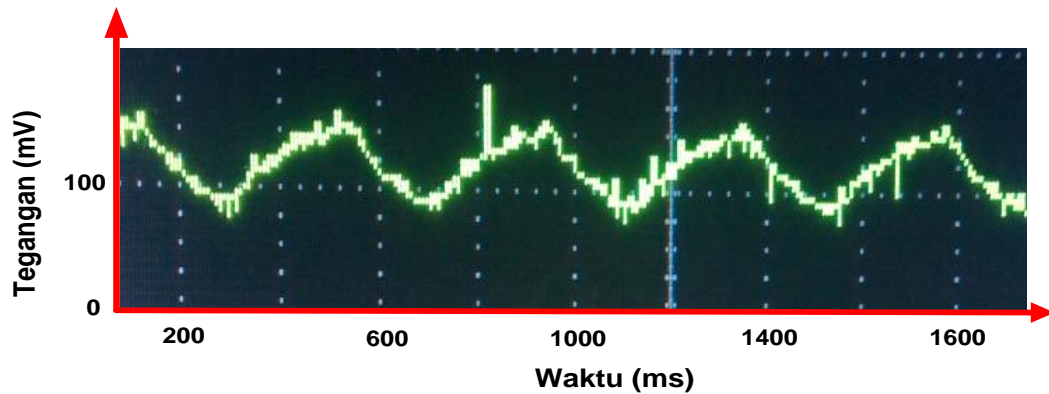


Gambar 4.14 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 5$ Hz dan frekuensi sinyal informasi = 1 Hz.

Pengujian frekuensi sinyal pada 11 Hz dan 22 Hz juga dilakukan dengan frekuensi cut-off 20 Hz dari LPF digital sistem DLIA. Gambar 4.15 menjelaskan walaupun frekuensi sinyal informasi di atas f_c , nilai SNR DLIA masih lebih bagus jika dibandingkan dengan SNR sinyal informasi tanpa DLIA yang muncul dengan derau yang besar walaupun amplitudonya berkurang. Pada kasus ini $f_c = 20$ Hz dan frekuensi sinyal informasi 10 Hz.

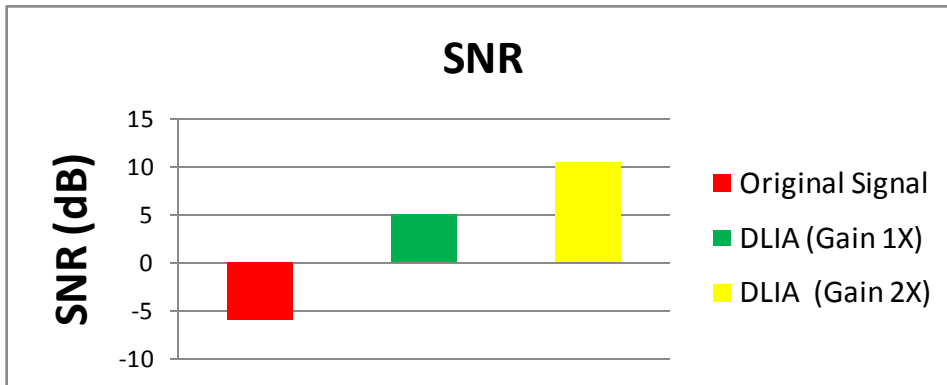


(a)

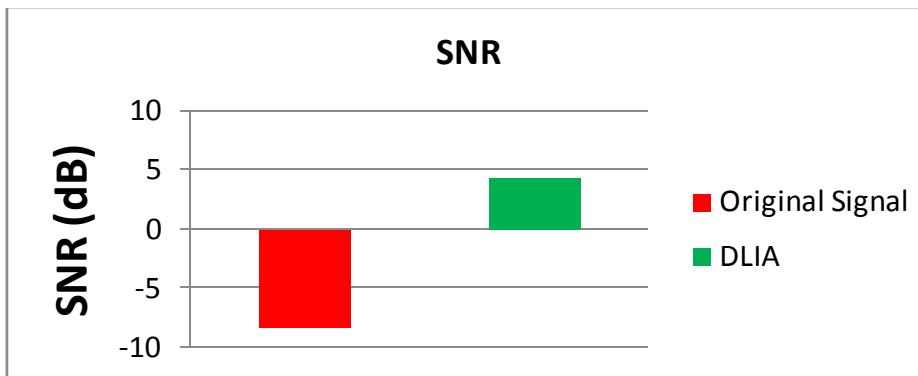


(b)

Gambar 4.15 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor menggunakan DLIA pada frekuensi 22Hz.



Gambar 4.16 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 20$ Hz and frekuensi sinyal informasi= 10 Hz.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan SNR pada $f_c = 20$ Hz and frekuensi sinyal informasi= 22 Hz.

Gambar 4.16 menjelaskan bahwa sinyal keluaran yang tidak menggunakan sistem DLIA masih memiliki nilai SNR negatif, itu artinya amplitude sinyal derau masih lebih besar dari amplitude sinyal informasi. Kemudian dengan sinyal keluaran yang menggunakan sistem DLIA baik yang penguatannya belum diperbesar maupun sudah diperbesar, nilai SNR-nya selalu jauh lebih tinggi. Nilai SNR sinyal keluaran yang tidak menggunakan sistem DLIA adalah -6.02 dB, kemudian yang menggunakan sistem DLIA adalah 5.09 dB, dan yang menggunakan sistem DLIA sekaligus penguatannya telah diperbesar 2 kali adalah 10.45 dB. Demikian juga Gambar 4.17 menjelaskan bahwa pada $f_c = 20$ Hz dan frekuensi sinyal informasi 22 Hz nilai SNR untuk sinyal keluaran yang tidak adalah -8.29 dB dan yang menggunakan sistem DLIA adalah 4.43 dB.

4.2 Pengujian Hasil Sistem DLIA Dengan Sensor Gas Alkohol

4.2.1 Tujuan Pengujian

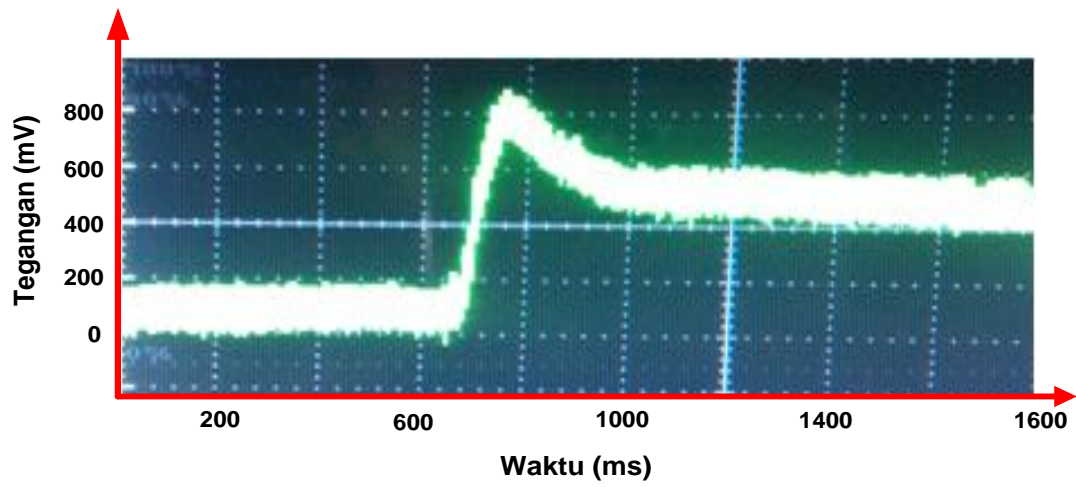
Sistem DLIA merupakan sebuah penguat yang bersifat umum, artinya sistem ini bisa memperbaiki sinyal kecil yang tertimbun derau. Sinyal dapat berasal dari berbagai macam sensor yang rentan terhadap gangguan derau. Tujuan pengujian kali ini adalah untuk membuktikan bahwa sistem ini bisa mengatasi gangguan derau pada sinyal yang berasal dari sensor gas alkohol (MQ3).

