

**STUDI PENGARUH NON-INDUKTIF KOIL TIPE SOLENOID
TERHADAP EFISIENSI ENERGI PADA GENERATOR GAS
HYDROXY DENGAN PENERAPAN SUMBER ARUS PULSA TRAIN**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ANSYARUDDIN RAHMATDIANSYAH

NIM. 0810630004 - 63

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena hanya dengan ratmat, ridho, dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Studi Pengaruh Non-induktif Koil Tipe Solenoid Terhadap Efisiensi Energi Generator Gas *Hydroxy* dengan Penerapan Sumber Arus Pulsa *Train*" dengan baik dan sabar. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Rasulullah SAW sebagai suri tauladan dalam menghadapi segala permasalahan. Skripsi ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Ir. Wijono, M.T., Ph.D dan ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dalam penelitian ini.
5. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku kepala Laboratorium Mesin Elektrik.
6. Ayahanda Suhari dan Ibunda Nurhayati yang selalu memberikan doa dan semangat.
7. Maulani Candra sahabat pengerjaan skripsi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Indra Setyawan S.ST., Tunggul W., Anas S., Heru Rosadi, dan Lutfir R., yang telah membantu dalam proses pengerjaan.
9. Annisa T., Ardi B., Wildan H., Hari W., Yukovany Z., Erwan Aryanto, Muhammad Wildan dan Faiz Yusky selaku teman seperjuangan pengerjaan skripsi.

10. Saudara-saudara Lab. Dasar Elektrik dan Pengukuran, saudara-saudara Lab. Mesin Elektrik, Teman-teman Power Electrical 2008, dan Concordes 2008 yang telah menemani selama ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis. Saran dan kritik ditujukan agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 21 Agustus 2015



Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Elektrolisis Air.....	5
2.2. Gelombang Pulsa <i>Train</i>	8
2.3. Arduino Uno R3.....	9
2.4. <i>Optocoupler</i>	10
2.5. <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)</i>	12
2.7. <i>Driver MOSFET</i>	14
2.8. Koil	16



2.10. Non-Induktif Koil 17

2.11. Kawat Tembaga Email Standar AWG..... 18

2.12. Rangkaian Impedansi Sel dan Sistem Elektrik Generator Gas Hydroxy..... 19

BAB III METODOLOGI..... 25

3.1. Perancangan Alat 26

3.2. Pengujian Alat..... 26

3.3. Pengambilan Data 27

3.4. Perhitungan dan Analisa Data..... 27

3.5. Hipotesis dan Saran 28

BAB IV PERANCANGAN 29

4.1. Penentuan Spesifikasi Alat 29

4.2. Blok Diagram Sistem..... 30

4.3. Perancangan Generator Gas *Hydroxy* 31

4.4. Perancangan Perangkat Keras Elektronika 32

4.4.1. Rangkaian Pemicuan 32

4.4.2. Arduino Uno R3 33

4.4.3. *Liquid Crystal Display* (LCD)..... 34

4.4.4. Rangkaian *Driver* Optik..... 35

4.4.5. Rangkaian *Driver Switching* dan MOSFET Daya 37

4.5. Perancangan Perangkat Lunak..... 39

4.5.1 Perancangan Perangkat Lunak Utama..... 39

4.5.2 Perancangan Perangkat Lunak Layar LCD..... 42

4.6. Perancangan Non-Induktif Koil Tipe Solenoid 45

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS 47



5.1.	Pengujian Rangkaian Pemicuan.....	47
5.1.1.	Tujuan.....	47
5.1.2.	Peralatan	47
5.1.3.	Prosedur Pengujian.....	48
5.1.4.	Hasil Pengujian dan Analisis.....	52
5.2.	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i>	58
5.2.1.	Tujuan.....	58
5.2.2.	Peralatan	58
5.2.3.	Prosedur Pengujian.....	58
5.2.4.	Hasil Pengujian dan Analisis.....	60
5.3.	Pengujian MOSFET Daya	66
5.3.1.	Tujuan.....	66
5.3.2.	Peralatan	66
5.3.3.	Prosedur Pengujian.....	67
5.4.	Pengujian Non-Induktif Koil	69
5.4.1.	Tujuan.....	69
5.4.2.	Peralatan	69
5.4.3.	Prosedur Pengujian.....	70
5.4.4.	Hasil Pengujian dan Analisis.....	70
5.5.	Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i>	72
5.5.1.	Tujuan.....	73
5.5.2.	Peralatan	73
5.5.3.	Prosedur Pengujian.....	73
5.5.4.	Hasil Pengujian dan Analisis.....	75



BAB VI HIPOTESIS DAN SARAN..... 111

6.1. Hipotesis 111

6.2. Saran 112

DAFTAR PUSTAKA..... 113

LAMPIRAN 115



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tabel Indeks Board Arduino Uno R3	10
Tabel 2.2	Standar Ukuran AWG Kawat Tembaga Solid.....	19
Tabel 4.1	Ukuran Elektroda.....	32
Tabel 4.2	Komponen Rangkaian Pemicuan.....	33
Tabel 4.3	Komponen Penyusun Rangkaian <i>Driver</i> Optik	36
Tabel 4.4	Komponen Penyusun Rangkaian <i>Driver</i> dan MOSFET	38
Tabel 5.1	Tabel Keluaran Serial Monitor dan LCD	52
Tabel 5.2	Tabel Keluaran Arduino Uno R3.....	54
Tabel 5.3	Data Keluaran <i>Driver</i> Optik	60
Tabel 5.4	Data Keluaran <i>Driver Switching</i>	63
Tabel 5.5	Data Keluaran MOSFET Daya.....	68
Tabel 5.6.	Data Keluaran Non-Induktif Koil.....	70
Tabel 5.7	Data Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 5 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 1 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	76
Tabel 5.8	Data Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 10 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 2 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	78
Tabel 5.9	Data Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 20 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 4 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	80

Tabel 5.10	Data Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 30 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 6 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	82
Tabel 5.11	Data Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 8 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	84
Tabel 5.12	Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas <i>Hydroxy</i> pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 5 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 1 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%	91
Tabel 5.13	Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas <i>Hydroxy</i> pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 10 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 2 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%	94
Tabel 5.14	Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas <i>Hydroxy</i> pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 20 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 4 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%	97
Tabel 5.15	Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas <i>Hydroxy</i> pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 30 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 6 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%	100
Tabel 5.16	Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas <i>Hydroxy</i> pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 8 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%	103

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bentuk Pulsa <i>Train</i>	9
Gambar 2.2	<i>Board</i> Arduino Uno R3.....	10
Gambar 2.3	Beberapa Jenis Optocoupler. (a) Transistor <i>Output</i> . (b) Darlington <i>Output</i> . (c) Thyristor <i>Output</i> . (d) TRIAC <i>Output</i>	12
Gambar 2.4	Diagram Hubungan Internal PC817	12
Gambar 2.5	MOSFET Tipe <i>Enhancement</i> : (a) MOSFET Tipe <i>Enhancement</i> Kanal-n, (b) MOSFET Tipe <i>Enhancement</i> Kanal-p.....	13
Gambar 2.6	Karakteristik <i>Switching</i> MOSFET	14
Gambar 2.7	Fisik dari IR2110	15
Gambar 2.8	Tipe Koneksi IR2110.....	15
Gambar 2.9	Medan Magnetik pada Solenoid	16
Gambar 2.10	Noninduktif Koil: (a) Bifilar Winding Arah Arus Berlawanan, (b) Penghilangan Fluksi Magnet	18
Gambar 2.11	Struktur dari Kapasitor Secara Elektrik	19
Gambar 2.12	Rangkaian Skematik dari Sel Elektroda	20
Gambar 2.13	Rangkaian Ekuivalen Keseluruhan Sistem Generator Gas <i>Hydroxy</i> ..	21
Gambar 2.14	Formasi Pecahan Void Pada Elektrolit	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Pengambilan Data Volume Gas	27
Gambar 4.1	Blok Diagram Sistem.....	30
Gambar 4.2	Diagram Alir Keseluruhan Sistem.....	30
Gambar 4.3	Foto Generator Gas <i>Hydroxy</i>	32



Gambar 4.4	Skematik Rangkaian Pemicuan	33
Gambar 4.5	Pin-Pin yang Digunakan pada Arduino Uno R3.....	34
Gambar 4.6	Skematik dari LCD	35
Gambar 4.7	Rangkaian Skematik Driver Optik.....	37
Gambar 4.8	Skematik Rangkaian <i>Driver Switching</i> dan MOSFET	38
Gambar 4.9	Diagram Alir Program Utama.....	40
Gambar 4.10	Gelombang Pulsa <i>Train</i> Program Utama.....	41
Gambar 4.11	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz...	43
Gambar 4.12	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz.	43
Gambar 4.13	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz.	44
Gambar 4.14	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz.	44
Gambar 4.15.	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz.	45
Gambar 4.16	Pembuatan Non-Induktif Koil dengan Teknik Bifilar <i>Winding</i>	46
Gambar 4.17	Non-Induktif Koil Hasil Perancangan	46
Gambar 5.1	Pengujian Rangkaian Pemicuan Menggunakan Osiloskop	48
Gambar 5.2	Diagram Alir Program Utama.....	49
Gambar 5.3	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz...	50
Gambar 5.4	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz.	50
Gambar 5.5	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz.	51
Gambar 5.6	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz.	51
Gambar 5.7	Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz.	52
Gambar 5.8	Serial Monitor dari Program Arduino 1.0.6.....	53
Gambar 5.9	Keluaran Nilai Frekuensi dan <i>Duty Cycle</i> pada Layar LCD	54



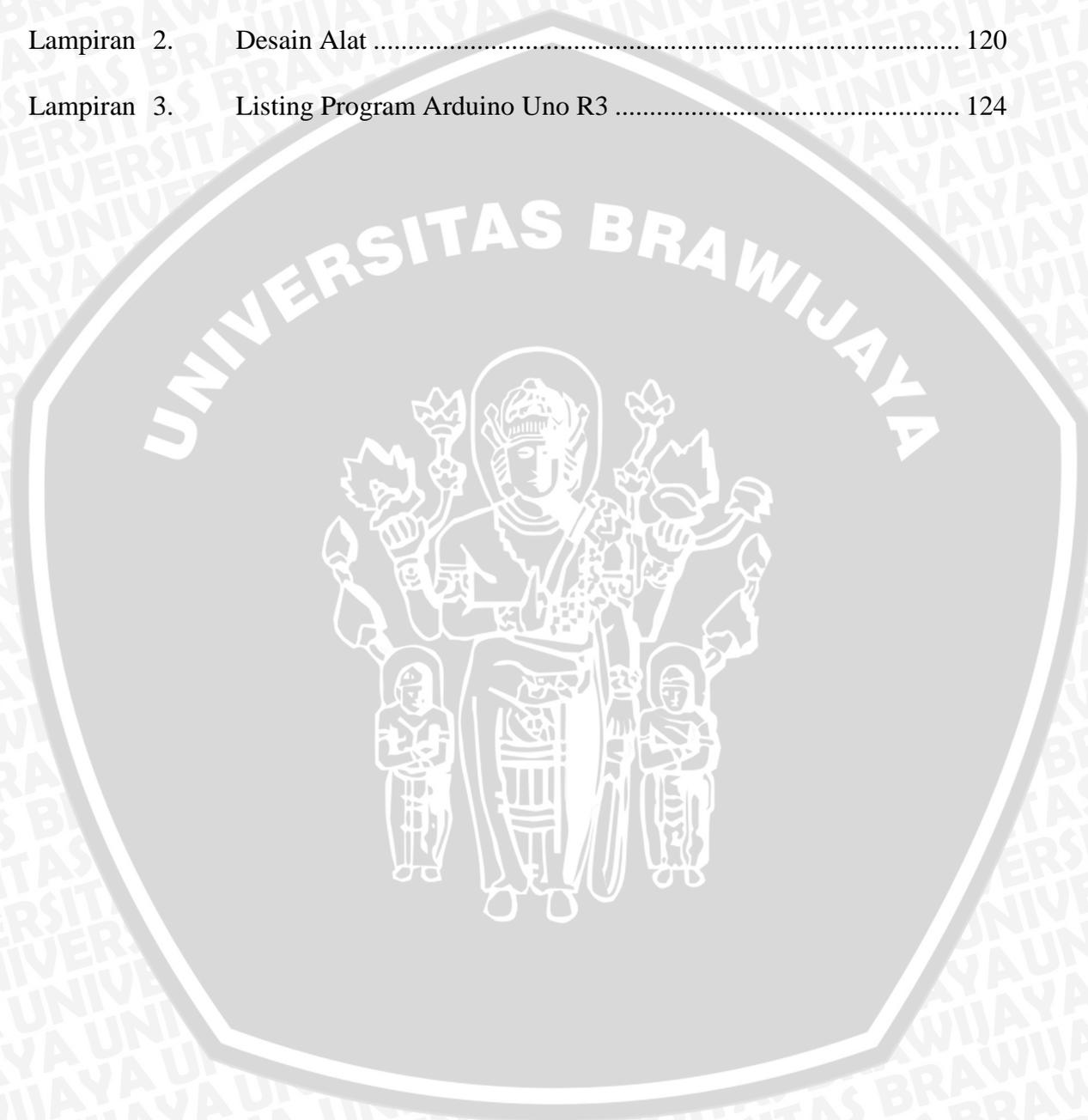
Gambar 5.10	Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 0,833 kHz.....	56
Gambar 5.11	Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 1,667 kHz.....	56
Gambar 5.12	Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 3,333 kHz.....	56
Gambar 5.13	Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 5 kHz.....	57
Gambar 5.14	Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 6,667 kHz.....	57
Gambar 5.15	Pengujian Rangkaian <i>Driver</i> Optik.....	59
Gambar 5.16	Pengujian Rangkaian <i>Driver Switching</i>	60
Gambar 5.17	Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan <i>Driver</i> Optik pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 2,5 kHz.....	61
Gambar 5.18	Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan <i>Driver</i> Optik pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 5 kHz	62
Gambar 5.19	Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan <i>Driver</i> Optik pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 10 kHz.....	62
Gambar 5.20	Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan <i>Driver</i> Optik pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 15 kHz.....	62
Gambar 5.21	Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan <i>Driver</i> Optik pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 20 kHz.....	63
Gambar 5.22	Perbandingan Keluaran <i>Driver</i> Optik dan <i>Driver Switching</i> pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 2,5 kHz.....	64
Gambar 5.23	Perbandingan Keluaran <i>Driver</i> Optik dan <i>Driver Switching</i> pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 5 kHz.....	65

Gambar 5.24	Perbandingan Keluaran <i>Driver</i> Optik dan <i>Driver Switching</i> pada Frekuensi Termulasi 20 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 10 kHz.....	65
Gambar 5.25	Perbandingan Keluaran <i>Driver</i> Optik dan <i>Driver Switching</i> pada Frekuensi Termulasi 30 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 15 kHz.....	65
Gambar 5.26	Perbandingan Keluaran <i>Driver</i> Optik dan <i>Driver Switching</i> pada Frekuensi Termulasi 40 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 20 kHz.....	66
Gambar 5.27	Rangkaian Pengujian MOSFET Daya	67
Gambar 5.28	Perbandingan Keluaran Rangkaian <i>Driver</i> dan MOSFET Daya pada Frekuensi Termulasi 5 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 8,3 kHz.....	69
Gambar 5.29	Gambar Rangkaian Pengujian Non-Induktif Koil	70
Gambar 5.30	Perbandingan Keluaran MOSFET Daya dan Non-Induktif Koil pada Frekuensi Termulasi 5 kHz dan Frekuensi <i>Envelope</i> 8,3 kHz.....	72
Gambar 5.31	Rangkaian Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Tanpa Non-Induktif Koil	75
Gambar 5.32	Rangkaian Pengujian Generator Gas <i>Hydroxy</i> Menggunakan Non-Induktif Koil	75
Gambar 5.33	Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termulasi 5 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 1 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	86
Gambar 5.34	Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termulasi 10 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 2 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	86
Gambar 5.35	Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termulasi 20 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 4 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	87
Gambar 5.36	Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termulasi 30 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 6 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	87

Gambar 5.37	Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa <i>Train</i> Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi <i>Envelope</i> 8 kHz, <i>Duty Cycle</i> 40%.....	88
Gambar 5.38	Grafik Volume Gas <i>Hydroxy</i> Terhadap Frekuensi	89
Gambar 5.39	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda Tanpa Non-Induktif Koil.....	106
Gambar 5.40	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 20 Lilitan.....	107
Gambar 5.41	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 40 Lilitan.....	107
Gambar 5.42	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 60 Lilitan.....	108
Gambar 5.43	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 80 Lilitan.....	108
Gambar 5.44	Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 100 Lilitan.....	109

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Dokumentasi	115
Lampiran 2.	Desain Alat	120
Lampiran 3.	Listing Program Arduino Uno R3	124



RINGKASAN

Ansyaruddin Rahmatdiansyah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2015, *Studi Pengaruh Non-induktif Koil Tipe Solenoid Terhadap Efisiensi Energi Generator Gas Hydroxy dengan Penerapan Sumber Arus Pulsa Train*, Dosen Pembimbing Ir. Wijono, MT., Ph.D. dan Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc., Ph.D.

Gas *hydroxy* merupakan salah satu pembawa energi alternatif masa depan yang dapat menggantikan peran bahan bakar fosil. Gas *hydroxy* memiliki kriteria kuat secara pembaruan, sumber daya melimpah dan ramah lingkungan. Gas ini dapat diperoleh melalui proses elektrolisis air dengan menggunakan alat bernama generator gas *hydroxy*. Stanley A. Meyer telah berhasil memperbaiki efisiensi kerja generator gas *hydroxy* dengan cara menerapkan arus pulsa *train* dan menambah non-induktif koil. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai arus masukan akibat pemasangan non-induktif koil pada kerja sistem generator gas *hydroxy* yang menerapkan arus pulsa *train* sebagai sumber energi, menganalisis jumlah produksi gas *hydroxy* akibat penerapan variasi frekuensi pulsa *train*, dan menganalisis efisiensi energi dari proses elektrolisis.

Perancangan dan pembuatan alat pada penelitian ini terdiri dari empat bagian yaitu perancangan perangkat keras yang terdiri dari perancangan generator gas *hydroxy*; perancangan rangkaian pemecutan, rangkaian *driver*, MOSFET daya; non-induktif koil; dan perancangan perangkat lunak untuk Arduino Uno R3.

Generator gas *hidroxy* telah dibuat sesuai dengan perancangan yang dibuat berdasarkan replica dari Stanley A. Meyer. Jarak sela dari elektroda dibuat sekecil mungkin yaitu 1 mm untuk memperkecil impedansi dari internal sel elektroda. Dari hasil pengujian perangkat keras pembangkit pulsa *train* terdapat perbedaan nilai frekuensi *envelope* yang diukur dengan nilai frekuensi *envelope* yang diharapkan. Namun demikian, alat ini telah diberikan batasan penggunaan nilai frekuensi *envelope* untuk menghindari kesalahan dengan nilai persentase yang besar. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan sistem, penggunaan jumlah lilitan non-induktif koil yang semakin banyak dapat menurunkan nilai arus masukan dengan jumlah produksi gas yang relatif tetap. Peningkatan nilai frekuensi termodulasi pulsa *train* dapat meningkatkan volume gas *hydroxy* yang dihasilkan dan meningkatkan efisiensi energi. Pada rangkaian yang menggunakan non-induktif koil, penerapan frekuensi termodulasi pulsa *train* 5 kHz pada penelitian ini menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pada penerapan nilai frekuensi lain di atasnya. Rangkaian pengujian yang menerapkan frekuensi termodulasi 5 kHz dan menggunakan 100 lilitan non-induktif koil bisa dikatakan merupakan rangkaian yang paling mendekati kondisi resonansi kerja generator gas *hydroxy* dengan efisiensi tertinggi yang dihasilkan sebesar 9,761%.

Kata Kunci— elektrolisis, generator gas *hydroxy*, non-induktif koil, pulsa *train*, efisiensi energi.

SUMMARY

Ansyaruddin Rahmatdiansyah is college student from University of Brawijaya, in Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, August 2015, *Study of Non-Inductive Coil of Solenoid Type Effect for Energy Efficiency of Hydroxy Gas Generator with Applying Pulse Train Current Source.*

Advisor lecturers are Ir. Wijono, MT., Ph.D. and Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc.

Hydroxy gas is one of the alternative energy carrier of the future that can replace the role of fossil fuels. Hydroxy has serveral criteria; strong renewal, abundant resources and enviromentally friendly. This gas can be obtained through the process of electrolysis of water using a apparatus called Gas Generator Hydroxy. Stanley A. Meyer has managed to improve the efficiency by applying pulse train current and adding non-inductive coil in circuit. This research aims to analyze changes of input current as result of the installation of non-inductive coil on hydroxy gas generator system that applying pulse train current as energy source; analyze the output of hydroxy gas as result of the variation of pulse train frequency; and analyze the efficiency of electrolysis process.

Designing and manufacturing of this device consists of four parts: designing gas generator; designing hardware consisting of triggering circuit, driver circuit, and power MOSFET; designing non-inductive coil; and designing software for the Arduino Uno R3.

Hidroxy gas generator has been made according to the design of a replica made by Stanley A. Meyer. Distance between the electrodes is made as small as possible which is 1mm to minimize the impedance of electrolyte materials. The test results of the hardware that designed to generate pulse train are differences in the frequency envelope as measured with the value of the designed. However, this hardware has been given the limitations value on use frequency envelope to avoid the great error. Based on the results of testing the entire system, the increase of number of non-inductive coil windings are decrease input current value on the amount of gas production is relatively constant. The increase of frequency modulated of pulse train led to increase the volume of hydroxy, and efficiency. The circuit that uses a non-inductive coil, application of frequency modulated 5 kHz pulse train in this research resulted the higher efficiency than the application of other frequency. The circuit that applying 5 kHz frequency modulated and 100 non-inductive coil windings can be said is the closest circuit condition to resonance with the highest 9,761% efficiency generated.

Key Word – **electrolysis, hydroxy gas generator, non-inductive coil, pulse train, efficiency energy.**

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laju konsumsi bahan bakar fosil, terutama bahan bakar minyak telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir yang menimbulkan beberapa tantangan untuk sistem energi kita, termasuk berkurangnya sumber daya yang terbatas dan efek samping dari hasil produksi yang berbahaya bagi lingkungan terutama emisi karbon dioksida. Tantangan-tantangan ini menimbulkan tuntutan yang kuat untuk mencari sumber energi yang dapat mengatasi pemanasan global, polusi, dan penipisan sumber daya bahan bakar fosil. Sumber daya energi pada generasi selanjutnya harus memiliki kriteria yang kuat secara pembaruan, produk ramah lingkungan, dan melimpah. Salah satu sumber energi alternatif yang memenuhi kriteria tersebut adalah energi yang berasal dari gas hidrogen. Penggunaan gas hidrogen sebagai pembawa energi telah banyak dibahas karena menyimpan bobot kepadatan energi tertinggi, dapat dihasilkan dari berbagai sumber daya alam.

Hidrogen tidak tersedia di bumi dalam bentuk unsur bebas, oleh karena itu proses produksi hidrogen menjadi salah satu pertimbangan penting dalam menentukan harga hidrogen. Hal ini yang menjadi fokus utama para peneliti untuk menemukan metode elektrolisis yang efektif. Di planet kita, hidrogen sebagian besar terletak pada senyawa seperti hidrokarbon, air dan lain-lain. Sejumlah energi dibutuhkan untuk melepaskan hidrogen dari senyawa-senyawa tersebut. Secara prinsip jumlah energi yang dikonsumsi selalu lebih besar dari jumlah energi yang dapat diekstrak dari hidrogen dan pada prakteknya, memiliki efisiensi yang tidak lebih dari 50 % (Vanags 2012). Kepadatan arus yang besar menyebabkan ada jatuh tegangan ohmik yang tidak diinginkan antara elektroda. Akibatnya, pembentukan rugi-rugi daya listrik dan nilai-nilai efisiensi proses yang lebih rendah tak terelakkan (Mazloomi, 2012). Oleh karena itu, arus listrik menjadi salah satu masalah yang memotivasi para peneliti untuk mencari teknologi baru dalam memproduksi hidrogen dari air.

Produksi dari hasil elektrolisis air berupa gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Di dalam proses penguraian molekul air pada proses elektrolisis dapat menghasilkan kedua gas ini secara terpisah dengan desain sel elektroda yang lebih kompleks. Namun pemisahan gas hidrogen dan oksigen juga dapat tidak dilakukan sehingga produk hasil

elektrolisis akan menghasilkan gas campuran hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) dengan perbandingan stokiometri 2:1. Gas campuran ini bernama gas *hydroxy* (HHO) dan sel elektroda untuk menghasilkan gas ini biasa disebut generator gas *hydroxy*. *Hydroxy* dapat digunakan sebagai bahan campuran bahan bakar pada ruang pembakaran untuk tujuan penghematan bahan bakar minyak dan menurunkan emisi gas. Penyebab hematnya bahan bakar minyak tersebut adalah unsur hidrogen pada gas *hydroxy* yang dapat meningkatkan kalor dalam pembakaran ruang bakar. Selain itu, nilai oktan bahan bakar minyak ditingkatkan oleh unsur oksigen pada gas *hydroxy* (Ayu, 2011).

Stanley A. Meyer adalah salah satu inventor yang berhasil menemukan teknologi elektrolisis air dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Teknologi ini diberi nama *Water Fuel Cell*. Perbedaan yang nyata pada teknologi karya Meyer ini terdapat pada power suplai menuju sel elektroda. Meyer merubah bentuk arus masukan dari DC murni menjadi arus pulsa *train*, selain itu Meyer menggunakan sebuah induktor eksternal yang memiliki lilitan khusus sebagai upaya untuk menekan kepadatan arus yang mengalir menuju sel elektroda. Induktor ini disebut non-induktif koil yang didesain dengan menggunakan teknik bifilar *winding*.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan non-induktif koil terhadap sistem generator gas *hidroxy* yang menerapkan tegangan pulsa *train*. Penelitian ini lebih khusus bertujuan untuk menganalisis perubahan nilai arus masukan disebabkan pengaruh non-induktif koil, menganalisis jumlah produksi gas *hydroxy* disebabkan perubahan frekuensi pulsa *train*, dan menganalisis efisiensi energi yang dihasilkan dari proses elektrolisis sistem generator gas *hydroxy*. Pada penelitian ini percobaan dilakukan dengan mempertahankan nilai dari jarak sela elektroda sedangkan variabel yang diubah-ubah adalah jumlah lilitan non-induktif koil dan frekuensi pulsa *train*. Tekanan dan suhu udara diasumsikan konstan pada 1 atm dan 25°C.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat generator gas *hydroxy* 5 tabung konsentris.
2. Merancang dan membuat non-induktif koil tipe solenoid dengan menggunakan teknik bifilar *winding*.

3. Menganalisis pengaruh pemasangan non-induktif koil terhadap perubahan arus masukan dari sumber energi listrik generator gas *hydroxy*.
4. Menganalisis pengaruh perubahan frekuensi pulsa *train* terhadap jumlah produksi gas *hydroxy*.
5. Menganalisis pengaruh perubahan frekuensi terhadap efisiensi energi generator gas *hydroxy* pada saat tanpa non-induktif koil dan dengan menggunakan non-induktif koil.

1.3. Batasan Masalah

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Jarak sela elektroda tetap 1 mm.
2. Suhu udara diasumsikan 25°C
3. Tekanan udara diasumsikan 1 atm.
4. Arus keluaran yang menuju generator gas *hydroxy* diasumsikan berbentuk kotak.

1.4. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat non-induktif koil tipe solenoid dan melakukan studi pengaruh non-induktif koil terhadap perubahan efisiensi energi unjuk kerja generator gas *hydroxy* yang menerapkan sumber arus pulsa *train*.

1.5. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini tersusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung perancangan dan pembuatan non-induktif koil pada sistem generator gas *hidroxy* yang meliputi: elektrolisis air, arduino uno, LCD, *optocoupler*, *driver switching*, dan MOSFET daya; teori mengenai koil; non-induktif koil; kawat tembaga email AWG;

teori mengenai sistem generator gas *hydroxy* yang meliputi rangkaian ekuivalen dan impedansi sel.

BAB III METODOLOGI

Berisi tahapan penyelesaian penelitian yang meliputi studi literatur, perancangan alat, pengujian alat, pengambilan data, Perhitungan dan analisis data.

BAB IV PERANCANGAN ALAT

Berisi pembahasan, analisis dan perancangan alat yang diajukan dalam penelitian.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Berisi pengujian dan analisis performansi dari hasil perancangan alat dan pengambilan data primer kemudian dilakukan perhitungan dan analisis data sesuai dengan keadaan sebenarnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari perancangan dan pembuatan alat dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar untuk membantu memahami perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian ini meliputi penelitian tentang generator gas *hydroxy*, elektrolisis air, sumber pulsa *train*, teori yang digunakan untuk membuat alat elektronik meliputi Arduino Uno, LCD, rangkaian *driver* optik dan *driver switching*, MOSFET daya, koil, non-induktif koil, kawat tembaga berlapis email, dan rangkaian ekivalen sistem dan impedansi sel.

2.1. Elektrolisis Air

Perangkat elektrolisis digunakan untuk memecah molekul air menjadi gas oksigen dan hidrogen. Persamaan reaksi kimia dari proses elektrolisis air ditunjukkan oleh Persamaan (2.1) berikut (Mazloomi, 2012):



Tekanan listrik terjadi pada elektroda negatif (katoda) untuk mendorong elektron ke dalam air dan pada elektroda positif (anoda) terjadi penyerapan elektron. Molekul air dekat katoda terbagi menjadi ion hidrogen positif (H^+) dan ion hidroksida (OH^-),



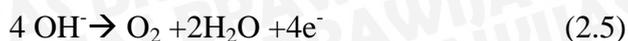
H^+ merupakan proton terbuka, bebas untuk menangkap elektron e^- dari katoda, kemudian menjadi atom hidrogen biasa dan netral.



Atom hidrogen ini berkumpul dengan atom hidrogen lain dan membentuk molekul gas dalam bentuk gelembung kemudian naik ke permukaan sesuai dengan Persamaan (2.4) berikut:



Elektroda positif telah menyebabkan ion hidroksida (OH^-) untuk bergerak ke anoda. Ketika mencapai anoda, anoda melepaskan kelebihan elektron yang diambil oleh hidroksida dari atom hidrogen sebelumnya, kemudian ion hidroksida bergabung dengan molekul hidroksida yang lain dan membentuk satu molekul oksigen dan 2 molekul air:



Molekul oksigen ini sangat stabil dan kemudian gelembungnya naik ke permukaan. Demikian seterusnya dan terjadi pengulangan proses secara terus menerus. (Tjatur dkk, 2009).

Berdasarkan hukum Gay-Lussac yaitu perbandingan volume antara gas-gas dalam suatu reaksi kimia adalah perbandingan bilangan bulat sederhana. Sehingga dari total gas yang dikeluarkan dari alat elektrolisis perbandingan antara gas hidrogen dan gas oksigen adalah 2:1.

Energi dekomposisi elektrokimia pada air relatif tinggi karena molekul air memiliki struktur yang stabil pada suhu kamar. Kira-kira, tegangan minimal 1.23V diperlukan untuk diterapkan pada sebuah molekul air pada kondisi laboratorium untuk melepaskan ikatan antara hidrogen dan atom oksigen. Tegangan ini juga dikenal sebagai tegangan keseimbangan air. Namun, tingkat tegangan jauh lebih tinggi digunakan dalam sel elektrolisis industri. Kelebihan tegangan disebut sebagai "*overpotential*" dari reaksi proses (Mazloomi, 2012). Ada tiga jenis overpotensial (Anonim, 2010), yaitu:

1. Overpotensial Ohmik

Overpotensial ohmik disebabkan adanya hambatan dalam rangkaian listrik dan dalam elektrolit yang digunakan dalam proses elektrolisis air. Nilai overpotensial ohmik sangat kecil dibandingkan nilai overpotensial lainnya.

2. Overpotensial Aktivasi

Overpotensial aktivasi adalah overpotensial yang dibutuhkan untuk mencapai energy aktivasi dari proses reaksi sehingga reaksi tersebut dapat berjalan. Overpotensial ini dibutuhkan untuk memulai perpindahan elektron.

3. Overpotensial Konsentrasi

Overpotensial konsentrasi terjadi akibat ketidakseragaman profil konsentrasi elektrolit sehingga menyebabkan laju difusi menjadi lambat.

Selain itu, dengan mengikuti hukum Ohm pada Persamaan (2.6), daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.7):

$$V = R I \quad (2.6)$$

$$P = V I \quad (2.7)$$

Dimana V adalah potensial listrik dalam volt, I adalah arus listrik dalam ampere, R adalah hambatan listrik dalam Ohm dan P adalah daya listrik dalam Watt. Jelas, untuk level saat ini sangat besar, setiap peningkatan kecil dari tegangan sel dapat menyebabkan kenaikan drastis dalam permintaan listrik. Selain itu, data teknis menunjukkan alat elektrolisis biasanya melakukan proses mereka di bawah kondisi tegangan rendah dan tingkat arus yang tinggi.

Pembentukan gas hidrogen dengan gas oksigen maupun pembentukan gas *hydroxy* dari hasil pemecahan air akan menghasilkan 1 mol hidrogen dan 0.5 mol oksigen. Sesuai dengan reaksi penguraian molekul air pada Persamaan (2.8) berikut:



Persyaratan utama untuk menghasilkan 1 mol (~1 gram) hidrogen adalah dengan memberikan 1 faraday energi listrik. Jika diasumsikan bahwa hidrogen dihasilkan dengan cara melewati arus listrik 1 ampere selama 96,494 detik (1 faraday = 96,494 coulomb) pada tegangan 1 volt, maka jumlah energi yang dibutuhkan adalah ~96,5 kJ. Sedangkan 1 gram hidrogen (H_2) mampu menghasilkan energi 285 kJ selama proses pembakaran dengan oksigen (Bhattacharya, 2009). Perhitungan energi yang dihasilkan dapat dilakukan berdasarkan volume gas yang dihasilkan pada proses elektrolisis sesuai dengan Persamaan (2.9), Persamaan (2.10), dan Persamaan (2.11).

$$\text{Mol O}_2 = \frac{\text{Volume gas oksigen yang dihasilkan (L)}}{22,4} \quad (2.9)$$

$$\text{Mol H}_2 = 2 \times \text{Mol O}_2 \quad (2.10)$$

$$W_{out} = \text{Mol H}_2 \times 285 \text{ kJ} \quad (2.11)$$

Perhitungan energi listrik yang digunakan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.12):

$$W_{in} = \frac{V_{rms} \times I_{rms} \times t}{1000} \text{ kJ} \quad (2.12)$$

Dimana V_{rms} adalah tegangan efektif dalam satuan volt, I_{rms} adalah arus efektif dalam satuan ampere, dan t adalah waktu dalam satuan detik.