4.2.2 Prosedur Pengujian

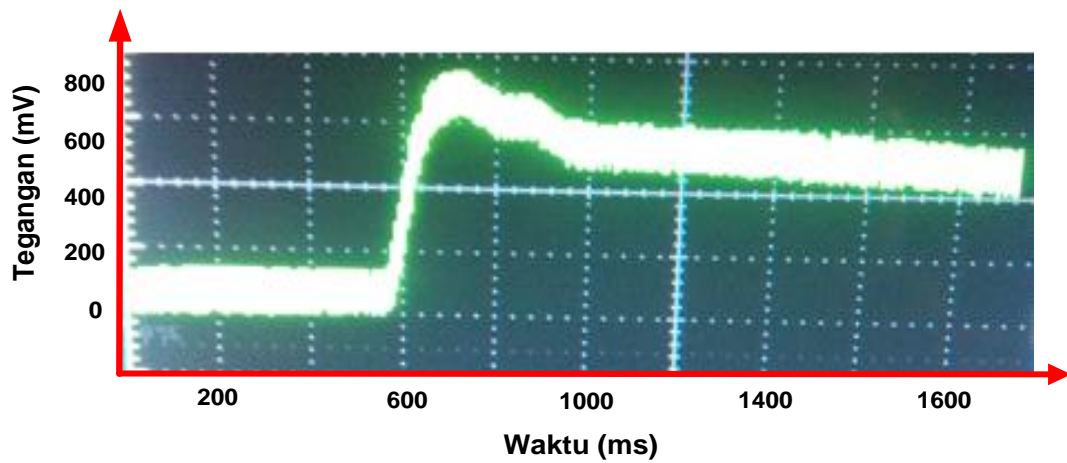
Mengobservasi sinyal keluaran dari sistem DLIA dan mengobservasi sinyal keluaran dari sensor MQ3. Artinya membandingkan antara sinyal keluaran dari sensor MQ3 yang menggunakan sistem DLIA dengan yang tidak menggunakan sistem DLIA, kemudian dari hasil observasi tersebut dihitung nilai SNR dari kedua sinyal.

4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Pada percobaan dengan sensor gas alkohol sinyal keluaran dari sensor baik yang tidak menggunakan sistem DLIA ataupun yang menggunakan memiliki bentuk visual yang mirip. Ini dibuktikan dengan nilai SNR yang tidak begitu signifikan. Gambar 4.18 adalah bentuk sinyal keluaran sensor gas alkohol baik yang tidak memakai sistem DLIA (a) ataupun yang memakai sistem DLIA (b). Gambar 4.19 menjelaskan bahwa sinyal keluaran tanpa DLIA pada eksperimen sensor gas alkohol memiliki nilai SNR 8.87 dB at 200 mV/Div dan sinyal keluaran sensor gas alkohol yang memakai sistem DLIA memiliki nilai SNR 11.05 dB at at 200 Mv/Div.

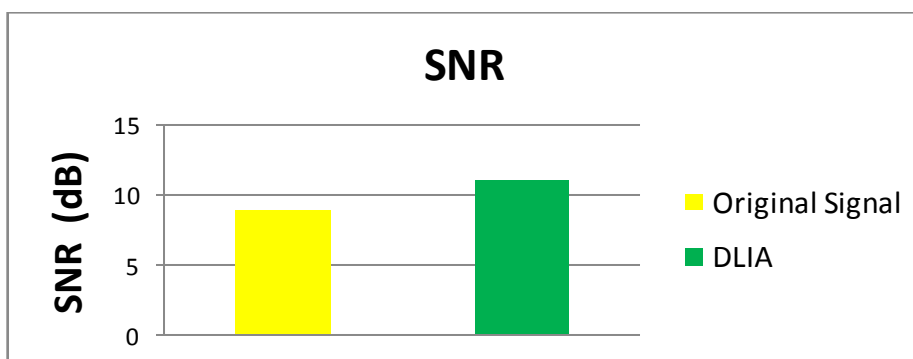


(a)



(b)

Gambar 4.18 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor menggunakan DLIA.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan SNR pada percobaan sensor gas alkohol.

4.3 Pengujian Hasil Sistem DLIA Dengan Sensor Gas Karbon Monoksida

4.3.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian kali ini adalah untuk membuktikan bahwa sistem ini bisa mengatasi gangguan derau pada sinyal yang berasal dari sensor gas karbon monoksida (MQ7) dengan dan tanpa nilai penguatan yang diperbesar.

4.3.2 Prosedur Pengujian

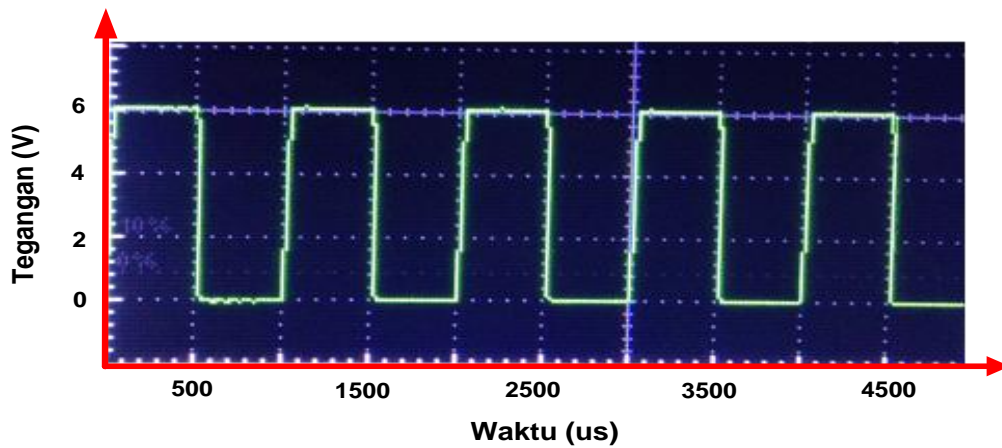
Pengujian sistem ini dilakukan dengan membuktikan bahwa sinyal-sinyal pada setiap komponen dari sensor gas MQ 7 yang menggunakan sistem DLIA telah sesuai dengan yang diinginkan. Sinyal modulasi untuk tegangan suplai sensor, sinyal referensi untuk sistem DLIA, sinyal keluaran dari sensor yang dimodulasi, sinyal hasil mixer, dan sinyal keluaran LPF dari sistem DLIA harus diverifikasi.

Kemudian mengobservasi sinyal keluaran dari sistem DLIA dan mengobservasi sinyal keluaran dari sensor MQ7. Artinya membandingkan antara sinyal keluaran dari sensor MQ7 yang menggunakan sistem DLIA dengan yang tidak menggunakan sistem DLIA, kemudian dari hasil observasi tersebut dihitung nilai SNR dari kedua sinyal. Pada saat sensor MQ7 menggunakan sistem DLIA, nilai penguatan juga diperbesar, kemudian sinyal keluaran dari sistem DLIA juga dibandingkan dengan keluaran sensor MQ7 yang tidak menggunakan sistem DLIA.

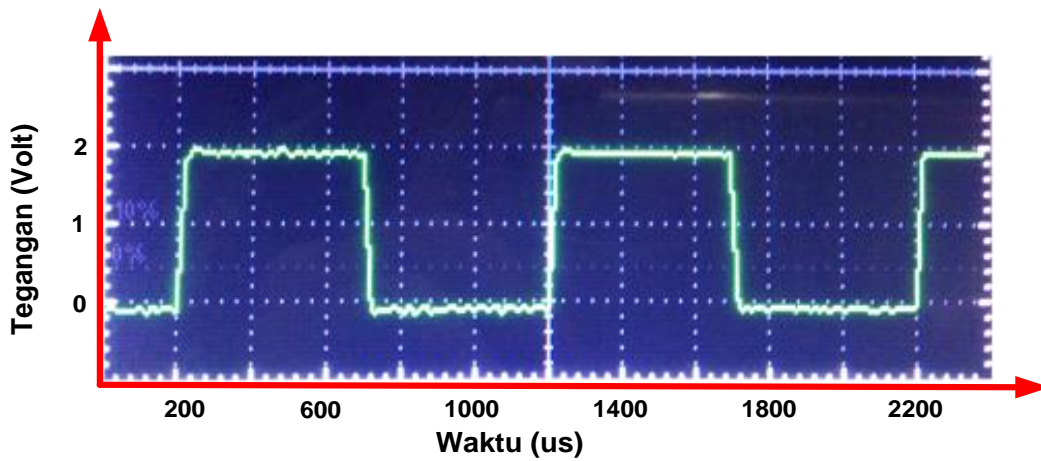
4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Gambar 4.20 menunjukkan sinyal modulasi untuk sensor MQ 7 yang berasal dari pin DAC mikroprosesor STM32F4. Tegangan suplai yang dibutuhkan sensor gas $\pm 5V$, jadi tegangan modulasi yang dipakai adalah 6V yang memiliki frekuensi 1 KHz. Tegangan modulasi ini berasal dari penguat tak membalik karena tegangan modulasi dari pin DAC mikroporsesor hanya memiliki tegangan puncak $\pm 3V$. Penguat tak membalik pada kasus ini selain sebagai penguat juga berfungsi sebagai buffer.