Efisiensi dari sistem dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.13):

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\% \quad (2.13)$$

Berdasarkan Hukum Faraday untuk elektrolisis, massa dari bahan yang berubah pada permukaan dari tiap elektroda tergantung pada jumlah elektron yang melalui sel. Volume dari produksi gas elektrolit dapat dituliskan melalui Persamaan (2.14):

$$V = \frac{RITt}{FPz} \quad (2.14)$$

V adalah volume gas yang dihasilkan dalam liter, R adalah konstanta gas ideal ($=0.0820577 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), I adalah arus dalam Ampere, T adalah temperatur dalam Kelvin, t adalah waktu dalam sekon, F adalah konstanta faraday ($=96485.31 \text{ C mol}^{-1}$), P adalah tekanan lingkungan dalam atmosfer, z adalah jumlah elektron yang terlepas ($=2$ untuk H_2). Seperti yang dapat terlihat, tegangan sel tidak memiliki pengaruh apapun pada jumlah produksi gas. Karena suhu sel dan tekanan sama pada setiap pengujian, arus sel adalah satu-satunya nilai yang berubah pada percobaan. (Mazloomi, 2012)

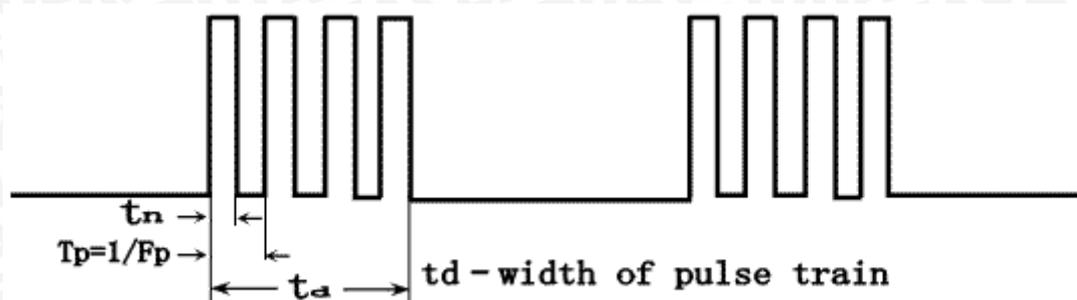
Faktor-Faktor yang mempengaruhi elektrolisis air sebagai berikut:

1. Kualitas Elektrolit
2. Suhu
3. Tekanan
4. Resistansi Elektrolit
5. Material dari elektroda
6. Sumber listrik

2.2. Gelombang Pulsa *Train*

Pulsa *train* adalah jenis gelombang non-sinusoidal yang mirip dengan gelombang kotak, tetapi tidak memiliki bentuk simetris seperti gelombang persegi yang sempurna. *Duty cycle* nya dapat dimodulasi (kadang juga disebut *Pulse Width Modulation*) untuk timbre dinamik. Gelombang pulsa juga dikenal sebagai gelombang *rectangular*, versi periodik dari fungsi *rectangular*.

Pada penelitian ini akan digunakan pulsa *train* dengan bentuk seperti Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Bentuk *Pulse Train*
 Sumber: www.dart.ru

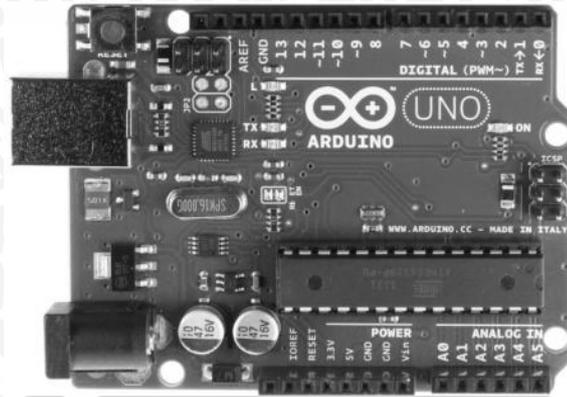
Pulsa *train* diperoleh dari modulasi dua gelombang pulsa *rectangular*. Gelombang pulsa *rectangular* yang memiliki periode yang lebih besar berfungsi sebagai *envelope* sedangkan gelombang pulsa *rectangular* yang memiliki periode yang lebih kecil adalah gelombang yang dimodulasikan.

Salah satu pemanfaatan pulsa *train* adalah mengaplikasikan tegangan pulsa train untuk menghasilkan gas *hydroxy* pada proses elektrolisis air. Tegangan pulsa train diterapkan pada alat yang bernama generator gas *hydroxy*. Generator gas *hydroxy* yang diterapkan tegangan pulsa *train* membutuhkan tegangan yang lebih rendah untuk mendapatkan nilai arus tertentu dibandingkan dengan sumber DC murni sehingga konsumsi energi menjadi lebih sedikit. Semakin besar frekuensi termodulasi pulsa *train* maka semakin besar pula efisiensi daya dari sistem. (Candra, 2013)

2.3. Arduino Uno R3

Arduino uno adalah *board* mikrokontroler yang berdasarkan Atmega328. Arduino uno memiliki 14 pin digital input/output (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, resonator 16 MHz, penghubung USB, *jack* catu daya, ICSP header, dan tombol reset. Arduino berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler; dapat dihubungkan ke komputer dengan menggunakan USB atau dapat dicatu dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk memulai.

Uno berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI *driver* USB-to-serial.



Gambar 2.2 Board Arduino Uno R3
 Sumber: www.arduino.cc

Nama “Uno” berarti *satu* dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian board USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk platform Arduino, untuk perbandingan dengan versi sebelumnya, lihat Tabel 2.1 *indeks board Arduino*.

Tabel 2.1 Tabel Indeks Board Arduino Uno R3

Microcontroller	ATmega328
Daya Operasi	5V Voltage
Input Tegangan (disarankan)	7-12V
Input Tegangan (batas)	6-20V
Digital I / O	14 pin (dimana 6 memberikan output PWM)
Input Analag	6 Pin
Arus DC I/O per pin	40 mA
Arus Pin 3.3 V	50 mA DC
Flash Memory	32 KB (ATmega328) yang 0,5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Sumber: www.arduino.cc

2.4. *Optocoupler*

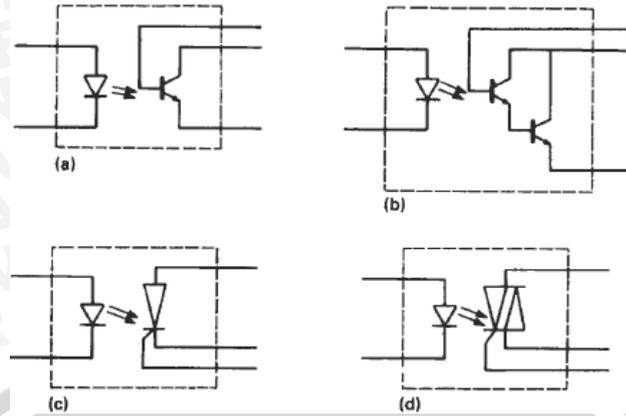
Optocoupler terbuat dari kombinasi satu komponen sumber cahaya dan satu komponen detektor cahaya yang keduanya dikemas menjadi satu chips. Komponen

light-emitting diodes (LED) digunakan sebagai sumber cahaya dan komponen fototransistor sebagai detektor cahaya. Antara sumber cahaya dengan detektor terdapat jarak untuk mengisolasi antara input dan output *optocoupler*. Jarak antara pemisah sumber dan detektor ini dapat berupa bahan yang terbuat dari glass atau plastik. Dengan struktur seperti ini *optocoupler* sering digunakan pada aplikasi *drive* rangkaian power semikonduktor. Selain itu *optocoupler* juga sering digunakan sebagai komponen isolator antara rangkaian berdaya rendah dengan rangkaian berdaya tinggi sehingga komponen ini juga bisa disebut *optoisolator*.

Parameter penting yang terdapat pada *optocoupler* adalah isolasi antara sumber dan detektor, rasio input-output transfer arus, dan kecepatan operasi. Resistansi isolasi mencapai orde $10^{11} \Omega$ dan biasanya lebih tinggi dari pada resistansi bocor antar pin pada PCB. Cara lain untuk mengetahui tingkat isolasi *optocoupler* adalah dengan mengaplikasikan tegangan maksimum diberikan antara masukan dan keluaran. Jika terjadi tembus tegangan, akan terbentuk jalur resistif akibat permukaan yang terkarbonisasi.

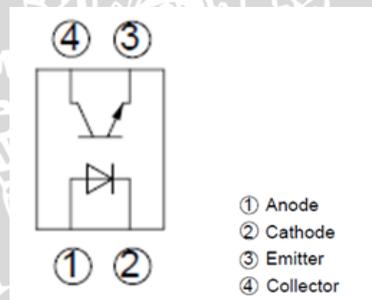
Rasio transfer arus adalah perbandingan antara arus keluaran terhadap arus masukan dari sumber saat detektor dibias. Rasio ini ditentukan oleh beberapa faktor seperti tingkat arus pada sumber dan saturasi detektor. Umumnya, LED digunakan sebagai sumber dan cahaya yang dikeluarkan seiring dengan waktu akan meredup sehingga mengurangi rasio transfer. Kecepatan operasi menentukan seberapa cepat kerja pensaklaran dan biasanya dinamakan sebagai frekuensi operasi maksimum.

Banyak tipe detektor yang digunakan pada *optocoupler*, seperti pada Gambar 2.3. Fototransistor cenderung memiliki harga lebih murah dengan kecepatan operasi mencapai 100-500 kHz dan rasio transfer arus minimum antara 20% dan 300%. *Photo Darlington* memiliki rasio transfer antara 100% dan 1000% dan kecepatan operasi relatif rendah antara 2-10 kHz.



Gambar 2.3 Beberapa Jenis Optocoupler. (a) Transistor *Output*. (b) Darlington *Output*. (c) Thyristor *Output*. (d) TRIAC *Output*.
 Sumber: (Mazda, 1997)

Pada penelitian ini digunakan *optocoupler* tipe PC817. Rangkaian *optocoupler* PC817 ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Hubungan Internal PC817
 Sumber: Datasheet PC817

2.5. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

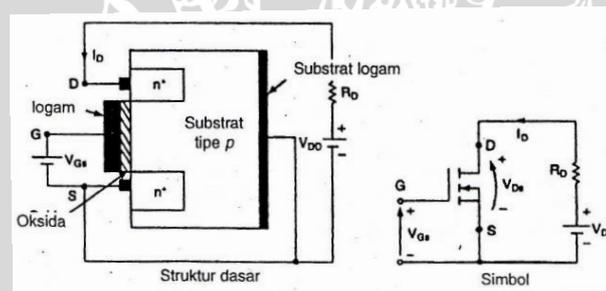
FET semikonduktor oksida-logam (metal-oxide semiconductor FET), atau disingkat MOSFET merupakan komponen yang terdiri dari sumber (*source*), gerbang (*gate*), dan penguras (*drain*). *Gate* MOSFET diisolasi dari saluran. Oleh karena itu, arus *gate* menjadi amat kecil. Hal ini tidak dipengaruhi oleh positif atau negatifnya *gate*. MOSFET kadang-kadang disebut sebagai IGFET, singkatan dari *insulated-gate FET* (FET gerbang –terisolasi). (Malvino, 2006)

Devais MOSFET daya merupakan perangkat unipolar tegangan-terkontrol dan hanya membutuhkan jumlah arus yang kecil sebagai *input gate*. Sehingga membutuhkan daya *drive* yang lebih kecil dari BJT. Namun tidak seperti BJT, Tegangan *gate–source* MOSFET harus tetap dipertahankan. Selain itu hanya pembawa mayoritas yang berkontribusi membawa aliran arus, MOSFET melampaui perangkat lainnya dalam hal

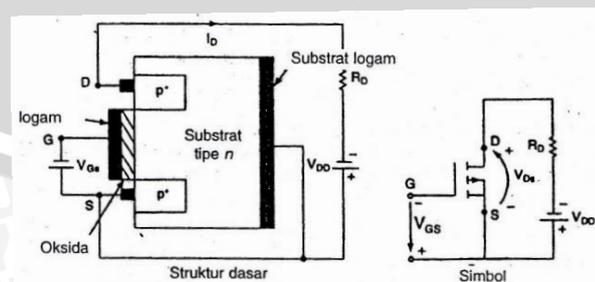


kecepatan *switching* dengan kecepatan sampai melebihi megahertz. Dibandingkan BJT yang memiliki kapabilitas *handling* daya yang lebih besar dan kecepatan *switching* lebih kecil, perangkat MOSFET memiliki *handling* daya yang lebih kecil dan kecepatan *switching* lebih cepat. MOSFET memiliki *on-state* resistor yang lebih tinggi dibandingkan transistor bipolar. Perangkat MOSFET tidak rusak ketika terjadi *second breakdown voltages*, dan memungkinkan pembagian arus jika perangkat ini terhubung paralel. (Rashid, 2001)

MOSFET memiliki dua tipe yaitu D-MOSFET (depletion MOSFET) dan E-MOSFET (enhancement-MOSFET). D-MOSFET disebut juga MOSFET pengosongan dan E-MOSFET disebut juga MOSFET peningkatan. Kedua tipe MOSFET pengosongan dan peningkatan mempunyai lapisan tipis silikon dioksida, yaitu bipolar yang mencegah mengalirnya arus *gate* pada tegangan *gate* positif maupun negatif. Lapisan pengisolasi ini dijaga setipis mungkin agar pengaruh pengendalian *gate* terhadap arus sumber lebih banyak. Karena isolator ini sangat tipis sehingga mudah rusak oleh tegangan *gate-source* (V_{GS}) yang berlebihan. D-MOSFET maupun E-MOSFET masing-masing memiliki tipe kanal-n dan kanal-p. Salah satu contoh konstruksi MOSFET ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



(a)

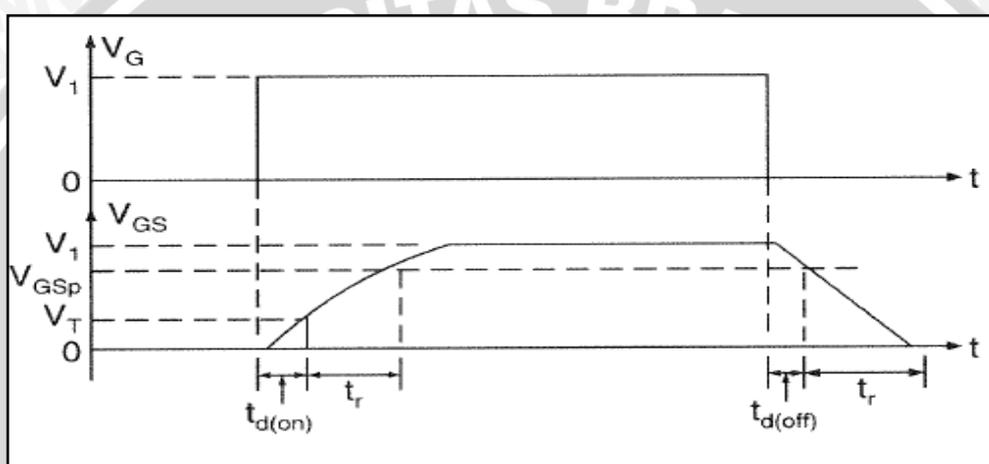


(b)

Gambar 2.5 MOSFET Tipe *Enhancement*: (a) MOSFET Tipe *Enhancement* Kanal-n, (b) MOSFET Tipe *Enhancement* Kanal-p

Sumber: Rashid, 2001

Karakteristik kerja penyaklaran (*switching*) MOSFET ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Pada umumnya MOSFET memiliki nilai kapasitansi internal pada saluran *gate*-nya. *Turn on delay* $T_{d(on)}$ adalah waktu yang dibutuhkan kapasitansi internal untuk *charging* ke tegangan *threshold* V_T . *Risetime* t_r adalah waktu *charging gate* dari tegangan *threshold* ke tegangan *gate* penuh (V_{GSP}). *Turn off delay* $T_{d(off)}$ adalah waktu yang dibutuhkan dari kapasitansi internal MOSFET melakukan *discharging* dari tegangan *gate* V_1 ke daerah *pinch off*. *Fall time*, t_f adalah waktu yang dibutuhkan kapasitansi internal MOSFET untuk *discharging* pada daerah *pinch off* ke tegangan *threshold*. Jika $V_{GS} \leq V_T$, MOSFET padam.