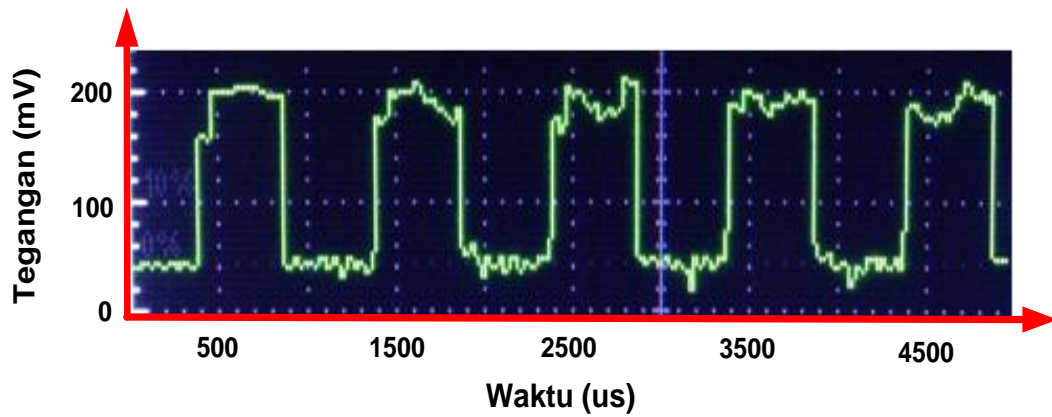
Gambar 4.21 menunjukkan sinyal referensi untuk sistem DLIA, sinyal ini masuk menuju *Analog to Digital Converter* (ADC) dari mikroprosesor ARM STM32F4. Tegangan referensi dirancang sebesar 2V karena sinyal maksimal yang dapat dibaca oleh ADC mikroprosesor adalah 3V. Sinyal referensi ini nantinya akan menjadi salah satu masukan dari blok *mixer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



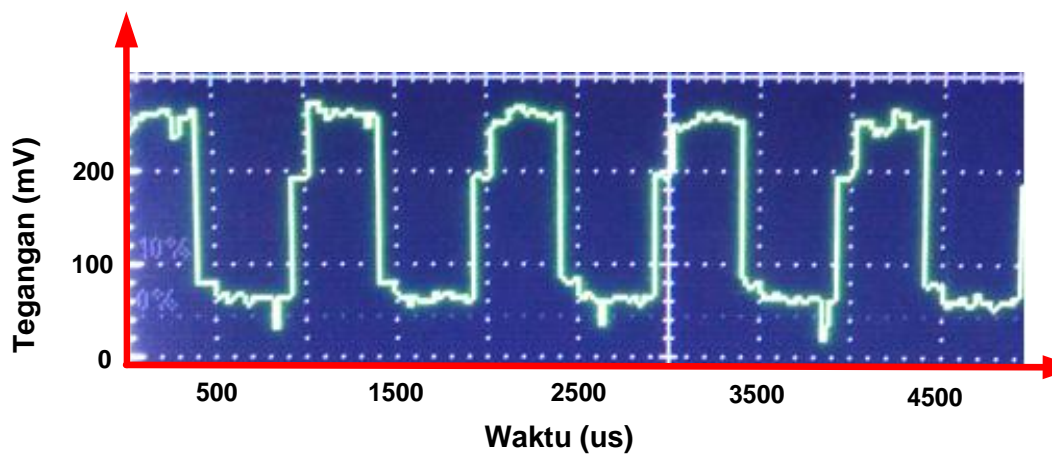
Gambar 4.20 Sinyal modulasi untuk sensor MQ 7.



Gambar 4.21 Sinyal referensi sistem DLIA dengan masukan sensor MQ 7.

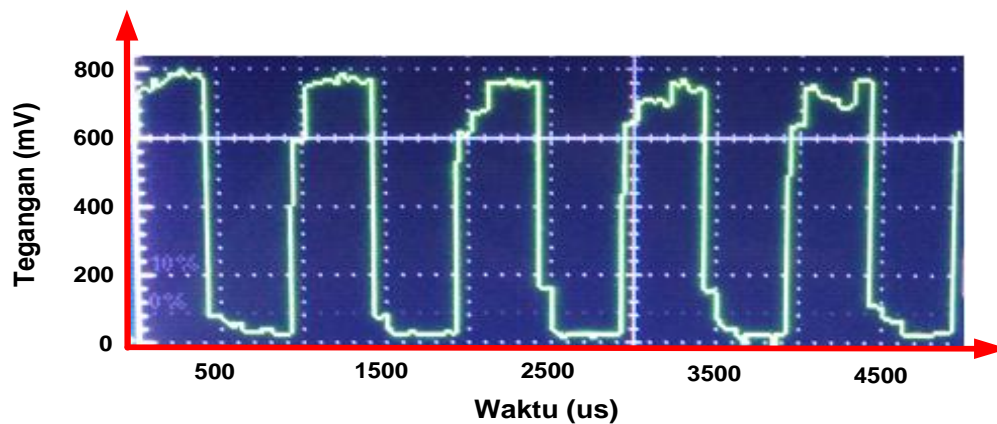


Gambar 4.22 Sinyal keluaran sensor MQ 7 yang dimodulasi.



Gambar 4.23 Sinyal keluaran dari blok mixer.

Gambar 4.22 menunjukkan sinyal keluaran sensor MQ 7 dalam skala 100 mV/Div. Terlihat bahwa sinyal ini memiliki derau yang cukup signifikan, sinyal ini nantinya akan dihubungkan dengan pin ADC mikroprosesor dan akan dikalikan dengan sinyal referensi dari sistem DLIA oleh blok *mixer*.

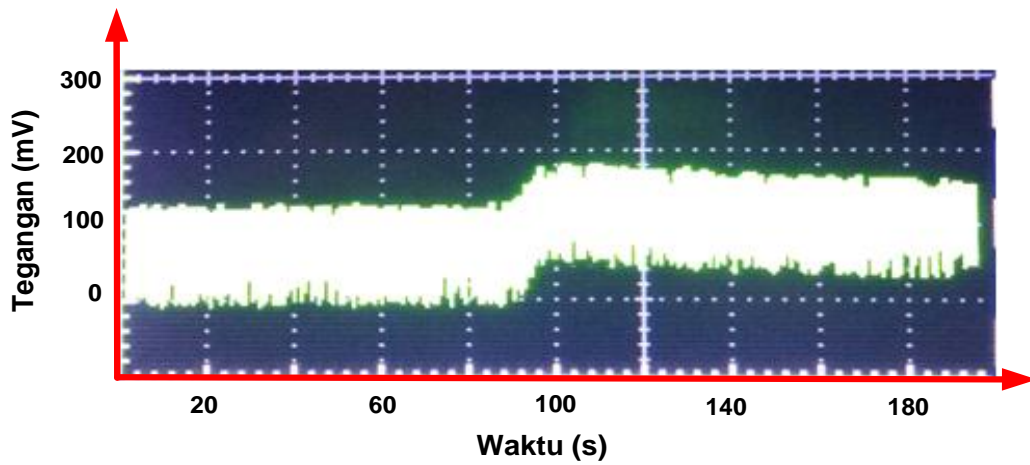


Gambar 4.24 Sinyal keluaran dari sensor MQ 7 dengan penguatan 4 kali.