Gambar 2.6 Karakteristik *Switching* MOSFET
Sumber: Rashid, 2004

2.7. *Driver* MOSFET

MOSFET memiliki nilai kapasitansi internal, salah satunya pada saluran *gate*. Antara *gate*-elektroda MOSFET membentuk sebuah kapasitor (*gate capacitor*) yang menyebabkan adanya waktu pengisian atau pengosongan muatan setiap kali MOSFET bekerja sebagai penyaklaran *on/off*. Waktu pengisian dan pengosongan kapasitor mengakibatkan terjadi tegangan dan arus transien pada kerja penyaklaran MOSFET sehingga ketika arus *gate* disuplai menuju MOSFET untuk melakukan *switch*, maka akan menyebabkan MOSFET menjadi sangat panas dan dapat merusak komponen ini. Oleh karena itu dibutuhkan waktu delay *on/off* (*switching time*) MOSFET sekecil mungkin untuk meminimalisir rugi-rugi daya saat penyaklaran. Nilai *switching time* sebuah MOSFET berbanding terbalik dengan besar nilai arus yang digunakan untuk pemicuan *gate*. Biasanya waktu yang dibutuhkan untuk *switching* yang baik terdapat

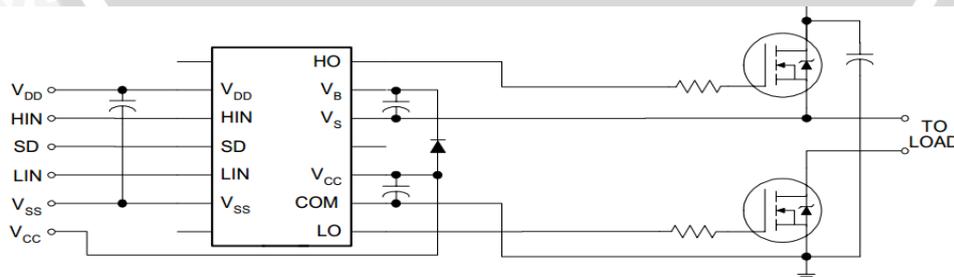
pada kisaran orde mikrosekon sedangkan untuk arus *gate* mencapai orde ratusan miliampere bahkan hingga orde ampere.

Sinyal penyaklaran untuk MOSFET atau transistor biasanya dihasilkan oleh rangkaian logika atau mikrokontroler yang menghasilkan sinyal *output* dengan nilai arus hanya beberapa miliampere saja. Akibatnya MOSFET yang disuplai sinyal ini akan memiliki *switching time* yang sangat lambat dengan kerugian daya yang besar. Selama waktu transien penyaklaran MOSFET, kapasitor *gate* dapat menarik arus begitu cepat sehingga mengakibatkan *overdraw* arus dalam rangkaian logika atau mikrokontroler, dan menyebabkan *overheating* yang menyebabkan kerusakan permanen pada *chip*. Untuk mencegah hal ini terjadi maka dibutuhkan *driver* arus *gate* antara sinyal output mikrokontroler dan MOSFET daya.

Komponen *driver* MOSFET yang digunakan rangkaian *driver* switching pada penelitian ini adalah IR2110 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. IR2110 adalah *driver* MOSFET dan IGBT daya tegangan tinggi dan kecepatan tinggi dengan saluran output yang direferensikan pada sisi tegangan rendah dan tinggi. Penundaan propagansi disesuaikan agar dapat digunakan secara sederhana pada aplikasi dengan frekuensi tinggi. Saluran *floating* dapat digunakan untuk *drive* MOSFET daya atau IGBT pada sisi konfigurasi tinggi yang mampu beroperasi sampai 500V atau 600V.



Gambar 2.7 Fisik dari IR2110
Sumber: *Datasheet*



Gambar 2.8 Tipe Koneksi IR2110
Sumber: *Datasheet*

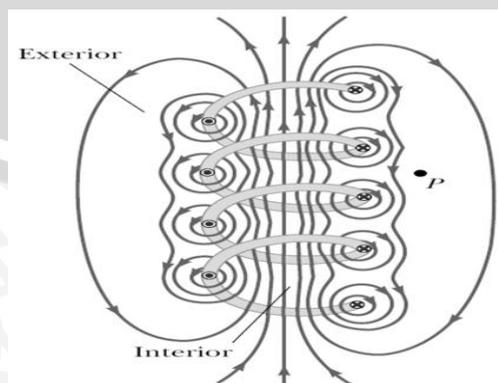
2.8. Koil

Sebuah koil atau induktor adalah sebuah komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya dalam satuan Henry. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan. lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday. Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangannya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak-balik. Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan tidak memboroskan daya. Sebuah induktor pada kenyataannya merupakan gabungan dari induktansi dan beberapa resistansi karena resistivitas kawat.

Jika arus i diberikan pada lilitan induktor, maka fluks magnetik Φ_B akan melalui daerah tengah induktor. Dan induktansi dari induktor secara umum ditunjukkan melalui Persamaan 2.15:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} \quad (2.15)$$

Solenoid adalah kawat panjang yang dililit dalam bentuk heliks. Dengan konfigurasi ini medan magnet seragam dapat diproduksi pada ruang yang dikelilingi oleh lilitan kawat yang dapat kita namakan *interior* solenoid saat solenoid membawa arus. Ketika lilitan memiliki jarak yang rapat, masing-masing lilitan dapat dianggap sebagai sebuah *loop* lingkaran dan medan magnetik adalah jumlah vektor dari medan yang dihasilkan dari semua lilitan.



Gambar 2.9 Medan Magnetik pada Solenoid
Sumber: Halliday, 2007

Gambar 2.9 memperlihatkan garis medan magnetik yang mengelilingi solenoid dengan lilitan longgar. Garis medan magnet pada daerah interior hampir sejajar antara satu dengan yang lain, didistribusikan seragam, dan memiliki letak yang berdekatan. Hal ini mengindikasikan bahwa medan pada ruang ini adalah seragam dan kuat. Garis medan antara dua lilitan yang berbatasan cenderung saling membatalkan karena vektor medan dari dua elemen saling berlawanan arah. Medan pada daerah eksterior seperti pada titik P lemah karena medan pada lilitan bagian kanan cenderung saling membatalkan dengan medan pada lilitan bagian kiri.

persamaan induktansi solenoid berinti udara ditunjukkan oleh Persamaan 2.16

:

$$L = \frac{N\phi_B}{i} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \quad (2.16)$$

Untuk solenoid berintikan bahan feromagnetik, maka persamaan untuk solenoid berinti udara dikalikan dengan permeabilitas bahan feromagnetik (μ_r) sehingga diperoleh Persamaan 2.17 berikut:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l} \quad (2.17)$$

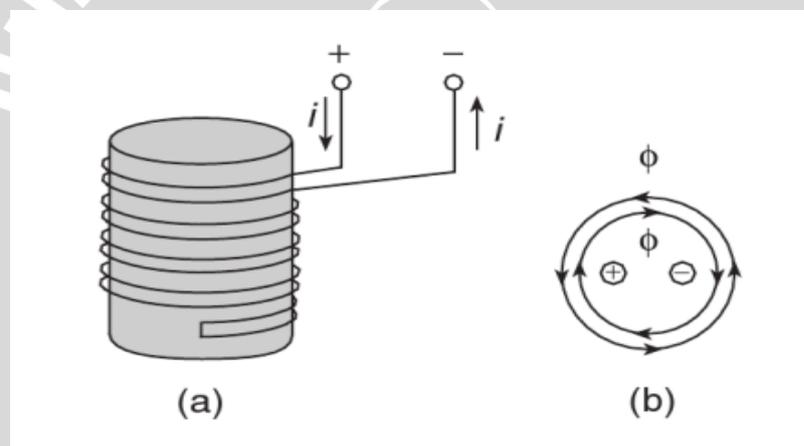
2.10. Non-Induktif Koil

Nikola Tesla di dalam karya patentnya telah berhasil menciptakan teknik baru melilit kawat pada satu inti yang dikenal dengan *bifilar winding*. Tesla menemukan bahwa dalam setiap kumparan terdapat hubungan tertentu antara induksi diri dan kapasitas kumparan yang memperbolehkan arus dengan frekuensi dan beda potensial tertentu lewat tanpa ada perlawanan selain dari resistansi ohmik atau seolah-olah tidak ada nilai induktansi. Hal ini berkaitan dengan hubungan timbal balik antara karakter khusus dari arus dengan induktansi diri dan kapasitas koil.

Sebuah lilitan bifilar adalah sepasang kawat berisolasi yang dililit secara simultan dan berdekatan (cukup dekat sehingga saling menyentuh satu sama lain). Kedekatan antara lilitan kawat dapat mengurangi kebocoran induktansi dengan beberapa kali lipat lebih baik dari lilitan standar biasa. Teknik melilit ini dapat diterapkan pada lilitan primer, lilitan sekunder, atau lilitan primer dan sekunder secara bersama-sama. Teknik bifilar akan memberikan kebocoran induktansi minimum. (McLyman, 1992)

Bifilar koil terdiri dari dua helai lilitan kawat tembaga yang masing-masing menjadi lilitan primer dan lilitan sekunder seperti trafo. Namun satu-satunya kemiripan dengan trafo adalah induktansi bersama antara kumparan primer dan kumparan sekunder. Oleh karena itu ketika mendesain gulungan primer dan gulungan sekunder, kedua gulungan itu dapat dianggap sebagai induktor terpisah.

Lilitan bifilar yang antara lilitan primer dan sekunder memiliki arah transfer arus berlawanan dikenal dengan nama non-induktif koil. Non-induktif koil diilustrasikan pada Gambar 2.10(a). Setiap lilitan memiliki lilitan lain yang berdekatan yang membawa arus dengan arah yang berlawanan. Medan magnetik yang dihasilkan oleh lilitan saling menghilangkan satu sama lain, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.10(b). Sebagai hasilnya, lilitan tersebut idealnya tidak menyimpan fluksi magnet dan tidak memiliki nilai induktansi. (Kazimierczuk, 2009)



Gambar 2.10 Noninduktif Koil: (a) Bifilar Winding Arah Arus Berlawanan, (b) Penghilangan Fluksi Magnet
Sumber: Kazimierczuk, 2009

2.11. Kawat Tembaga Email Standar AWG

Salah satu area yang sedikit demi sedikit diubah dalam sistem SI adalah desain dari kabel dan kawat, dimana *American Wire Gauge* (AWG) adalah sistem utama yang digunakan untuk menyatakan diameter dari kawat. Pada sistem ini, masing-masing kawat ditentukan berdasarkan ukuran diameternya. Semakin tinggi nomor AWG-nya, semakin kecil ukuran diameter kabel atau kawat tersebut. Contohnya, kawat AWG 22 mempunyai diameter yang lebih kecil dari pada kawat AWG 14. Karena luas penampang mempunyai nilai yang berbanding lurus dengan diameter, maka kawat ukuran 22 mempunyai nilai resistansi yang lebih besar dari pada kawat yang ukuran 14. Karena perbedaan resistansi dapat disimpulkan bahwa diameter kabel yang besar akan

dapat menahan arus lebih besar dari pada kabel yang memiliki diameter lebih kecil. Tabel 2.2 menunjukkan daftar dari kawat tembaga standar ukuran AWG.

Tabel 2.2 Standar Ukuran AWG Kawat Tembaga Solid

Size (AWG)	Diameter		Area		Resistance (Ω /1000 ft)
	(inches)	(mm)	(CM)	(mm ²)	
56	0.0005	0.012	0.240	0.000122	43 200
54	0.0006	0.016	0.384	0.000195	27 000
52	0.0008	0.020	0.608	0.000308	17 000
50	0.0010	0.025	0.980	0.000497	10 600
48	0.0013	0.032	1.54	0.000779	6 750
46	0.0016	0.040	2.46	0.00125	4 210
45	0.0019	0.047	3.10	0.00157	3 350
44	0.0020	0.051	4.00	0.00243	2 590
43	0.0022	0.056	4.84	0.00245	2 140
42	0.0025	0.064	6.25	0.00317	1 660
41	0.0028	0.071	7.84	0.00397	1 320
40	0.0031	0.079	9.61	0.00487	1 080
39	0.0035	0.089	12.2	0.00621	847
38	0.0040	0.102	16.0	0.00811	648
37	0.0045	0.114	20.2	0.0103	521
36	0.0050	0.127	25.0	0.0127	415
35	0.0056	0.142	31.4	0.0159	331
34	0.0063	0.160	39.7	0.0201	261
33	0.0071	0.180	50.4	0.0255	206
32	0.0080	0.203	64.0	0.0324	162
31	0.0089	0.226	79.2	0.0401	131
30	0.0100	0.254	100	0.0507	104
29	0.0113	0.287	128	0.0647	81.2
28	0.0126	0.320	159	0.0804	65.3
27	0.0142	0.361	202	0.102	51.4
26	0.0159	0.404	253	0.128	41.0
25	0.0179	0.455	320	0.162	32.4
24	0.0201	0.511	404	0.205	25.7
23	0.0226	0.574	511	0.259	20.3
22	0.0253	0.643	640	0.324	16.2
21	0.0285	0.724	812	0.412	12.8
20	0.0320	0.813	1 020	0.519	10.1
19	0.0359	0.912	1 290	0.653	8.05
18	0.0403	1.02	1 620	0.823	6.39
17	0.0453	1.15	2 050	1.04	5.05
16	0.0508	1.29	2 580	1.31	4.02
15	0.0571	1.45	3 260	1.65	3.18
14	0.0641	1.63	4 110	2.08	2.52
13	0.0720	1.83	5 180	2.63	2.00
12	0.0808	2.05	6 530	3.31	1.59
11	0.0907	2.30	8 230	4.17	1.26
10	0.1019	2.588	10 380	5.261	0.998 8

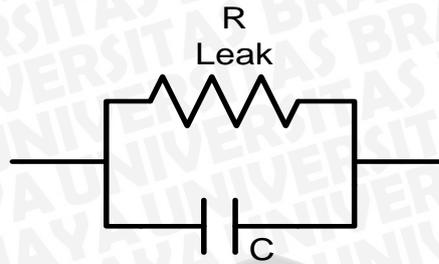
Sumber: elkaasik.com

2.12. Rangkaian Impedansi Sel dan Sistem Elektrik Generator Gas Hydroxy

Generator gas *hydroxy* memiliki struktur yang mirip dengan kapasitor elektrik seperti yang ditunjukkan pada skematik Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Struktur dari Kapasitor Secara Elektrik
Sumber: Mazloomi, 2012



Gambar 2.12 Rangkaian Skematik dari Sel Elektroda
 Sumber: Mazloomi, 2012

Sel elektrolisis air dibentuk dari dua pelat elektroda paralel yang ditempatkan pada jarak tertentu satu sama lain dengan celah antara keduanya diisi dengan bahan dielektrik yang biasanya berupa cairan elektrolit. Adanya level insulasi antara kedua pelat elektroda tidak dapat dielakkan, meskipun elektrolit pada umumnya untuk meminimalisasi resistansi elektrik sehingga menghasilkan proses elektrolisis yang efisien. Hubungan antara konduktansi G dan resistansi R dapat dilihat pada Persamaan (2.18) berikut:

$$G = \frac{1}{R} \tag{2.18}$$

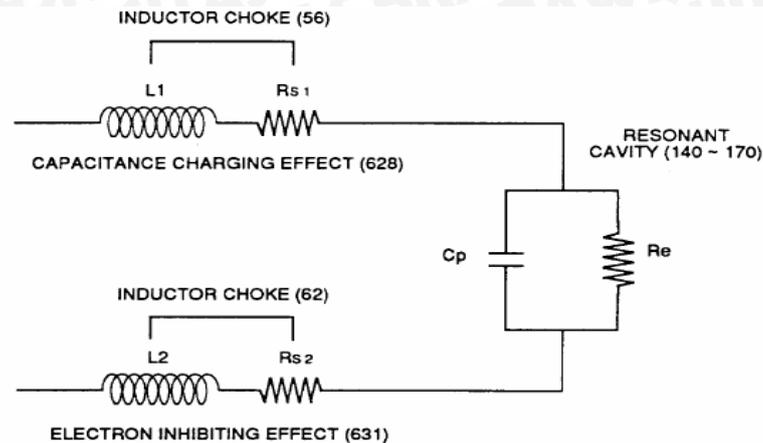
Menambah bahan campuran ionik ke air pada umumnya digunakan untuk meningkatkan konduktivitas dari elektrolit. Hal ini menyebabkan konstanta dielektriknya lebih kecil dibanding air murni. Namun konstanta dielektrik yang kecil pun dapat menimbulkan perilaku kapasitif dari sel. Pendekatan nilai kapasistansinya dapat diperhitungkan dengan Persamaan (2.19):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \tag{2.19}$$

Dimana C adalah kapasistansi, ϵ_0 adalah konstanta elektrik ($\approx 8,854 \times 10^{-12} \text{Fm}^{-1}$), dan ϵ_r adalah permitivitas relatif statis (konstanta dielektrik) dari material diantara konduktor, S adalah area yang dilalui dari pelat konduktor dan d adalah jarak antara keduanya.

Gambar 2.13 menunjukkan rangkaian ekivalen non-induktif koil yang terhubung seri pada rangkaian generator gas *hydroxy* sehingga membentuk rangkaian LC seri. Rangkaian ini diterapkan pada alat penghasil gas *hydroxy* (*Water Fuel Cell*) karya Stanley A. Meyer.





Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen Keseluruhan Sistem Generator Gas *Hydroxy*
Sumber: Meyer, 1995

Pemasangan induktor yang diseri dengan kapasitor air (*water capacitor*) dari bahan dielektrik menimbulkan efek *resonant charging*. Tegangan pulsa diaplikasikan menuju kapasitor dielektrik dan melemahkan besar gaya elektrik antara atom hidrogen dan oksigen pada molekul air. Pelemahan gaya elektrik ini merubah medan elektrik molekular dan gaya ikatan atomik dari atom hidrogen dan oksigen. Ketika resonansi tercapai, ikatan atomik dari molekul air terputus, dan terjadi pemisahan atom dari molekul air. Pada kondisi resonansi, arus yang mengalir dari sumber power menuju ke kapasitor air diminimalisir dan tegangan yang melintasi kapasitor air meningkat. (Kelly, 2006)

Induktansi dan kapasitansi dari rangkaian L-C beresonansi pada frekuensi tertentu. Frekuensi resonansi dapat dinaikan dan diturunkan dengan mengubah-ubah nilai induktansi dan kapasitansi. Nilai induktor, nilai kapasitor, dan frekuensi pulsa dari tegangan yang diterapkan melalui rangkaian L-C ditentukan oleh impedansi rangkaian L-C. Impedansi induktor dan kapasitor yang terhubung seri ditunjukkan oleh persamaan (2.20):

$$Z_{seri} = (X_C - X_L) \quad (2.20)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.21)$$

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.22)$$

Frekuensi resonansi (F) dari rangkaian L-C seri ditunjukkan oleh Persamaan (2.25):
(Meyer, 1995)

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.23)$$

Resistansi ohmik dari elektrolit adalah faktor yang mempengaruhi impedansi dari sel yang hanya tidak dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi dari rangkaian ekivalen generator gas *hydroxy* dapat dihitung dengan Persamaan (2.24):

$$Z = Z_1 + Z_2 + \frac{Re \cdot Z_C}{Re + Z_C} \quad (2.24)$$

Dimana Re adalah resistansi bocor pada internal sel. Pada frekuensi yang lebih tinggi, koneksi paralel yang menghubungkan nilai Re dan C menjadikan nilai impedansi yang lebih rendah, sedangkan nilai impedansi dari induktansi akan meningkat.

Nilai dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai impedansi dijelaskan secara terpisah di bawah ini:

1. Elemen Resistif

Elemen resistif merupakan hasil dari resistansi elektrik antara pelat elektroda. Resistor kebocoran ini pada rangkaian ekivalen internal sel disebabkan adanya aliran arus yang tidak diinginkan melalui medium dielektrik antara pelat elektroda. Resistansi elektrik dari bahan elektrolit dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.25):

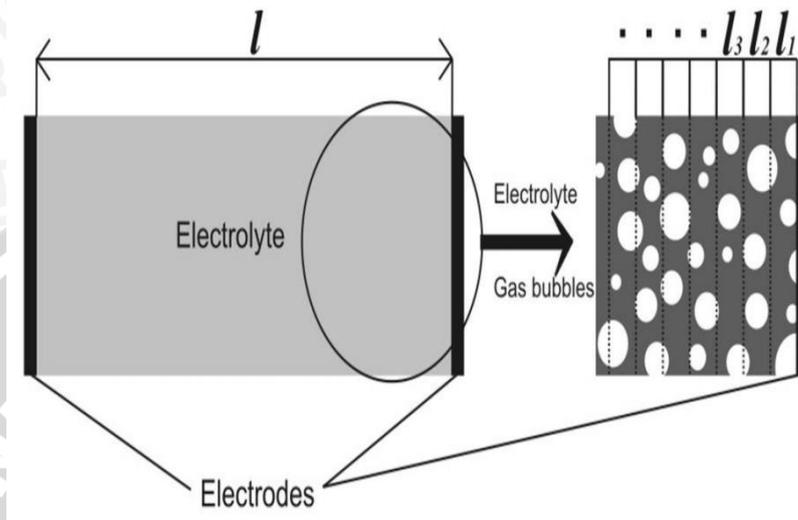
$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.25)$$

Dimana R adalah resistansi elektrik, ρ adalah resistivitas (resistansi elektrik spesifik) dari material, l adalah panjang dan A adalah luas area dari konduktor. Nilai resistansi bocor antara pelat elektroda secara praktek pada umumnya sangat besar karena insulasi dengan level yang tinggi pada umumnya di temukan pada material dielektrik.

Resistansi dari elektrolit (R_e) dapat dihitung melalui persamaan diatas sebelum tegangan diterapkan. Aliran arus elektrik membentuk gelembung gas pada elektrolit yang menyebabkan pembentukan pemecahan lubang antara elektroda dan konsekuensinya terjadi pengurangan luas permukaan efektif jalur arus elektrik pada area tersebut. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.18 jarak antara elektroda yaitu l dipecah menjadi segmen-segmen yang lebih kecil sebanyak n l_i . Oleh karena itu, dengan menggunakan persamaan diatas, resistansi dari setiap panjang parsial dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.26):

$$R = \frac{\rho}{A} (\sum l_i) \quad (2.26)$$

Penampang efisien untuk setiap l_i berkurang karena adanya gelembung gas, total jumlah R meningkat.



Gambar 2.14 Formasi Pecahan Void Pada Elektrolit
Sumber: Mazloomi, 2012

Bentuk, ukuran dan kecepatan munculnya gelembung pada sel elektrolisis air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti: tingkat kepadatan arus, elektroda dan bahan pemisah, ukuran, bentuk dan jarak, tekanan, molaritas elektrolit, dan kontaminasi. Setelah tegangan diterapkan, maka perubahan variable-variabel tersebut akan mempengaruhi nilai pemecahan larutan pada sel.

Nilai dari resistansi seri (R_s) ditentukan oleh nilai resistansi elektrik eksternal dari sel, seperti resistansi dari induktor dan pengkabelan. Variabel ini dipengaruhi dari keadaan lingkungan seperti suhu dan panjang pengkabelan.

2. Elemen Kapasitif

Nilai kapasitansi alamiah dari sel elektrolisis ditentukan oleh konstanta dielektrik dari elektrolit yang mengisi jarak sela antara elektroda. Selain itu, pemecahan gelembung mempengaruhi konstanta dielektrik dari larutan antara pelat elektroda, karena gelembung oksigen dan hidrogen masing-masing memiliki nilai konstanta dielektrik. Oleh karena itu, kapasitansi dari sel elektrolisis air merupakan fungsi dari waktu yang juga merupakan variable yang mempengaruhi resistansi bocor.

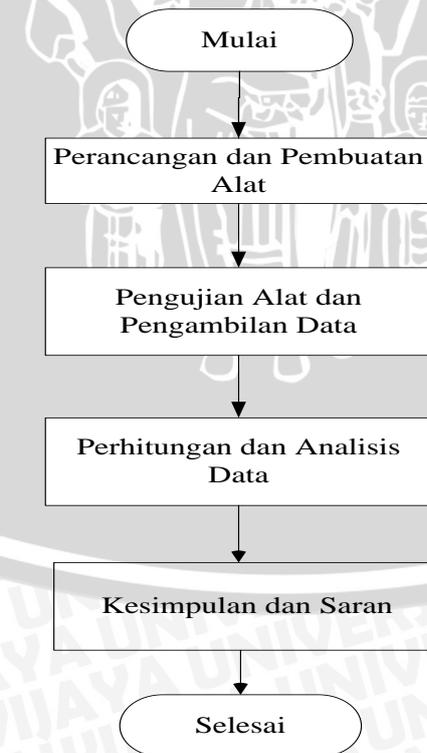
3. Elemen Induktif

Elemen induktif merupakan penjumlahan dari induktansi induktor, pengkabelan, koneksi kabel, dan induktansi intrinsik elektrokimia. Oleh karena itu diameter, panjang, bentuk dan temperatur kabel memiliki efek pada pengaplikasian tegangan, frekuensi, arus listrik dan karakteristik elektrolit.



BAB III METODOLOGI

Pada bagian ini diuraikan metodologi penelitian yang akan dilakukan pada penelitian studi pengaruh non-induktif koil tipe solenoid pada unjuk kerja generator gas *hydroxy* dengan menerapkan sumber arus pulsa *train* yang divariasikan frekuensinya. Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini yaitu merancang non-induktif koil tipe solenoid untuk memperoleh nilai arus masukkan yang lebih kecil pada kerja generator gas *hydroxy* yang menerapkan sumber arus pulsa *train* dan menghasilkan jumlah gas *hydroxy* yang relatif tetap. Pada penelitian ini akan dibandingkan besar nilai arus masukkan antara kerja generator gas *hydroxy* yang menerapkan sumber arus pulsa *train* tanpa menggunakan non-induktif koil dengan besar arus masukkan yang menggunakan non-induktif koil. Penelitian ini diasumsikan dilakukan pada standar suhu 25°C dan tekanan 1 atm. Metodologi penelitian yang digunakan secara umum seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1. Perancangan Alat

Perancangan alat dibagi menjadi empat bagian yaitu perancangan perangkat keras elektronik yang terdiri dari rangkaian pemucuan, rangkaian driver optik, rangkaian driver switching, MOSFET daya; perancangan generator gas *hydroxy*, perancangan generator gas *hydroxy*, perancangan non-induktif koil; dan perancangan perangkat lunak untuk modul Arduino Uno R3.

Agar perancangan dan pembuatan alat dapat berjalan secara sistematis, maka pembuatan alat dibagi menjadi beberapa tahapan meliputi:

1. Penentuan spesifikasi alat.
2. Pemilihan komponen yang digunakan berdasarkan spesifikasi komponen dari datasheet untuk menjaga sistem tetap bekerja dengan optimal.
3. Penyusunan blok diagram sistem untuk mempermudah pemahaman cara kerja setiap blok dari alat yang dirancang dalam penelitian ini.
4. Penggabungan keseluruhan blok menjadi satu sistem kerja alat yang direncanakan sesuai dengan perancangan sehingga dapat memberikan hasil kerja alat yang diharapkan.

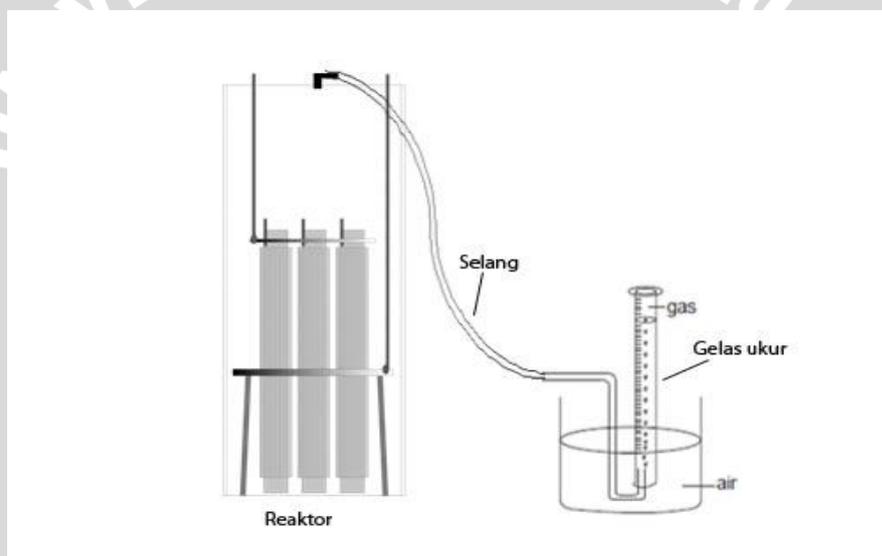
3.2. Pengujian Alat

Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi dua bagian yakni pengujian tiap blok dan pengujian sistem keseluruhan. Pengujian tiap blok dilakukan untuk melihat apakah setiap bagian alat telah berfungsi dengan baik. Setelah setiap bagian alat berfungsi dengan baik maka dilakukan pengujian keseluruhan sistem untuk memperoleh hasil kinerja generator gas *hydroxy* sesuai dengan yang direncanakan. Tahap-tahap pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian pemucuan
2. Pengujian rangkaian *driver* optik dan *switching*
3. Pengujian MOSFET daya
4. Pengujian non-induktif koil
5. Pengujian generator gas *hydroxy*

3.3. Pengambilan Data

Dalam pengujian keseluruhan sistem akan dilakukan pengambilan data tegangan masukan dan arus masukan pada kondisi nilai volume gas dan frekuensi pulsa *train* yang tetap. Untuk pengambilan data, dilakukan pengujian keseluruhan sistem tanpa menggunakan non-induktif koil dan dengan menggunakan non-induktif koil dengan variasi jumlah 20, 40, 60, 80 dan 100. Dan untuk mengukur nilai volume gas *hydroxy* dilakukan dengan metode membalik gelas ukur yang telah terisi penuh oleh air di dalam bejana yang terisi air seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Ujung selang tempat keluar gas hasil elektrolisis dari reaktor diletakkan di mulut gelas ukur sehingga air yang ada di dalam gelas ukur akan mengalir keluar digantikan oleh gas hasil elektrolisis yang masuk ke dalam gelas ukur.



Gambar 3.2 Pengambilan Data Volume Gas
Sumber: Penulis, 2015

Untuk setiap pengambilan data arus masukan dan tegangan masukan dengan penetapan volume gas, jumlah lilitan non-induktif koil, dan frekuensi pulsa *train* tertentu akan dilakukan pengujian dan pengukuran dalam waktu 1 menit dan setiap pengambilan data akan diulang sebanyak 3 kali untuk memperoleh nilai rata-ratanya.

3.4. Perhitungan dan Analisa Data

Perhitungan dan analisis data dilakukan setelah pengujian keseluruhan sistem telah bekerja dengan baik. Analisis yang akan dilakukan antara lain:

1. Perubahan arus masukan disebabkan pemasangan non-induktif koil.

2. Perubahan volume gas *hydroxy* disebabkan perubahan frekuensi pulsa *train*.
3. Perbandingan efisiensi energi pada penggunaan setiap jumlah lilitan koil pada variasi nilai frekuensi yang berbeda.

Dan untuk mempermudah perhitungan digunakan beberapa asumsi, antara lain:

1. Tekanan dan temperatur ruang dianggap konstan.
2. Gas H_2 dianggap gas ideal.

3.5. Hipotesis dan Saran

Hipotesis diambil berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis data. Pemberian saran dilakukan kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini meliputi hal-hal yang menjadi kendala atau yang hal-hal memerlukan kajian lebih dalam.



BAB IV PERANCANGAN

Bab ini membahas mengenai perancangan dan pembuatan setiap bagian rangkaian atau peralatan yang dibutuhkan untuk menyusun sistem keseluruhan generator gas *hydroxy* yang menerapkan arus pulsa *train* sebagai sumber energi serta membahas perancangan dan pembuatan non-induktif koil sebagai komponen tambahan untuk kerja generator gas *hydroxy*. Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari empat bagian, yaitu perancangan perangkat keras yang terdiri dari perancangan generator gas *hydroxy*; perancangan rangkaian pemecuan, rangkaian *driver*, MOSFET Daya; perancangan non-induktif koil dan perancangan perangkat lunak untuk Arduino Uno R3.

Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis kerja sistem setiap bagian ataupun sistem secara keseluruhan. Perancangan dan pembuatan alat ini meliputi beberapa hal, antara lain:

1. Penentuan spesifikasi alat
2. Blok diagram sistem
3. Perancangan generator gas *hydroxy*
4. Perancangan perangkat keras (*hardware*)
5. Perancangan perangkat lunak (*software*)
6. Perancangan non-induktif koil

4.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Dalam melakukan perancangan dan pembuatan alat maka terlebih dahulu dilakukan penentuan spesifikasi alat atau komponen yang digunakan. Penentuan spesifikasi alat berguna untuk menjadi acuan dalam perancangan alat yang direncanakan agar dapat bekerja dengan baik. Spesifikasi alat utama yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan modul Arduino Uno R3 sebagai pengontrol utama
2. Menggunakan PC817 sebagai *driver* optik dengan *time rise* maksimal 4 μ s dan *time fall* maksimal 3 μ s.

3. Menggunakan IR2110 sebagai *driver switching* MOSFET dengan *time rise*=35 ns dan *time fall*=25ns dan $V_{B \max} = 525V$.
4. Menggunakan MOSFET daya IRF3205 dengan $V_{DSS}=55 V$ dan $I_D=110 A$.
5. Menggunakan LCD modul M1632 untuk menampilkan frekuensi dan *duty cycle*.
6. Menggunakan kawat tembaga yang dilapisi email berukuran 21 AWG sebagai bahan penyusun non-induktif koil yang mampu dilalui arus hingga 3 A.