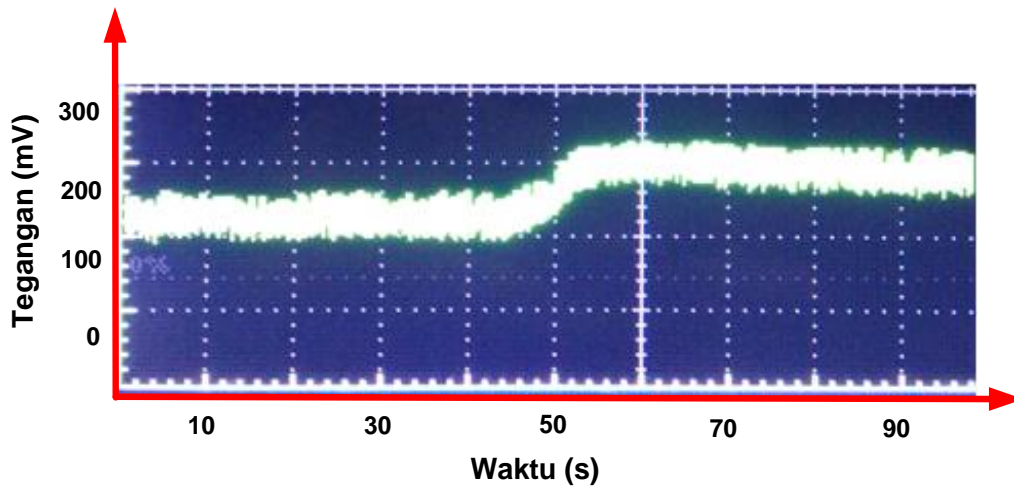
Gambar 4.23 menunjukkan sinyal keluaran dari blok *mixer* dalam skala 100 mV/Div. Terlihat bahwa sinyal ini naik ± 50 mV dikarenakan sinyal yang keluar dari DAC mempunyai tegangan minimal ± 50 mV. Sinyal ini nantinya akan dimasukkan ke dalam blok LPF dengan frekuensi *cut-off* sesuai dengan sistem DLIA yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Gambar 4.24 menunjukkan sinyal keluaran dari sensor yang diperbesar hingga mencapai tegangan puncak ± 800 mV. Sinyal ini adalah hasil dari proses peningkatan penguatan sebanyak 4 kali karena sinyal keluaran sensor termasuk salah satu komponen yang dapat meningkatkan penguatan.

Gambar 4.25 (a) menjelaskan eksperimen keluaran sensor gas CO tanpa DLIA memiliki SNR 1.3 dB pada 100 mV/Div. Terlihat secara visual bahwa yang tidak menggunakan sistem DLIA bentuk sinyalnya relatif lebih tebal dibandingkan dengan yang menggunakan sistem DLIA. Page ini yang menyebabkan SNR keluaran sensor yang menggunakan sistem DLIA lebih besar. Gambar 4.25 (b) menjelaskan eksperimen sensor gas CO dengan DLIA memiliki SNR 3.64 dB pada 100 mV/Div dengan penguatan 4 kali lebih tinggi.



(a)

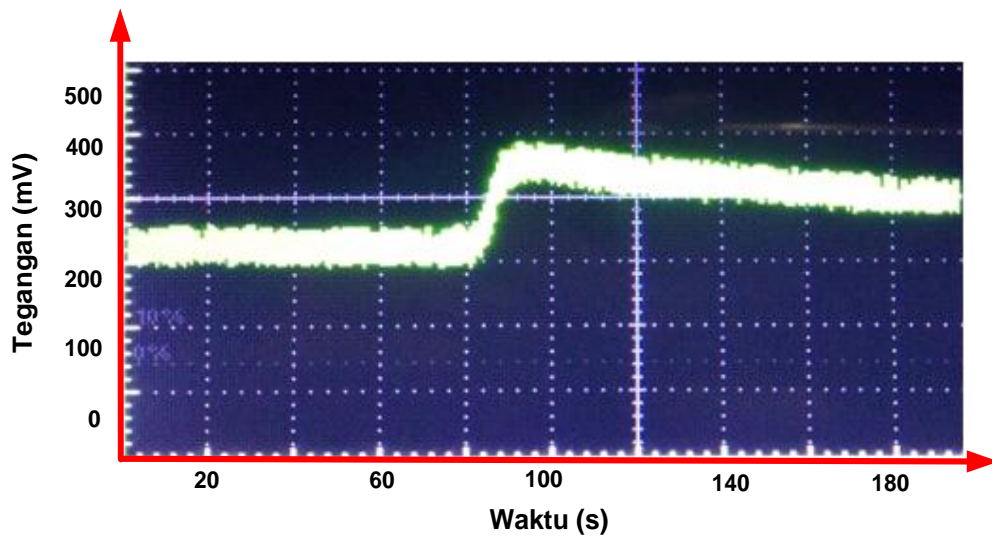


(b)

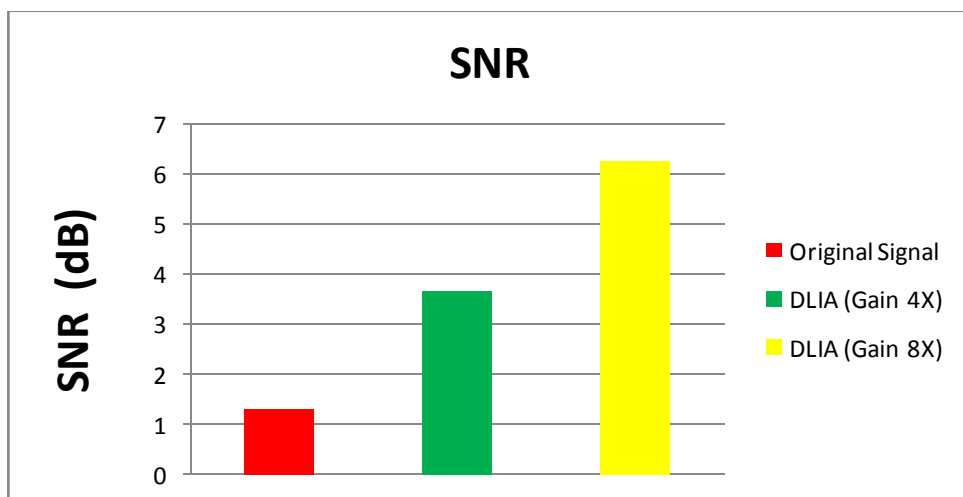
Gambar 4.25 Perbandingan sinyal: (a) Sinyal keluaran sensor MQ 7 tanpa DLIA dan (b) Sinyal keluaran sensor MQ 7 menggunakan DLIA.

Gambar 4.26 menjelaskan percobaan sensor gas CO dengan DLIA memiliki SNR 6.24 dB pada 100 mV/Div dengan penguatan 8 kali lebih tinggi. Terlihat bahwa secara visual perubahan tegangan keluaran dari sistem DLIA lebih sensitive daripada sebelumnya, artinya perubahan amplitudo tegangan terlihat lebih tinggi ketika gas buang kendaraan bermotor disuntikkan ke dalam tabung uji.

Gambar 4.27 menjelaskan bahwa keluaran sensor yang menggunakan sistem DLIA dengan penguatan yang ditambah tetap memiliki nilai SNR yang paling tinggi.



Gambar 4.26 Pengujian sensor gas CO dengan DLIA dengan sensitivitas 8 kali lebih tinggi.



Gambar 4.27 Grafik perbandingan SNR pada percobaan sensor gas CO.

Tabel 4.1 Tabel perbandingan SNR untuk tiap percobaan.

| NO | Percobaan | Sampel Uji | Frekuensi Sinyal Masukan | Frekuensi Cut-Off LPF | SNR | |
|----|---|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|------------------|
| | | | | | Tanpa DLIA | Menggunakan DLIA |
| 1. | Rangkaian osilator sebagai masukan DLIA | - | 1 Hz | 5 Hz | -4.73 dB | 4.08 dB |
| 2. | Rangkaian osilator sebagai masukan DLIA dengan 2 kali kenaikan sensitivitas | - | 1 Hz | 5 Hz | -4.73 dB | 10.45 dB |
| 3. | Rangkaian osilator sebagai masukan DLIA dengan 2 kali sensitivitas | - | 10 Hz | 20 Hz | 5.05 dB | 10.45 dB |
| 4. | Sensor MQ 3 sebagai masukan DLIA | Alkohol | - | 1 Hz | 8.87 dB | 11.05 dB |
| 5. | Sensor MQ 7 sebagai masukan DLIA dengan 4 kali penguatan | Gas Buang Kendaran Bermotor | - | 1 Hz | 1.3 dB | 3.64 dB |
| 6. | Sensor MQ 7 sebagai masukan DLIA dengan 8 kali penguatan | Gas Buang Kendaran Bermotor | - | 1 Hz | 1.3 dB | 6.24 dB |
| 7 | Sensor MQ 7 sebagai masukan DLIA dengan 1 kali penguatan | Asap rokok | - | 1 Hz | 3.9 dB | 7.8 dB |
| 8 | Sensor MQ 7 sebagai masukan DLIA dengan 4 kali penguatan | Asap rokok | - | 1 Hz | 3.9 dB | 15.6 dB |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat sebuah sistem Digital Lock-In Amplifier yang terdiri dari rangkaian osilator, Phase Sensitive Detector, Low Pass Filter yang diimplementasikan pada mikroprosesor ARM STM32F4. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem DLIA memiliki nilai SNR 4,08 dB dengan melakukan observasi pada sinyal informasi pada 1 Hz dengan frekuensi modulasi pada 1KHz menggunakan frekuensi *cut-off* LPF pada 5 Hz. Jika penguatan dinaikkan sebanyak 2 kali, maka nilai SNR akan menjadi 10.45 dB.

Pada percobaan dengan sensor gas alkohol membuktikan bahwa sinyal keluaran sensor dan keluaran sistem DLIA dengan penguatan satu kali memiliki SNR masing-masing sebesar 8.87 dan 11.05 dB. DLIA dengan penguatan yang lebih besar dapat menghasilkan nilai SNR yang lebih tinggi.

Pada percobaan dengan sensor gas CO dengan sampel uji berupa gas buang kendaraan bermotor didapat bahwa nilai SNR untuk sinyal keluaran sensor dan keluaran DLIA dengan penguatan empat kali masing-masing adalah 1,3 dan 3,64 dB. Sedangkan sinyal sensor gas CO yang menggunakan DLIA dengan penguatan 8 kali memiliki SNR sebesar 6.24 dB. Kemudian pada percobaan dengan sampel uji berupa asap rokok diperoleh nilai SNR untuk sinyal keluaran sensor gas dan keluaran DLIA dengan penguatan satu kali masing-masing adalah 3,9 dan 7,8 dB. Sedangkan untuk DLIA dengan penguatan 4 kali menghasilkan SNR sebesar 15,6 dB. Ini membuktikan bahwa sistem DLIA bisa menaikkan SNR dari sinyal keluaran sensor gas CO. Tingkat akurasi pengukuran SNR adalah sebesar 90.41%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Amril, (2010), "Pendeteksi Kadar Gas Buang (CO) Kendaraan Bermotor Roda Dua Menggunakan Sensor Gas," Poli Rekayasa, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang Kampus Unand Limau Manis Padang, Vol. 6, No. 1, hal. 9-18.
- Armen, B., (2008), *Phase Sensitive Detection : Lock-In Amplifier*, Laboratory Manual, Department of Physics and Astronomi, The University of Tennessee, Tennessee.
- Bahri, A., (2013), "Simulasi Karakteristik Inverter IC 555," *ISSN*, Universitas Islam Lamongan, No. 2085-0859.
- Bengtsson, L. E., (2012), "A Microcontroller-Based Lock-In Amplifier For Sub-Milliohm Resistant Measurement," *Riview of Scientific Instrument*, University of Gothenburg, Sweden, Vol. 83, hal. 1-8.
- Bochenkov, V. E. dan Sergeev, G. B., (2010), *Sensitivity, Selectivity, and Stability of Gas-Sensitive Metal-Oxide Nanostructure*, Lecture handout : Metal Oxide Gas Sensor, Laboratory of Low Temperature Chemistry, M. V. Lomonosov Moscow State University, Rusia.
- Dening, D. C., (1976), "Simulation of Digital Lock-In Amplifier," *Journal of Magnetic Resonance*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, Virginia, Vol. 23, hal. 461-463.
- Farrar, H. D. dan Hiorns, R. E., (1993), "Development of A Digital Amplifier," *Proccedings of Audio DSP - Circuits and Systems*, IEE Colloquium on, Savoy Place, London, hal. 1-5.
- Fessler, J., (2004), *Digital Signal Processing*, Lecture handout : Designe of Digital Filter, Chapter 8 (Student Version), The University of Michigan, Michigan.
- Fine, G. F., Cavanagh, L. M., Afonja, A., dan Binions, R., (2010), "Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensor in Environmental Monitoring," *Sensors*, University College London, London, Vol. 10, hal. 5469-5502.
- Gaspar, J., Chen, S. F., Gordillo, A., Hepp, M., Ferreyra, P., dan Marquez, C., (2003), "Digital Lock-In Amplifier : Study, Designe, and Development With A Digital Signal Processor," *Microprocessor and Microsystems*, Universidad Nacional de Cordoba, Cordoba, Argentina, Vol. 28, hal. 157-162.
- Gooch dan Housego, (1996), *The Benefits of DSP Lock-In Amplifiers*, Lecture handout : Lock-in Amplifier Principles, Rev. 9-96.

- Hernandez, P. M. M., Simon, L. C. A., Pascual, M. T. S., dan Lopz, B. C., (2014), "An Integrated Low-Power Lock-In Amplifier and It's Application to Gas Detection," *Sensors*, Vol. 14, hal.15880–15899.
- Hidayat, W. S., (2012), "Kinerja Butterworth Low-Pass Filter pada Teknik Modulasi Digital ASK Terhadap Paket Data yang Dipengaruhi oleh Derau," *InComTech*, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Vol. 3, No. 2, hal. 169-184.
- Huang, J. dan Wan, Q., (2009), "Gas Sensor Based on Semiconducting Metal Oxide One-Dimensional Nanostructures," *Sensors*, Hunan University, China, Vol. 9, hal. 9903-9924.
- Kanan, S. M., Kadri, O. M. E., Yousef, I. A. A., dan Kanan, M. C., (2009), "Semiconducting Metal Oxide Based Sensors for Selective Gas Pollutant Detection," *Sensors*, American University of Sharjah, Sharjah, UAE, Vol. 9, hal. 8158-8196.
- Lacopini, E., Smith, B., Stfanini, G., dan Carusotto, S., (1983) "Digital Techniques Applied to Phase-Sensitive Detection," *J. Phys. E : Sci. Instrum.*, Great Britain, Vol. 16, hal. 844-847.
- Li, G., Zhou, M., Li, X., dan Lin, L., (2013), "Digital Lock-In Algoritm and Parameter Setting In Multi-Channel Sensor Signal Detection," *Measurement*, Hebei University of Technology, Hanjin, China, Vol. 46, hal. 2519-2524.
- Marcellis, D., Giasante, A. D., Ferri, G., Natale, C. D., Martinelli, E., dan Amico, A. D., (2010), "Analog Automatic Lock-In Amplifier for Very Low Gas Concentration Detection," *Procedia Engineering*, Linz, Austria, Vol. 5, hal. 200-203.
- Marki, F. dan Marki, C., (2010), *Mixer Basic Primer : A Tutorial for RF and Microwave Mixers*, Microwave Inc, Morgan Hill, California, hal. 1-12.
- Masciotti, J. M., Lasker, J. M., dan Hielscher, A. H., (2008), "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, hal. 182-189.
- Moos, R., Sahner, K., Fleischer, M., Guth, U., Barsan, N., dan Weimar, U., (2009), "Solid State Gas Sensor Research in Germain," *Sensors*, Vol. 9, hal. 4323-4365.
- Niknejad, A. M., (2005), *Introduction to Mixers*, Lecture handout 15 : Integrated Circuits for Communication, University of California, Barkeley.

- Raharjo, W., Haryatno, J., Hidayat, I., (2008), *Perancangan dan Realisasi Pengukur Kadar Karbon Monoksida Pada Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler*, Tugas Akhir, Telkom University, Bandung, hal. 1-7.
- Roberge, J.K., (1975), "Operational Amplifier : Teory and Practice," Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Samadikun, S., Rio, S. R., dan Mengko, T., (1989), *Sistem Instrumentasi Elektronika*, Lecture handout : Pusat Antar Universitas Bidang Elektronika, ITB, Bandung.
- Santoso, T. B. dan Huda, M., (2008), *Pemfilteran Sinyal Suara*, Petunjuk Praktikum 4, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- Savitri, B., Irianti, A., dan Nur'ainingsih, D., (2009), "Perancangan Low Pass Filter Digital Dengan FPGA," *Seminar Nasional V*, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, hal. 15-22.
- Schafer dan Buck, (2006), *Discrete-Time Signal Processing*, Lecture handout : DT Filter Designe : IIR Filters, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- Schilcher, T., (2007), *Digital Signal Processing in RF Application*, Lecture handout : Digital Signal Processing, Paul Scherrer Institute, Villigen, Swiss.
- Scholten, R., (2011), *Lock-In Amplifier*, Lecture handout : Electronics Research Laboratory, University of Helsinki, Finland.
- Scofield, J. H., (1994), "A Frequency-Domain Description of Lock-In Amplifier," *American Journal of Physics*, Department of Physics, Oberlin College, Oberlin, Vol. 62, hal. 129-133.
- Sonnaillon, M. O. dan Bonetto, F. J., (2005), "A Low-Cost, High-Performance, Digital Sinyal Processor-Based Lock-In Amplifier Capable measuring Multiple Frequency Sweeps Simultaneously," *Riview of Scientific Instrument*, Laboratorio de Cavitation y Biotecnologia, San Carlos de Bariloche, Argentina, Vol. 79, hal. 1-7.
- STMicroelectronics., (2014), *STM32F4DISCOVERY*, ST Products, Jenewa, Swiss.
- Stoltenberg, J., Pengra, D., Dyck, R., dan Vilches, O., (2005), *The Phase Sensitive (Lock-in) Detector*, Lecture handout : *Lockin Amplifier*, The University of Texas, Texas.