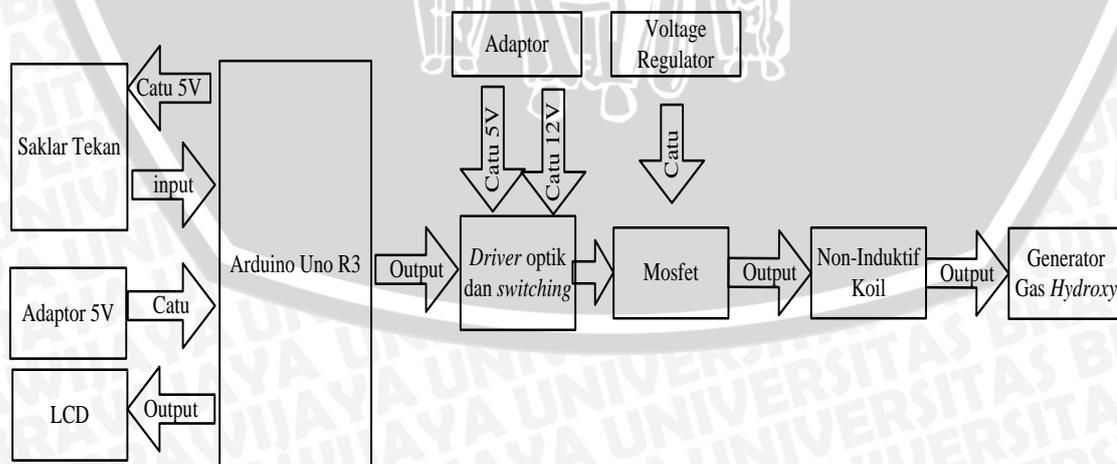
4.2. Blok Diagram Sistem

Blok diagram dari sistem generator gas *hydroxy* dengan menerapkan arus pulsa *train* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem
Sumber: Penulis, 2015

Diagram alir dari kerja alat secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.2 Diagram Alir Keseluruhan Sistem
Sumber: Penulis, 2015

Sumber tegangan yang digunakan pada alat ini ada tiga jenis yaitu: Adaptor USB 5V, Adaptor DC 5V dan 12 V, dan DC *Voltage Regulator*. Adaptor USB 5V sebagai sumber tegangan Arduino Uno R3. Arduino Uno R3 memiliki port 5V dan 3,3 V. Port 3,3V yang digunakan sebagai sumber tegangan rangkaian *saklar tekan* dan port 5V digunakan sebagai sumber tegangan LCD. Saklar tekan berguna memberikan input kepada Arduino Uno R3 yang telah diprogram untuk menghasilkan gelombang listrik pulsa *train*. Input dari saklar tekan digunakan untuk mengubah-ubah frekuensi dan *duty cycle* dari arus pulsa *train*. Gelombang listrik pulsa *train* yang dihasilkan Arduino Uno R3 selanjutnya ditransfer menuju rangkaian *driver* optik. Selain itu Arduino Uno R3 juga memberikan keluaran nilai frekuensi dan *duty cycle* yang ditampilkan pada LCD. Rangkaian *driver* optik digunakan untuk memisahkan rangkaian rangkaian pemecutan yang berdaya rendah dengan rangkaian yang berdaya tinggi. Rangkaian ini juga berguna untuk menguatkan gelombang tegangan pulsa *train* dari 5V menjadi 12V. Keluaran dari *driver* optik, yaitu tegangan gelombang pulsa *train* menjadi masukan dari rangkaian *driver switching*. Rangkaian *driver switching* dicatu oleh adaptor dengan tegangan 5V dan 12 V. Rangkaian *driver switching* ini berguna untuk mengoptimalkan transfer gelombang pulsa *train* dari rangkaian optik menuju kaki *gate* MOSFET. Gelombang pulsa *train* yang masuk pada *gate* MOSFET menjadi sinyal referensi pemecutan (*trigger*) untuk penyaklaran ON/OFF MOSFET. MOSFET yang dicatu oleh DC *Voltage Regulator* mengkonversi gelombang tegangan DC murni menjadi tegangan pulsa *train* sesuai dengan sinyal referensi yang masuk pada *gate* MOSFET. Keluaran gelombang listrik pulsa *train* dari MOSFET menjadi sumber bagi generator gas *hydroxy* yang merupakan tempat reaksi penguraian air aquades yang menghasilkan produk gas *hydroxy*.

4.3. Perancangan Generator Gas *Hydroxy*

Generator gas *hydroxy* merupakan alat tempat berlangsung proses elektrolisis yaitu penguraian air menjadi menjadi gas *hydroxy* dengan menyuplai listrik DC sebagai sumber energi. Generator ini terbuat dari lima pasang tabung konsentris yang dirangkai menjadi satu dengan hubungan paralel dan diletakan di dalam wadah akrilik bening berisi air aquades. Alat ini berperan sebagai elektroda yang yang menghantarkan arus listrik melewati air aquades. Jenis logam yang digunakan untuk membuat elektroda adalah *stainless steel* tipe 304L. Jenis logam *stainless steel* memiliki kombinasi yang baik

secara mekanik dan tahan korosi. Selain itu kandungan aluminium dalam bahan elektroda juga menjadi pertimbangan. Jika kandungan aluminium memiliki nilai 0,5Wt% atau nol maka dapat digunakan sebagai elektroda. Aluminium adalah unsur utama penyusun logam Fe-Al yang memiliki nilai resistifitas tinggi dan jika bereaksi dengan O_2 maka akan menghasilkan zat pengotor.

Ukuran dari elektroda yang akan digunakan pada perancangan generator gas *hydroxy* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ukuran Elektroda

Elektroda	Diameter Dalam (mm)	Diameter Luar (mm)	Ketebalan (mm)
Anoda	22	25	5
Katoda	17	20	3

Sumber: *Replication of Stanley Meyer's Demonstration Electrolyzer*



Gambar 4.3 Foto Generator Gas *Hydroxy*

Sumber: Penulis, 2015

4.4. Perancangan Perangkat Keras Elektronika

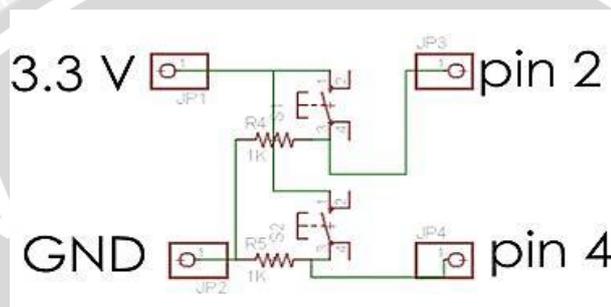
4.4.1. Rangkaian Pemicuan

Rangkaian Pemicuan digunakan untuk memberikan *input* digital ke Arduino Uno untuk mengubah frekuensi dan *duty cycle* dari pulsa *train*. Komponen-komponen yang digunakan untuk membuat rangkaian pemicuan ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komponen Rangkaian Pemicuan

No	Nama	Jumlah	Keterangan
1.	<i>Push Button</i> Omron	2	4 kaki
2.	Resistor 330 Ω , 0.25 Watt Gelang: Coklat, Hitam, Merah	2	
3.	Pin Header	4	Input dan Output

Gambar skematik dari rangkaian pemicuan dapat dilihat pada Gambar 4.4.

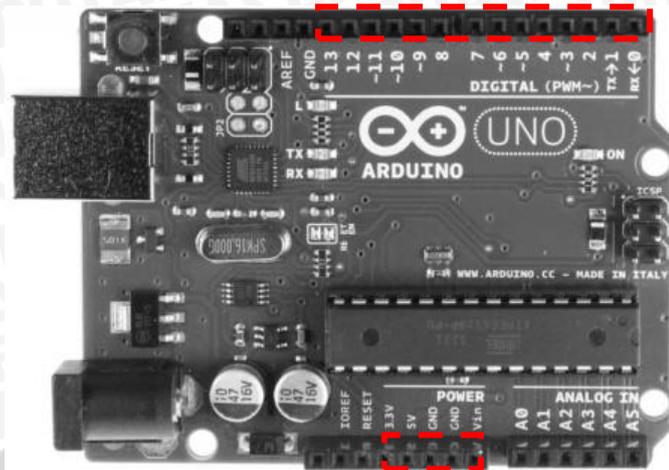


Gambar 4.4 Skematik Rangkaian Pemicuan
Sumber: Penulis, 2015

Rangkaian pemicuan terbuat dari dua saklar tekan yaitu Saklar S1 dan Saklar S2. Saklar tekan yang digunakan adalah tipe *Push Button Switch* yang memiliki 4 pin. Rangkaian ini mendapat suplai tegangan dc sebesar 3,3 V dari pin 3,3 V Arduino Uno. Ketika saklar S1 dan S2 ditekan akan menyebabkan beda potensial masing-masing di Pin JP3 dan Pin JP4. Beda potensial tersebut menjadi *input* digital untuk Arduino Uno R3. Saklar S1 sebagai masukan pin 2 Arduino Uno dan saklar S2 sebagai masukan pin 4 Arduino Uno.

4.4.2. Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 digunakan sebagai modul mikrokontroler untuk menghasilkan gelombang listrik pulsa *train* dan menampilkan nilai frekuensi dan *duty cycle* pulsa *train* pada LCD. Gambar papan mikrokontroler Arduino Uno R3 ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pin-Pin yang Digunakan pada Arduino Uno R3
Sumber: www.arduino.cc

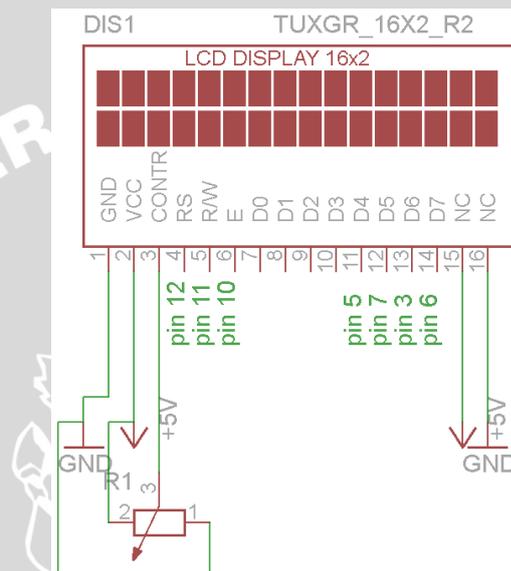
Gelombang listrik pulsa *train* ini digunakan untuk menjadi sinyal referensi pemacu gate MOSFET yang bekerja *on/off* sebagai saklar elektronik. Sinyal referensi ini dibuat terbalik dari sinyal yang diharapkan karena akan dilewatkan pada rangkaian penguat *optocouplerinvert* sebelum mencapai MOSFET. Arduino Uno R3 memiliki 14 pin digital yang dapat digunakan sebagai input atau output. Enam dari pin tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM. Dan jumlah pin tersebut mampu mencakupi fitur dari spesifikasi alat yang dirancang. Pin-pin yang akan digunakan dalam perancangan adalah sebagai berikut:

1. Pin 3,3V dan GND sebagai sumber tegangan untuk rangkaian pemecuan.
2. Pin 5V dan GND sebagai sumber tegangan untuk LCD.
3. Pin 2 dan 4 sebagai pin masukan yang diperoleh dari rangkaian pemecuan
4. Pin 9~ dan GND sebagai pin keluaran dari Arduino Uno R3 sesuai dengan yang dituliskan dalam program.
5. Pin 12, 11, 10, 5, 7, 3, 6 sebagai pin keluaran dari Arduino Uno R3 menuju LCD.

4.4.3. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Pada rangkaian ini digunakan LCD dot matrik berdaya rendah, yaitu LCD modul M1632 yang dilengkapi panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi. LCD ini digunakan untuk menampilkan keluaran dari arduino berupa nilai frekuensi dan *duty cycle* pulsa *train* berdasarkan masukan dari rangkaian pemecuan. LCD modul M1632 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1. Memiliki 16 karakter dan 2 baris tampilan yang terdiri atas 5×7 dot matrik ditambah dengan kursor.
2. Memerlukan catu daya DC 5 V.
3. Otomatis *reset* saat catu daya dinyalakan.
4. Memiliki data RAM (max 80 karakter) dengan 80×8 *display*.
5. Menggunakan 4 bit data dan 3 bit kontrol.



Gambar 4.6 Skematik dari LCD
Sumber: Penulis, 2015

LCD modul M1632. Pin 1(GND) dan Pin 2 (VCC) berfungsi sebagai pin input yang bertegangan 5V yang diperoleh dari Pin 5V Arduino. Pin 3 dihubungkan dengan resistor variabel untuk mengatur kontras dari layar. Pin 4, 5, 6, 11, 12,13, dan 14 dihubungkan dengan pin *output* Arduino dengan urutan yang diperlihatkan pada Gambar 4.6. Pemilihan pin-pin tersebut akan dimasukkan dalam *listing* program di Arduino. Pin 15 (VCC) dan 16 (GND) dihubungkan pada pin 5V Arduino sebagai *backlight*.

4.4.4. Rangkaian *Driver* Optik

Komponen utama yang digunakan sebagai *driver* optik adalah optocoupler PC 817. Komponen ini berfungsi untuk mengisolasi antara rangkaian Arduino uno yang memiliki tegangan 5 V dengan rangkaian *driver switching* bertegangan 12 V. Pemilihan PC 817 dikarenakan memiliki *time rise* dan *time fall* cukup kecil yaitu 4 μ s dan 3 μ s

sehingga mampu meneruskan sinyal berfrekuensi tinggi dari arduino uno. PC 617 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- $Time\ rise = 4\ \mu s$
- $Time\ fall = 3\ \mu s$
- $I_{Fmax} = 50\ mA$
- $V_F = 1,2\ V$
- $I_{Cmax} = 50\ mA$
- $V_{CEsat} = 0,1\ V$

Komponen-komponen yang dibutuhkan untuk membuat rangkaian *driver* optik dapat dilihat di Tabel 4.3.

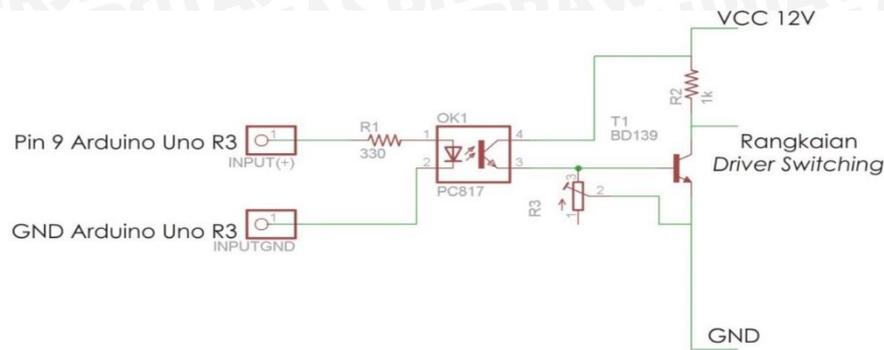
Tabel 4.3 Komponen Penyusun Rangkaian *Driver* Optik

No	Nama	Jumlah	Keterangan
1.	<i>Optocoupler</i> PC817	1	
2.	Resistor 1K Ω , 2 Watt Gelang: Coklat, Hitam, Merah	2	
3.	Pin Header	6	Input dan Output
4.	Transistor BD139	1	NPN
5.	Resistor 85 Ω , 2 Watt Gelang: Abu-abu, Kuning, Hitam	1	

Pada bagian *collector* PC 817 diparalel dengan resistor yang dihubungkan dengan *collector* dari transistor NPN BD139. Transistor BD139 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. $I_{B\ max} = 0,5\ A$
2. $I_{Cmax} = 1,5\ A$
3. $V_{CEsat} = 0,5\ V$
4. $h_{fe\ max} = 160$
5. $V_{BEsat} = 1\ V$

Rangkaian skematik dari rangkaian driver optik dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Skematik Driver Optik
Sumber: Penulis, 2015

Keluaran sinyal referensi pulsa train dari Arduino Uno menjadi masukan *driver* optik. Sinyal listrik pulsa *train* diterima oleh LED *infrared* pada PC817 dan diubah menjadi sinyal optik. Sinyal optik diterima oleh fototransistor pada sisi keluaran PC817 dan diubah kembali menjadi sinyal listrik pulsa *train*. Sinyal pulsa *train* ini menjadi arus pemicuan untuk basis transistor NPN BD139 melakukan *switching on/off* sehingga arus mengalir dari kolektor ke emitor dan menghasilkan keluaran sinyal tegangan pulsa *train* sebesar 12V. Keluaran dari transistor ini adalah *invert* dari sinyal referensi dari Arduino.