Winarsih, I., Agoes, S., dan Wahyudi, R., (2003), "Implementasi Filter Digital IIR Butterworth Pada DSP Starter Kit TMS320C3x," *JETTri*, Vol. 2, No. 2, hal. 9-20.

Wolfson, R., (1991), "The Lock-In Amplifier : A Student Experiment," *American Journal of Physics*, Vol. 59, hal. 569-572.

LAMPIRAN

❖ Listing Program

```
#include "stm32f4xx.h"
#include "defines.h"
#include "tm_stm32f4_dac.h"
#include "tm_stm32f4_delay.h"
#include "tm_stm32f4_disco.h"
#include "tm_stm32f4_usart.h"
#include "tm_stm32f4_adc.h"
#include "tm_stm32f4_usart_dma.h"
#include "string.h"
#include <stdio.h>
#include "stm32f4xx_dac.h"
#include "tm_stm32f4_dac_signal.h"
#include <stm32f4xx_gpio.h>
#include "stm32f4xx_tim.h"
#include <stm32f4xx_rcc.h>
#include <misc.h>
#include "tm_stm32f4_usart.h"
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#define DAC_DHR12R2_ADDRESS    0x40007414
#define DAC_DHR8R1_ADDRESS    0x40007410
GPIO_InitTypeDef  GPIO_InitStructure;
TIM_TimeBaseInitTypeDef  TIM_TimeBaseStructure;
float ref,adc1,mixer,LPFsk,LPFsb;
void INTTIM_Config(void);
void LED_Config(void);

int main(void) {
    /* Initialize sistem */
    SistemInit();
    /* Initialize delay */
    TM_DELAY_Init();
    /* Initialize onboard leds */
    TM_DISCO_LedInit();
    /* Initialize USART1, 115200baud, TX: PB6 */
    TM_USART_Init(USART1, TM_USART_PinsPack_2, 115200);
    /* Initialize ADC1 on channel 0, this is pin PA0 */
    TM_ADC_Init(ADC1, ADC_Channel_0);
    /* Initialize ADC1 on channel 1, this is pin PA1 */
    TM_ADC_Init(ADC1, ADC_Channel_1);
    /* Initialize ADC1 on channel 3, this is pin PA3 */
    TM_ADC_Init(ADC1, ADC_Channel_3);
    /* Initialize DAC channel 1, pin PA4
    TM_DAC_Init(TM_DAC1);
    /* Initialize DAC2, use TIM5 for signal generation */
    TM_DAC_SIGNAL_Init(TM_DAC22, TIM5);
    TM_DAC_SIGNAL_SetSignal(TM_DAC22, TM_DAC_SIGNAL_Signal_Square,
    1000);
    INTTIM_Config();
    LED_Config();
```

```

        while (1){
        }
    }
void INTTIM_Config(void)
{
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
    /* Enable the TIM2 global Interrupt */
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = TIM2_IRQn;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);

    /* TIM2 clock enable */
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);
    /* Time base configuration */
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 100 - 1; // 1 MHz down to 10
    KHz
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 84 - 1; // 84 MHz Clock
    down to 1 MHz (adjust per your clock)
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
    TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_TimeBaseStructure);
    /* TIM IT enable */
    TIM_ITConfig(TIM2, TIM_IT_Update, ENABLE);
    /* TIM2 enable counter */
    TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);
}

void LED_Config(void)
{
    /* GPIOD Periph clock enable */
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOD, ENABLE);
    /* Configure PD12, PD13, PD14 and PD15 in keluaran pushpull mode
    /*GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_12 | GPIO_Pin_13|
    GPIO_Pin_14| GPIO_Pin_15;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_10;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_OUT;
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL;
    GPIO_Init(GPIOD, &GPIO_InitStructure);
}
void TIM2_IRQHandler(void)
{
    if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_Update) != RESET)
    {
        TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_Update);

        ref=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_0));
        adc1=(TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_1));
        mixer=((adc1*ref)/4096)+100;
        LPFsk=((0.0006278*ref) + (0.9994*LPFsb)); // 1hz fs=>10khz
        LPFsb=LPFsk;
        TM_DAC_SetValue(TM_DAC1, (LPFsk));
    }
}
}

```

```

////////////////////////////////////SETTING PARAMETER FUNGSI DAC////////////////////////////////////

void TM_DAC_Init(TM_DAC_Channel_t DACx) {
    DAC_InitTypeDef DAC_InitStruct;
    uint16_t GPIO_Pin;

    /* Select proper GPIO pin */
    if (DACx == TM_DAC1) {
        GPIO_Pin = GPIO_PIN_4;
    } else {
        GPIO_Pin = GPIO_PIN_5;
    }

    /* Initialize proper GPIO pin */
    TM_GPIO_Init(GPIOA, GPIO_Pin, TM_GPIO_Mode_AN,
TM_GPIO_OType_PP, TM_GPIO_PuPd_NOPULL, TM_GPIO_Speed_Fast);

    /* Enable DAC clock */
    RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_DACEN;

    /* Set DAC options */
    DAC_InitStruct.DAC_Trigger = DAC_Trigger_None;
    DAC_InitStruct.DAC_WaveGeneration = DAC_WaveGeneration_None;
    DAC_InitStruct.DAC_KeluaranBuffer = DAC_KeluaranBuffer_Enable;

    /* Init and enable proper DAC */
    if (DACx == TM_DAC1) {
        DAC_Init(DAC_Channel_1, &DAC_InitStruct);
        /* Enable DAC channel 1 */
        DAC->CR |= DAC_CR_EN1;
    } else {
        DAC_Init(DAC_Channel_2, &DAC_InitStruct);
        /* Enable DAC channel 2 */
        DAC->CR |= DAC_CR_EN2;
    }
}

void TM_DAC_SetValue(TM_DAC_Channel_t DACx, uint16_t value) {
    /* Check value */
    if (value > 4095) {
        value = 4095;
    }

    /* Set 12-bit value, right aligned */
    if (DACx == TM_DAC1) {
        DAC->DHR12R1 = value;
    } else {
        DAC->DHR12R2 = value;
    }
}

```

//////////SETTING PARAMETER FUNGSI DAC SET_SIGNAL//////////

```
TM_DAC_SIGNAL_Result_t
TM_DAC_SIGNAL_SetCustomSignal(TM_DAC_SIGNAL_Channel_t DACx,
uint16_t* Signal_Data, uint16_t Signal_Length, double frequency);
uint16_t DAC_SIGNAL_Square[DAC_SIGNAL_SQUARE_LENGTH] = {
    0, 4095
};
```

```
TIM_TypeDef *DAC_TIM[2];
uint8_t dac_timer_set[2] = {0, 0};
```

```
TM_DAC_SIGNAL_Result_t TM_DAC_SIGNAL_Init(TM_DAC_SIGNAL_Channel_t
DACx, TIM_TypeDef* TIMx) {
    uint16_t GPIO_Pin;

    /* Check used timer */
    /* Set proper trigger */
    if (
        TIMx == TIM5 ||
    ) {
        /* Set timer */
        DAC_TIM[DACx] = TIMx;
        /* Set flag */
        dac_timer_set[DACx] = 1;
    } else {
        /* Timer is not valid */
        return TM_DAC_SIGNAL_Result_TimerNotValid;
    }

    /* Select proper GPIO pin */
    if (DACx == TM_DAC1)
    {
        //////////////////////////////////////
        //////////////////////////////////////
        GPIO_Pin = GPIO_PIN_4;
    } else {
        GPIO_Pin = GPIO_PIN_5;
    }

    /* Initialize proper GPIO pin */
    TM_GPIO_Init(GPIOA, GPIO_Pin, TM_GPIO_Mode_AN,
TM_GPIO_OType_PP, TM_GPIO_PuPd_NOPULL, TM_GPIO_Speed_Fast);

    /* Return OK */
    return TM_DAC_SIGNAL_Result_Ok;
}
```

```
TM_DAC_SIGNAL_Result_t
TM_DAC_SIGNAL_SetSignal(TM_DAC_SIGNAL_Channel_t DACx,
TM_DAC_SIGNAL_Signal_t signal_type, double frequency) {
    TM_DAC_SIGNAL_Result_t result;
    switch (signal_type) {
        DAC_SIGNAL_TRIANGLE_LENGTH, frequency);
        break;
        case TM_DAC_SIGNAL_Signal_Square:
            result = TM_DAC_SIGNAL_SetCustomSignal(DACx,
DAC_SIGNAL_Square, DAC_SIGNAL_SQUARE_LENGTH, frequency);
```



```

        break;
    default:
        result = TM_DAC_SIGNAL_Result_Error;
    }

    /* Return result */
    return result;
}

TM_DAC_SIGNAL_Result_t
TM_DAC_SIGNAL_SetCustomSignal(TM_DAC_SIGNAL_Channel_t DACx,
uint16_t* Signal_Data, uint16_t Signal_Length, double frequency) {
    DAC_InitTypeDef DAC_InitStruct;
    TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseStruct;
    DMA_InitTypeDef DMA_InitStruct;
    TM_TIMER_PROPERTIES_t Timer_Data;

    /* Check if timer is set */
    if (!dac_timer_set[DACx]) {
        return TM_DAC_SIGNAL_Result_Error;
    }

    /* Check used timer */
    /* Set proper trigger */
    if (DAC_TIM[DACx] == TIM5) {
        DAC_InitStruct.DAC_Trigger = DAC_Trigger_T5_TRGO;
    }
    /* Timer is not valid */
    return TM_DAC_SIGNAL_Result_TimerNotValid;
}

    /* Get timer data */
    TM_TIMER_PROPERTIES_GetTimerProperties(DAC_TIM[DACx],
&Timer_Data);

    /* Get period and prescaler values */

TM_TIMER_PROPERTIES_GenerateDataForWorkingFrequency(&Timer_Data,
frequency * Signal_Length);

    /* Check valid frequency */
    if (Timer_Data.Frequency == 0) {
        return TM_DAC_SIGNAL_Result_Error;
    }

    /* Enable DAC clock */
    RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_DACEN;
    /* Enable DMA1 clock */
    RCC->AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_DMA1EN;

    /* Initialize DAC */
    DAC_InitStruct.DAC_WaveGeneration = DAC_WaveGeneration_None;
    DAC_InitStruct.DAC_KeluaranBuffer = DAC_KeluaranBuffer_Enable;

    /* Disable DMA */
    if (DACx == TM_DAC1) {
        /* Init DAC channel 1 */
        DAC_Init(DAC_Channel_1, &DAC_InitStruct);
    }
}