4.4.5. Rangkaian *Driver Switching* dan MOSFET Daya

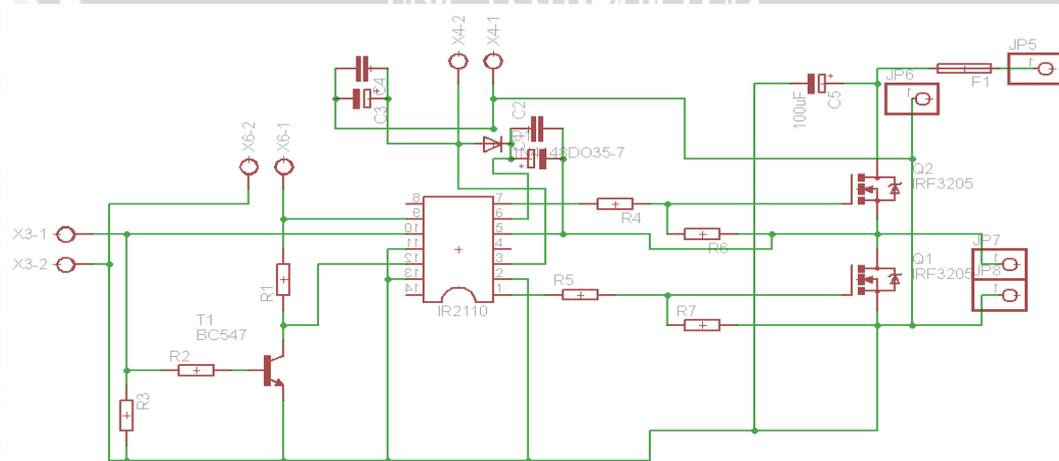
Rangkaian *Driver switching* ini menggunakan komponen utama Driver MOSFET tipe IR2110. Komponen ini digunakan untuk mengoptimalkan arus pemicuan pulsa train pada kaki *gate* MOSFET. IR2110 memiliki *time rise* dan *time fall* cukup kecil yaitu 35 ns dan 25 ns. Hal ini memungkinkan untuk meneruskan sinyal dengan frekuensi tinggi. V_b maksimal IR2110 sebesar 525V sehingga memenuhi untuk perancangan rangkaian ini karena tegangan yang digunakan bernilai dibawah nilai tersebut. Selain IR2110 komponen utama yang digunakan pada rangkaian ini adalah MOSFET IRF 3205. MOSFET IRF 3205 memiliki nilai $V_{DSS}=55$ V dan $I_D=110$ A sehingga sesuai digunakan sebagai saklar elektronik pada rancangan rangkaian ini yang melewati arus maksimal 3A dan tegangan maksimal 25V.

Komponen-komponen untuk membuat rangkaian *driver switching* dan MOSFET dapat dilihat pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4 Komponen Penyusun Rangkaian *Driver* dan MOSFET

No	Nama	Jumlah	Keterangan
1.	Transistor NPN BC547	1	
2.	Resistor 1 k Ω , 2 Watt Gelang: Coklat, Hitam, Merah	3	
3.	Resistor 10 k Ω , 2 Watt Gelang: Coklat, Hitam, Jingga	1	
4.	Resistor 2200 Ω , 2 Watt Gelang: Merah, Merah, Merah	1	
5.	Resistor 22 Ω , 2 Watt Gelang: Merah, Merah, Hitam	2	
6.	Kapasitor 22 μ F, 250 V	2	Bipolar
7.	Kapasitor 100 nF, 100 V	2	Nonpolar
8.	Kapasitor 100 μ F, 250 V	1	Bipolar
9.	Dioda, 1N5818	1	
10.	MOSFET IRF3205	2	N-Channel, MOSFET Daya

Gambar skematik rancangan rangkaian *driver switching* dan MOSFET dapat dilihat pada Gambar 4.8:



Gambar 4.8 Skematik Rangkaian *Driver Switching* dan MOSFET
Sumber: Penulis, 2015

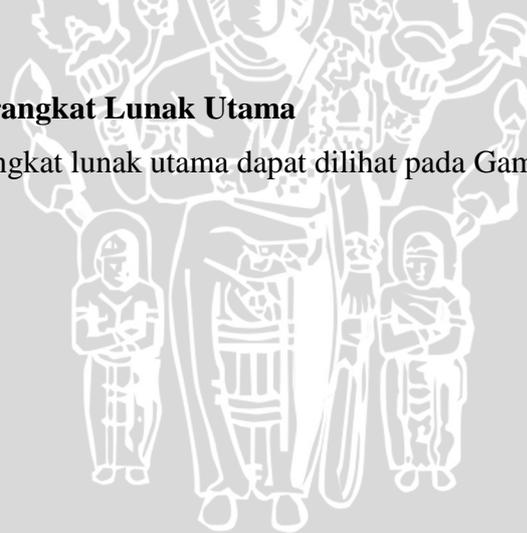
Sinyal referensi pulsa *train* keluaran dari rangkaian *driver* optik masuk ke Pin 10 dan Pin 12 yang dimiliki komponen IR2110. Pin ini masing-masing merupakan pin HIN untuk masukan logika *driver gate* pada *high side output* (HO) dan pin LIN untuk masukan logika *driver gate* pada *low side output* (LO) setelah di-*invert* di transistor. Sumber tegangan 5V masuk pada Pin 9 yang merupakan pin sumber tegangan bagi rangkaian logika. Sumber tegangan 12 V masuk ke Pin 13 yaitu pin V_{cc} sebagai sumber tegangan untuk rangkain *low side*. Sinyal keluaran dari IR2110, keluar melalui pin HO (Pin 7) digunakan sebagai masukan bagi *gate* bagi MOSFET pertama (Q1 IRF3205) sedangkan sinyal keluaran dari IR2110 melalui pin LO (pin 5) digunakan sebagai masukan *gate* MOSFET kedua (Q2 IRF3205).

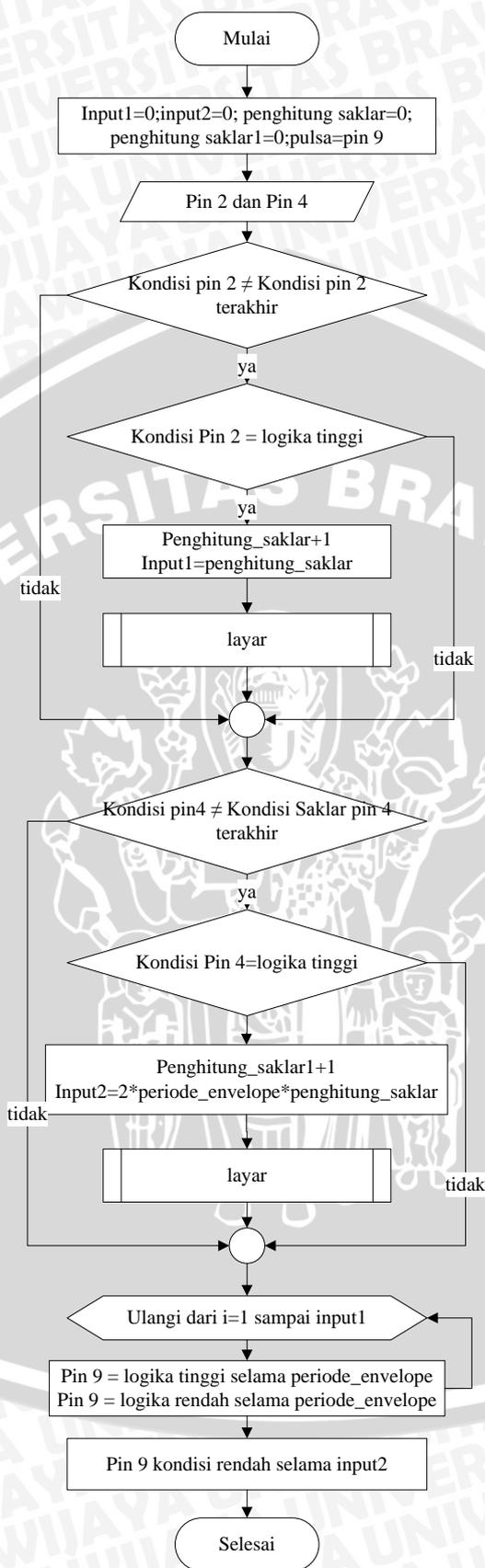
4.5. Perancangan Perangkat Lunak

Pembuatan perangkat lunak Arduino Uno R3 menggunakan *software* Arduino 1.0.6. Perangkat lunak ini dibuat untuk menghasilkan sinyal pulsa *train*. Selain itu juga memberikan *output* sebagai tampilan LCD dengan nilai frekuensi dan *duty cycle* tertentu.

4.5.1 Perancangan Perangkat Lunak Utama

Diagram alir perangkat lunak utama dapat dilihat pada Gambar 4.9.



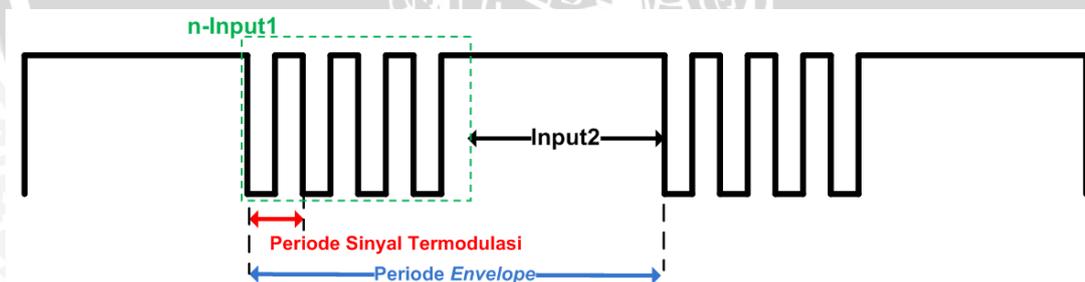


Gambar 4.9 Diagram Alir Program Utama
Sumber: Penulis, 2015

Input digital dari Saklar Tekan ke Arduino merupakan *Button State Change Detection* yaitu perubahan masukan dari suatu keadaan menjadi keadaan yang lain. Pin-pin dan variabel yang akan digunakan pada perancangan perangkat lunak utama adalah Saklar 1 di Pin 2, Saklar 2 di Pin 4, Output pulsa *train* disimpan dalam variabel pulsa di Pin 9, Nilai Awal penghitung_saklar adalah 0, Nilai awal penghitung_saklar1 adalah 0, Nilai awal dari input1 adalah 0. Input1 adalah banyaknya pulsa *train*. Nilai awal dari input2 adalah 0. Input2 adalah lama sela pulsa *train*.

Jika kondisi dari Pin 2 tidak sama dengan kondisi Pin 2 yang terakhir, maka program akan mengecek apakah kondisi Pin 2 pada logika tinggi. Jika tidak, maka program mengecek kondisi Pin 4. Jika kondisi Pin 2 pada logika tinggi, maka program akan memanggil subfungsi layar lalu menambah nilai dari variabel penghitung_saklar. Jika tidak, maka program akan mengecek Pin 4. Nilai input1 sama dengan jumlah masukan dari Pin 2.

Jika kondisi dari Pin 4 tidak sama dengan kondisi Pin 4 yang terakhir, maka program akan mengecek apakah kondisi Pin 4 pada logika tinggi. Jika tidak, maka program akan memanggil fungsi perulangan. Jika kondisi pin 4 pada logika tinggi, maka program akan memanggil subfungsi layar lalu menambah nilai dari variabel penghitung_saklar1. Jika tidak, maka program akan dilanjutkan pada fungsi perulangan. Nilai input2 sama dengan jumlah masukan dari Pin 4.



Gambar 4.10 Gelombang Pulsa *Train* Program Utama
Sumber: Penulis, 2015

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai dari input1 dan input2 masing-masing digunakan untuk menentukan lebar dari logika tinggi dan logika rendah gelombang pulsa *train*. Nilai dari input1 digunakan untuk menentukan jumlah sinyal termodulasi yang ditumpangkan dengan frekuensi 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz. Sedangkan nilai input2 dikalikan dengan periode sinyal termodulasi untuk menentukan waktu logika rendah.

4.5.2 Perancangan Perangkat Lunak Layar LCD

Fungsi untuk memunculkan nilai frekuensi dan *duty cycle* di LCD menggunakan subfungsi layar (). Jika program LCD dimasukkan pada program utama akan menyebabkan waktu tunda yang lama pada program utama dan waktu logika rendah yang sangat lama dikarenakan membutuhkan waktu yang lebih lama dari 10 μ s untuk memuat data ke LCD.

Data yang ditampilkan pada LCD adalah frekuensi gelombang yang dimodulasikan. Gelombang termodulasi ditetapkan sebesar 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz. Besarnya frekuensi sesuai dengan perancangan yang ditentukan berdasarkan Persamaan (4.1), Persamaan (4.2), Persamaan (4.3), Persamaan (4.4) dan Persamaan (4.5) berikut ini:

$$f_{5 \text{ kHz}} = \frac{5}{\text{input 1} + \text{input 2}} \text{ kHz} \quad (4.1)$$

$$f_{10 \text{ kHz}} = \frac{10}{\text{input 1} + \text{input 2}} \text{ kHz} \quad (4.2)$$

$$f_{20 \text{ kHz}} = \frac{20}{\text{input 1} + \text{input 2}} \text{ kHz} \quad (4.3)$$

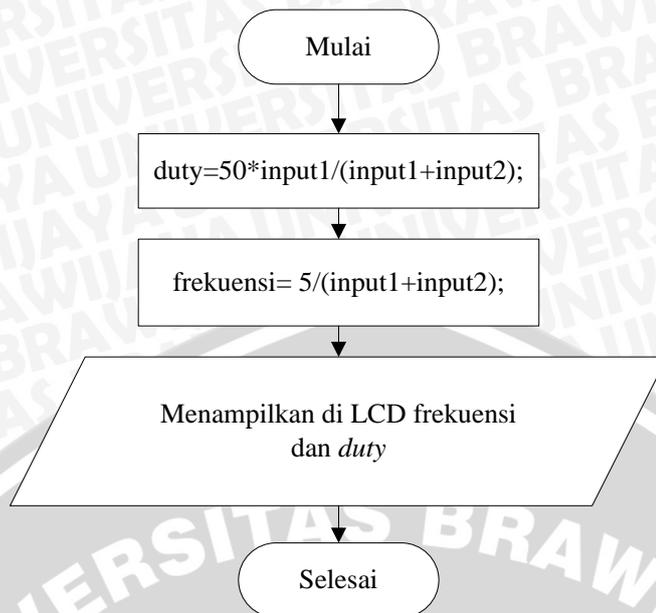
$$f_{30 \text{ kHz}} = \frac{30}{\text{input 1} + \text{input 2}} \text{ kHz} \quad (4.4)$$

$$f_{40 \text{ kHz}} = \frac{40}{\text{input 1} + \text{input 2}} \text{ kHz} \quad (4.5)$$

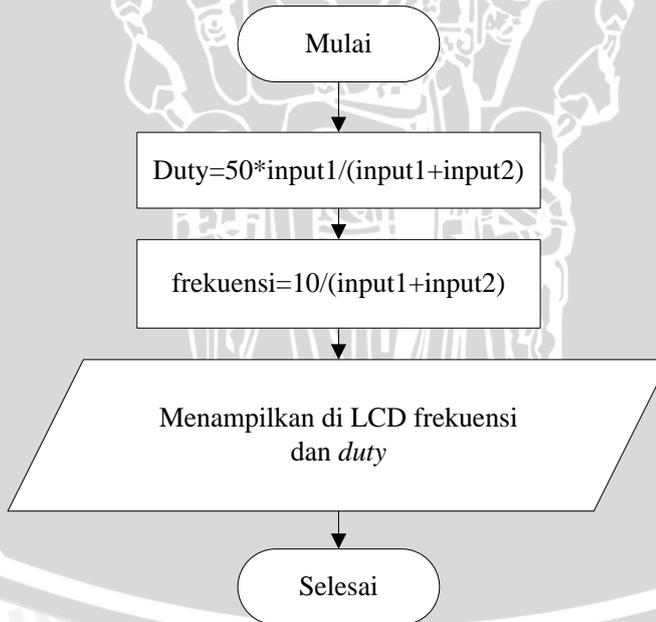
Sedangkan *duty cycle* ditentukan melalui Persamaan (4.6) berikut ini:

$$D = \frac{50 \times \text{input 1}}{\text{input 1} + \text{input 2}} \% \quad (4.6)$$

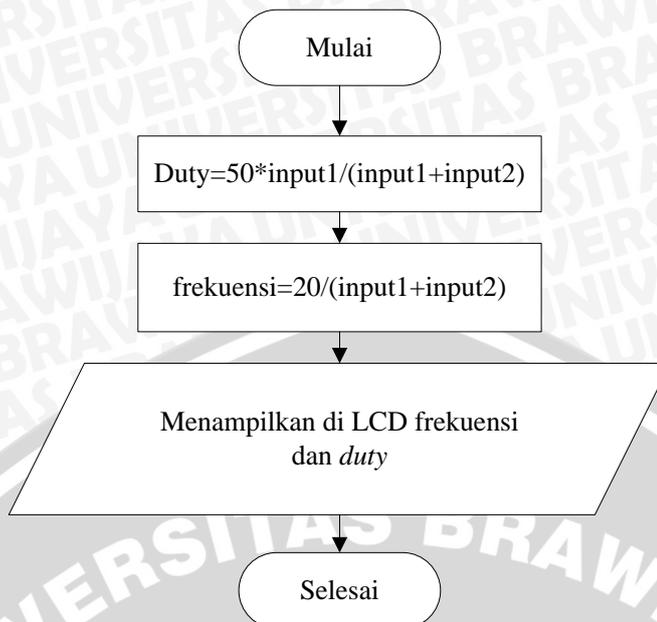
Perancangan perangkat lunak untuk LCD mengikuti *flowchart* pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13, Gambar 4.14, dan Gambar 4.15 berikut ini:.