```

```

} else if (DACx == TM_DAC2) {
    /* Init DAC channel 2 */
    DAC_Init(DAC_Channel_2, &DAC_InitStruct);
}

/* Enable timer clock */
TIM_TIMER_PROPERTIES_EnableClock(DAC_TIM[DACx]);

/* Time base configuration */
TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStruct);
TIM_TimeBaseStruct.TIM_Period = Timer_Data.Period - 1;
TIM_TimeBaseStruct.TIM_Prescaler = Timer_Data.Prescaler - 1;
TIM_TimeBaseStruct.TIM_ClockDivision = 0;
TIM_TimeBaseStruct.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;

/* Initialize timer */
TIM_TimeBaseInit(DAC_TIM[DACx], &TIM_TimeBaseStruct);

/* Enable TIM selection */
TIM_SelectKeluaranTrigger(DAC_TIM[DACx],
TIM_TRGOSource_Update);

/* Set DMA options */
DMA_InitStruct.DMA_Memory0BaseAddr = (uint32_t)Signal_Data;
DMA_InitStruct.DMA_DIR = DMA_DIR_MemoryToPeripheral;
DMA_InitStruct.DMA_BufferSize = Signal_Length;
DMA_InitStruct.DMA_PeripheralInc = DMA_PeripheralInc_Disable;
DMA_InitStruct.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Enable;
DMA_InitStruct.DMA_PeripheralDataSize =
DMA_PeripheralDataSize_HalfWord;
DMA_InitStruct.DMA_MemoryDataSize =
DMA_MemoryDataSize_HalfWord;
DMA_InitStruct.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
DMA_InitStruct.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
DMA_InitStruct.DMA_FIFOMode = DMA_FIFOMode_Disable;
DMA_InitStruct.DMA_FIFOThreshold = DMA_FIFOThreshold_HalfFull;
DMA_InitStruct.DMA_MemoryBurst = DMA_MemoryBurst_Single;
DMA_InitStruct.DMA_PeripheralBurst =
DMA_PeripheralBurst_Single;

switch (DACx) {
    case TM_DAC1:
        /* Set peripheral location = 12bit right aligned for
channel 1 */
        DMA_InitStruct.DMA_PeripheralBaseAddr =
(uint32_t)&DAC->DHR12R1;

        /* Disable DMA */
        DMA_DeInit(DAC_SIGNAL_DMA_DAC1_STREAM);

        /* Set channel used */
        DMA_InitStruct.DMA_Channel =
DAC_SIGNAL_DMA_DAC1_CHANNEL;

        /* Initialize DMA */
        DMA_Init(DAC_SIGNAL_DMA_DAC1_STREAM, &DMA_InitStruct);

        /* Enable DMA Stream for DAC Channel 1 */

```

```

        DMA_Cmd(DAC_SIGNAL_DMA_DAC1_STREAM, ENABLE);

        /* Enable DAC Channel 1 */
        DAC_Cmd(DAC_Channel_1, ENABLE);

        /* Enable DMA for DAC Channel 1 */
        DAC_DMAMCmd(DAC_Channel_1, ENABLE);
        break;
    case TM_DAC2:
        /* Disable DMA */
        DMA_DeInit(DAC_SIGNAL_DMA_DAC2_STREAM);

        /* Set channel used */
        DMA_InitStructure.DMA_Channel =
DAC_SIGNAL_DMA_DAC2_CHANNEL;

        /* Set peripheral location = 12bit right aligned for
channel 2 */
        DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr =
(uint32_t)&DAC->DHR12R2;

        /* Initialize DMA */
        DMA_Init(DAC_SIGNAL_DMA_DAC2_STREAM, &DMA_InitStructure);

        /* Enable DMA Stream for DAC Channel 2 */
        DMA_Cmd(DAC_SIGNAL_DMA_DAC2_STREAM, ENABLE);

        /* Enable DAC Channel 2 */
        DAC_Cmd(DAC_Channel_2, ENABLE);

        /* Enable DMA for DAC Channel 2 */
        DAC_DMAMCmd(DAC_Channel_2, ENABLE);
        break;
    default:
        break;
}

/* Enable timer */
DAC_TIM[DACx]->CR1 |= TIM_CR1_CEN;

/* Return OK */
return TM_DAC_SIGNAL_Result_Ok;
}

```

```
//////////SETTING PARAMETER FUNGSI ADC//////////
```

```
/* Private functions */
void TM_ADC_INT_Channel_0_Init(ADC_TypeDef* ADCx);
void TM_ADC_INT_Channel_1_Init(ADC_TypeDef* ADCx);
void TM_ADC_INT_InitPin(GPIO_TypeDef* GPIOx, uint16_t PinX);

void TM_ADC_Init(ADC_TypeDef* ADCx, uint8_t channel) {
    TM_ADC_Channel_t ch = (TM_ADC_Channel_t) channel;
    if (ch == TM_ADC_Channel_0) {
        TM_ADC_INT_Channel_0_Init(ADCx);
    } else if (ch == TM_ADC_Channel_1) {
        TM_ADC_INT_Channel_1_Init(ADCx);
    } else if (ch == TM_ADC_Channel_2) {
    }

    /* Init ADC */
    TM_ADC_InitADC(ADCx);
}

void TM_ADC_InitADC(ADC_TypeDef* ADCx) {
    ADC_InitTypeDef ADC_InitStruct;
    ADC_CommonInitTypeDef ADC_CommonInitStruct;

    /* Init ADC settings */
    ADC_InitStruct.ADC_ContinuousConvMode = DISABLE;
    ADC_InitStruct.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;
    ADC_InitStruct.ADC_ExternalTrigConv = DISABLE;
    ADC_InitStruct.ADC_ExternalTrigConvEdge =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;
    ADC_InitStruct.ADC_NbrOfConversion = 1;
    ADC_InitStruct.ADC_ScanConvMode = DISABLE;

    /* Enable clock and fill resolution settings */
    if (ADCx == ADC1) {
        /* Enable ADC clock */
        RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_ADC1EN;

        /* Set resolution */
        ADC_InitStruct.ADC_Resolution = TM_ADC1_RESOLUTION;
    }

    /* Set common ADC settings */
    ADC_CommonInitStruct.ADC_DMAAccessMode =
ADC_DMAAccessMode_Disabled;
    ADC_CommonInitStruct.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;
    ADC_CommonInitStruct.ADC_Prescaler = ADC_Prescaler_Div4;
    ADC_CommonInitStruct.ADC_TwoSamplingDelay =
ADC_TwoSamplingDelay_8Cycles;
    ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStruct);

    /* Initialize ADC */
    ADC_Init(ADCx, &ADC_InitStruct);

    /* Enable ADC */
    ADCx->CR2 |= ADC_CR2_ADON;
}
}
```

```

uint16_t TM_ADC_Read(ADC_TypeDef* ADCx, uint8_t channel) {
    uint32_t timeout = 0xFFFF;

    ADC_RegularChannelConfig(ADCx, channel, 1,
ADC_SampleTime_15Cycles);

    /* Start software conversion */
    ADCx->CR2 |= (uint32_t)ADC_CR2_SWSTART;

    /* Wait till done */
    while (!(ADCx->SR & ADC_SR_EOC)) {
        if (timeout-- == 0x00) {
            return 0;
        }
    }

    /* Return result */
    return ADCx->DR;
}

/* Private functions */
void TM_ADC_INT_Channel_0_Init(ADC_TypeDef* ADCx) {
    TM_ADC_INT_InitPin(GPIOA, GPIO_PIN_0);
}
void TM_ADC_INT_Channel_1_Init(ADC_TypeDef* ADCx) {
    TM_ADC_INT_InitPin(GPIOA, GPIO_PIN_1);
}

void TM_ADC_INT_InitPin(GPIO_TypeDef* GPIOx, uint16_t PinX) {
    /* Enable GPIO */
    TM_GPIO_Init(GPIOx, PinX, TM_GPIO_Mode_AN, TM_GPIO_OType_PP,
TM_GPIO_PuPd_DOWN, TM_GPIO_Speed_Medium);
}

```

//////////////////////////////////SETTING PARAMETER FUNGSI TIMER//////////////////////////////////

```

TM_TIMER_PROPERTIES_Result_t
TM_TIMER_PROPERTIES_GetTimerProperties(TIM_TypeDef* TIMx,
TM_TIMER_PROPERTIES_t* Timer_Data) {
    RCC_ClocksTypeDef RCC_ClocksStruct;

    /* Get clocks */
    RCC_GetClocksFreq(&RCC_ClocksStruct);

    /* All timers have 16-bit prescaler */
    Timer_Data->MaxPrescaler = 0xFFFF;

    if (0 /* 32bit timers with PCLK2 max frequency */
#ifdef TIM2
        || TIMx == TIM2
#endif
    ) {
        Timer_Data->TimerFrequency =
RCC_ClocksStruct.PCLK2_Frequency; /* Clock */
        Timer_Data->MaxPeriod = 0xFFFFFFFF;
    /* Max period */

        /* Timer valid */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_Ok;
    } else if (0 /* 16bit timers with HCLK clock frequency */
    ) {
        Timer_Data->TimerFrequency =
RCC_ClocksStruct.HCLK_Frequency; /* Clock */
        Timer_Data->MaxPeriod = 0xFFFF;
    /* Max period */

        /* Timer valid */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_Ok;
    } else if (0 /* 16bit timers with PCLK2 clock frequency */
    ) {
        Timer_Data->TimerFrequency =
RCC_ClocksStruct.PCLK2_Frequency; /* Clock */
        Timer_Data->MaxPeriod = 0xFFFF;
    /* Max period */

        /* Timer valid */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_Ok;
    }

    /* Timer is not valid */
    return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_TimerNotValid;
}

TM_TIMER_PROPERTIES_Result_t
TM_TIMER_PROPERTIES_GenerateDataForWorkingFrequency(TM_TIMER_PROPE
RTIES_t* Timer_Data, double frequency) {
    if (frequency > Timer_Data->TimerFrequency) {
        /* Reset values */
        Timer_Data->Prescaler = 0;
        Timer_Data->Period = 0;
        Timer_Data->Frequency = 0;
    }
}

```

```

        /* Frequency too high */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_FrequencyTooHigh;
    } else if (frequency == 0) {
        /* Reset values */
        Timer_Data->Prescaler = 0;
        Timer_Data->Period = 0;
        Timer_Data->Frequency = 0;

        /* Not valid frequency */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_FrequencyTooLow;
    }

    /* Fix for 16/32bit timers */
    if (Timer_Data->MaxPeriod <= 0xFFFF) {
        Timer_Data->MaxPeriod++;
    }

    /* Get minimum prescaler and maximum resolution for timer */
    Timer_Data->Prescaler = 0;
    do {
        /* Get clock */
        Timer_Data->Period = (Timer_Data->TimerFrequency /
(Timer_Data->Prescaler + 1));
        /* Get period */
        Timer_Data->Period = (Timer_Data->Period / frequency);
        /* Increase prescaler value */
        Timer_Data->Prescaler++;
    } while (Timer_Data->Period > (Timer_Data->MaxPeriod) &&
Timer_Data->Prescaler <= (Timer_Data->MaxPrescaler + 1));
    /* Check for too low frequency */
    if (Timer_Data->Prescaler > (Timer_Data->MaxPrescaler + 1)) {
        /* Reset values */
        Timer_Data->Prescaler = 0;
        Timer_Data->Period = 0;
        Timer_Data->Frequency = 0;

        /* Prescaler too high, frequency is too low for use */
        return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_FrequencyTooLow;
    }

    /* Set frequency */
    Timer_Data->Frequency = frequency;
    /* Return OK */
    return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_Ok;
}

TM_TIMER_PROPERTIES_Result_t
TM_TIMER_PROPERTIES_EnableClock(TIM_TypeDef* TIMx) {
#ifdef TIM2
    if (TIMx == TIM2) {
        RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_TIM2EN;
    }
#endif

    /* Return OK */
    return TM_TIMER_PROPERTIES_Result_Ok;
}

```

```
//////////SETTING FUNGSI PUSH BUTTON BOARD STM32F4//////////
```

```
/* Button pressed status for onpressed/onreleased events */
static volatile uint8_t TM_INT_DISCO_ButtonPressed = 0;

void TM_DISCO_LedInit(void) {
    /* Set pins as keluaran */
    TM_GPIO_Init(TM_DISCO_LED_PORT, LED_ALL, TM_GPIO_Mode_OUT,
TM_GPIO_OType_PP, TM_GPIO_PuPd_NOPULL, TM_GPIO_Speed_High);

    /* Turn leds off */
    TM_DISCO_LedOff(LED_ALL);
}
void TM_DISCO_ButtonInit(void) {
    /* Set pin as masukan */
    TM_GPIO_Init(TM_DISCO_BUTTON_PORT, TM_DISCO_BUTTON_PIN,
TM_GPIO_Mode_IN, TM_GPIO_OType_PP, TM_DISCO_BUTTON_PULL,
TM_GPIO_Speed_Low);
}

uint8_t TM_DISCO_ButtonOnPressed(void) {
    /* If button is now pressed, but was not already pressed */
    if (TM_DISCO_ButtonPressed()) {
        if (!TM_INT_DISCO_ButtonPressed) {
            /* Set flag */
            TM_INT_DISCO_ButtonPressed = 1;

            /* Return button onpressed */
            return 1;
        }
    } else {
        /* Clear flag */
        TM_INT_DISCO_ButtonPressed = 0;
    }

    /* Button is not pressed or it was already pressed before */
    return 0;
}

uint8_t TM_DISCO_ButtonOnReleased(void) {
    /* If button is now released, but was not already released */
    if (!TM_DISCO_ButtonPressed()) {
        if (TM_INT_DISCO_ButtonPressed) {
            /* Set flag */
            TM_INT_DISCO_ButtonPressed = 0;

            /* Return button onreleased */
            return 1;
        }
    } else {
        /* Set flag */
        TM_INT_DISCO_ButtonPressed = 1;
    }

    /* Button is not released or it was already released before */
    return 0;
}
}
```


RIWAYAT HIDUP PENULIS



Handi Rahmannuri dilahirkan di Kediri, 4 Mei 1988. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ujang Suheri dan Ibu Nurchasanah. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Blimbing 1 Malang pada tahun 1994-2000, kemudian melanjutkan pendidikan di Madrasah Tsanawiyah Negeri 1 Malang pada tahun 2000-2003. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di Madrasah Aliyah Negeri 3 Malang pada tahun 2003-2006. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi di Politeknik Negeri Malang pada tahun 2006-2009. Penulis sempat bekerja di salah satu perusahaan otomotif sklala internasional sampai tahun 2011 dan pada tahun 2012 melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis mendapat beasiswa untuk menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2014.

Halaman ini sengaja dikosongkan