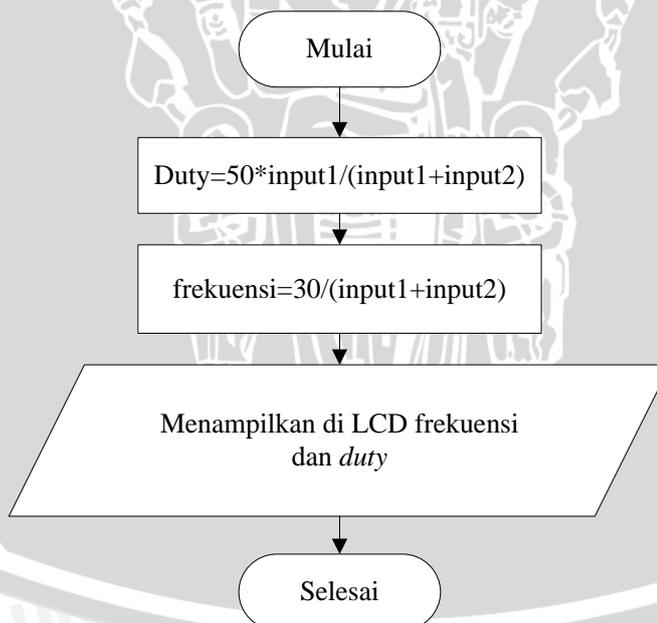
Gambar 4.11 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



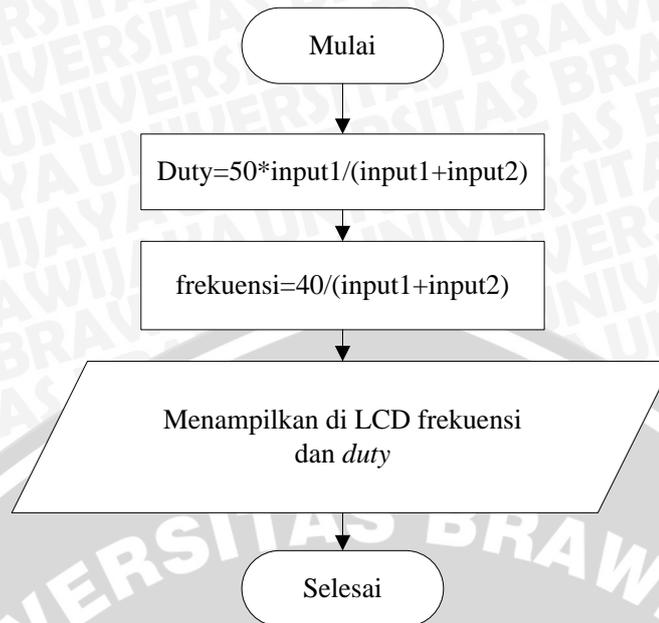
Gambar 4.12 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 4.13 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



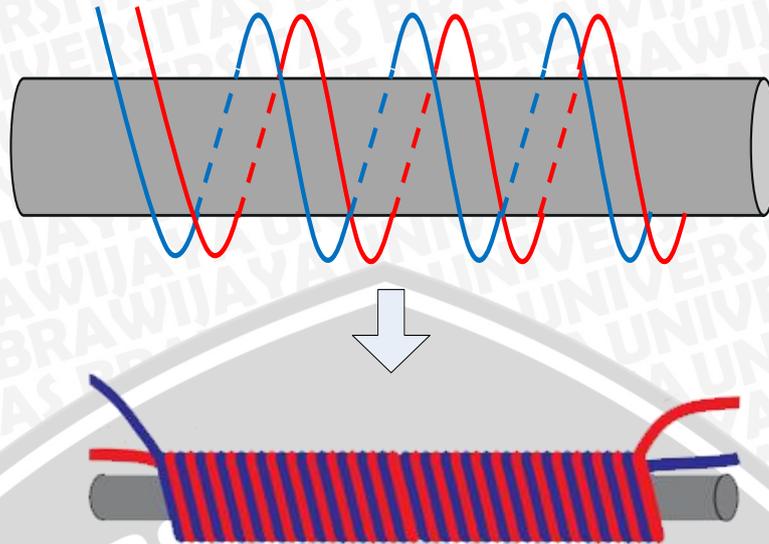
Gambar 4.14 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 4.15. Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz
Sumber: Penulis, 2015

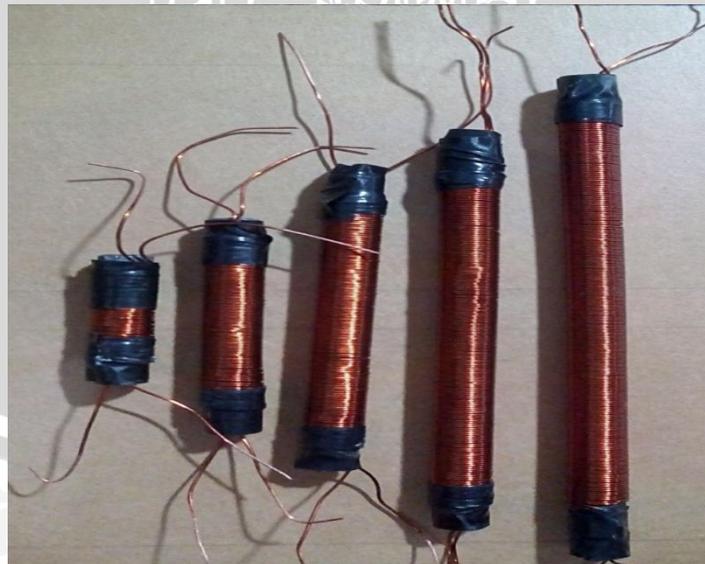
4.6. Perancangan Non-Induktif Koil Tipe Solenoid

Non-induktif tipe solenoid koil berperan untuk menekan nilai arus masukan dari sumber listrik (*DC voltage regulator*) menjadi lebih kecil, namun gas yang dihasilkan generator gas *hydroxy* berjumlah tetap. Perancangan koil ini membutuhkan dua bahan utama yaitu inti ferit berbentuk batang silinder dengan ukuran diameter 1,83 cm dan kawat tembaga berisolasi bahan *polyurethane* ukuran 21 AWG (diameter = 0,724mm) yang mampu mengalirkan arus sebesar 3A sesuai dengan nilai arus yang akan diterapkan pada pengujian keseluruhan sistem. Pembuatan non-induktif koil dilakukan dengan teknik bifilar *winding* seperti yang terlihat pada Gambar 4.16. Teknik bifilar *winding*, yaitu teknik melilit dua helai kawat pada inti koil secara sejajar dan bersamaan dengan jarak berdekatan (cukup dekat sehingga saling bersentuhan).



Gambar 4.16 Pembuatan Non-Induktif Koil dengan Teknik Bifilar Winding
Sumber: Penulis, 2015

Non-induktif koil yang dirancang memiliki variasi nilai jumlah lilitan yaitu 20, 40, 60, 80, dan 100 lilitan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Arus pulsa *train* yang dihasilkan oleh rangkaian elektronika penghasil pulsa *train* dilewatkan terlebih dahulu melalui non-induktif koil sebelum arus pulsa *train* menjadi masukan generator gas *hydroxy*. Masing-masing variasi jumlah lilitan akan diuji pada pengujian keseluruhan sistem generator gas *hydroxy* secara bergantian.



Gambar 4.17 Non-Induktif Koil Hasil Perancangan
Sumber: Penulis, 2015

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan pada masing-masing blok perancangan untuk memudahkan analisis. Pengujian keseluruhan sistem juga dilakukan untuk mengetahui jumlah lilitan non-induktif koil dan frekuensi berapa yang memberikan penurunan nilai arus masukan dan energi masukan paling efisien dari kerja generator gas *hydroxy* dengan menerapkan arus pulsa *train*. Tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Rangkaian Pemicuan
2. Pengujian Rangkaian *Driver*
3. Pengujian MOSFET Daya
4. Pengujian Non-Induktif Koil
5. Pengujian Generator Gas *Hydroxy*

5.1. Pengujian Rangkaian Pemicuan

5.1.1. Tujuan

Pengujian rangkaian pemicuan bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian bisa bekerja memberikan sinyal masukan ke rangkaian *driver*. Ada tiga bagian rangkaian pada rangkaian pemicuan yang akan diuji, yaitu rangkaian Saklar Tekan, Arduino Uno R3, dan LCD. Pengujian rangkaian saklar tekan untuk mengetahui rangkaian dapat memberikan *input* digital pada program Arduino 1.0.6. Pengujian Arduino Uno R3 untuk mengetahui program yang telah diunggah pada Arduino dapat menghasilkan sinyal pulsa *train* dengan frekuensi dan *duty cycle* sesuai masukan yang diberikan saklar tekan. Pengujian LCD untuk mengetahui LCD dapat menampilkan nilai frekuensi dan *duty cycle* sesuai hasil perhitungan program yang telah diunggah ke Arduino Uno R3.

5.1.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

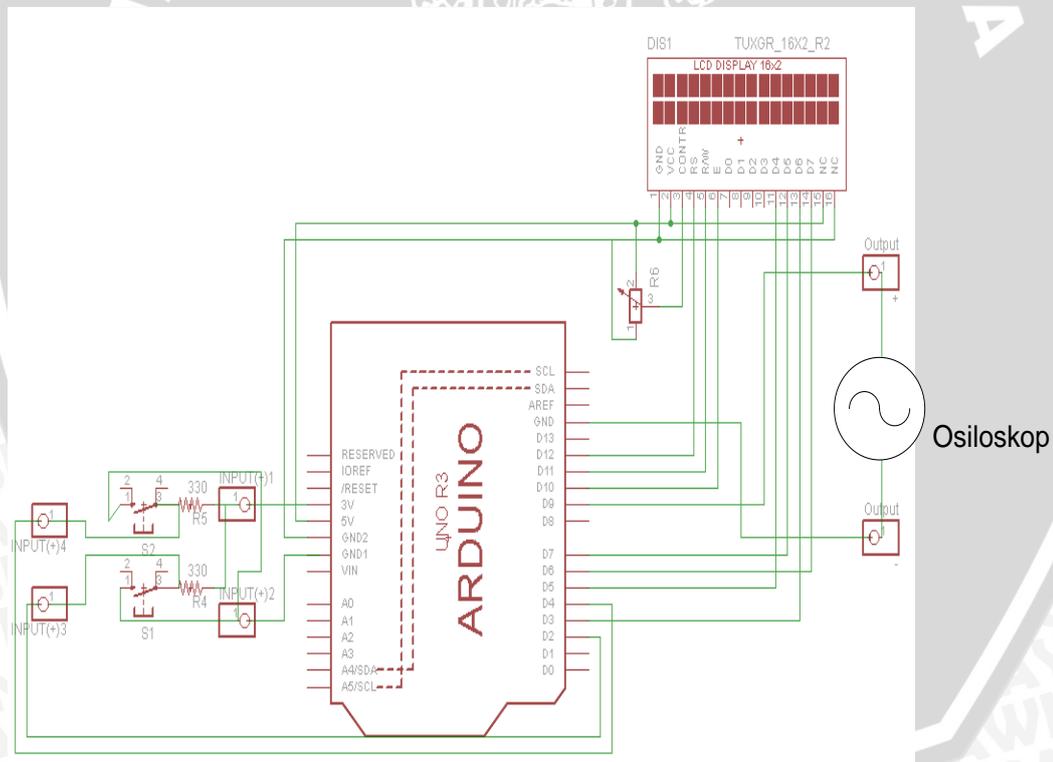
1. Komputer atau Laptop
2. Rangkaian saklar tekan

3. Arduino Uno R3
4. LCD M1632
5. Aplikasi Arduino 1.0.3
6. Osiloskop Siglent SDS 1022 DL

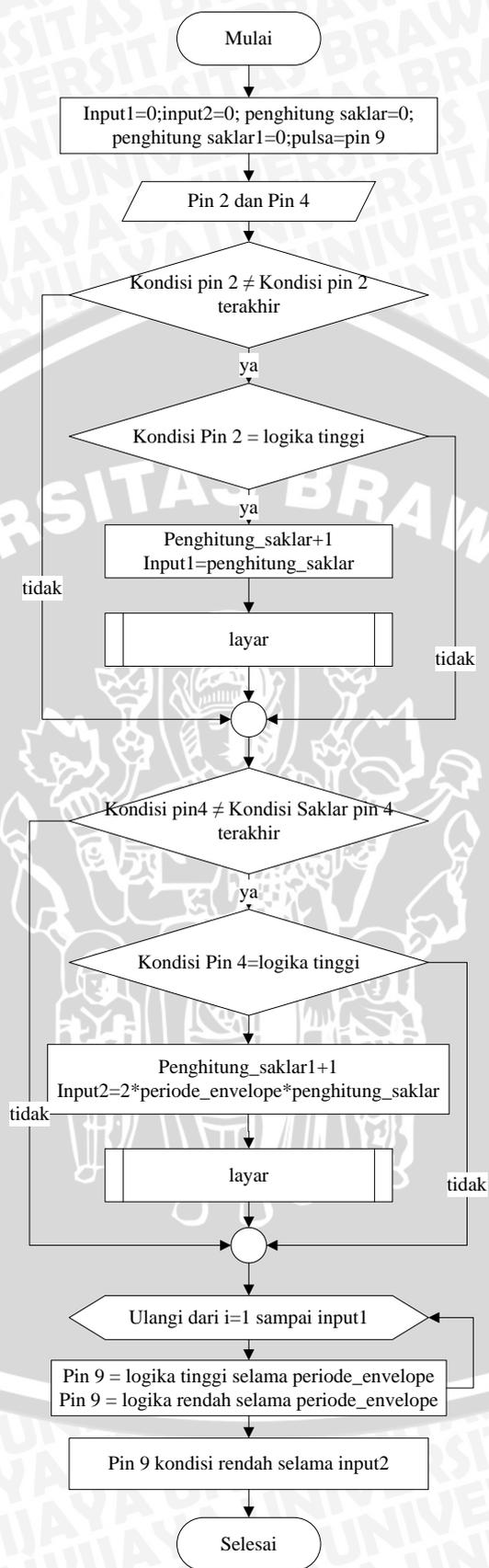
5.1.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian pemucuan sebagai berikut:

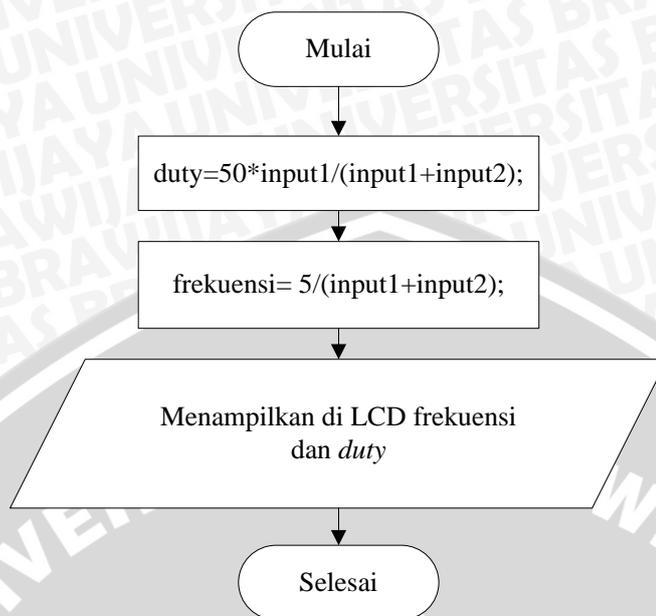
1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 5.1
2. Membuat dan mengunggah perangkat lunak sesuai diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, Gambar 5.4, Gambar 5.5, Gambar 5.6, dan Gambar 5.7.
3. Menghubungkan komputer dengan Arduino Uno R3 menggunakan kabel USB dan menghubungkan osiloskop pada Port D9 dan GND.



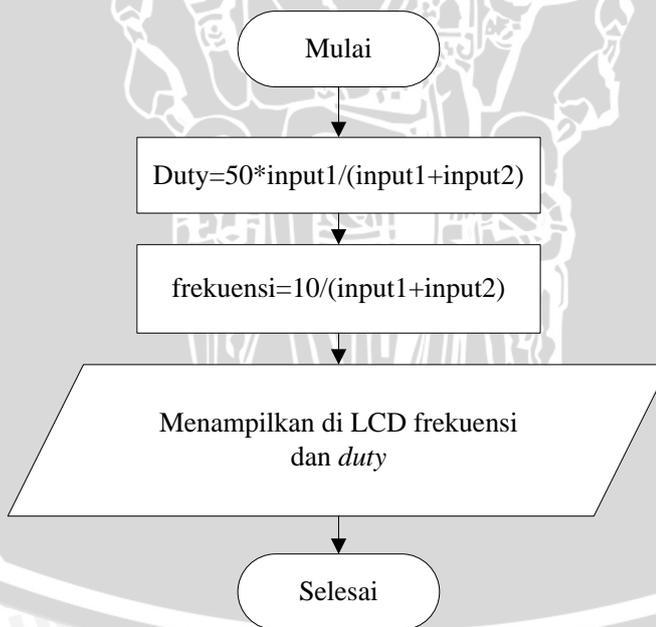
Gambar 5.1 Pengujian Rangkaian Pemucuan Menggunakan Osiloskop
Sumber: Penulis, 2015



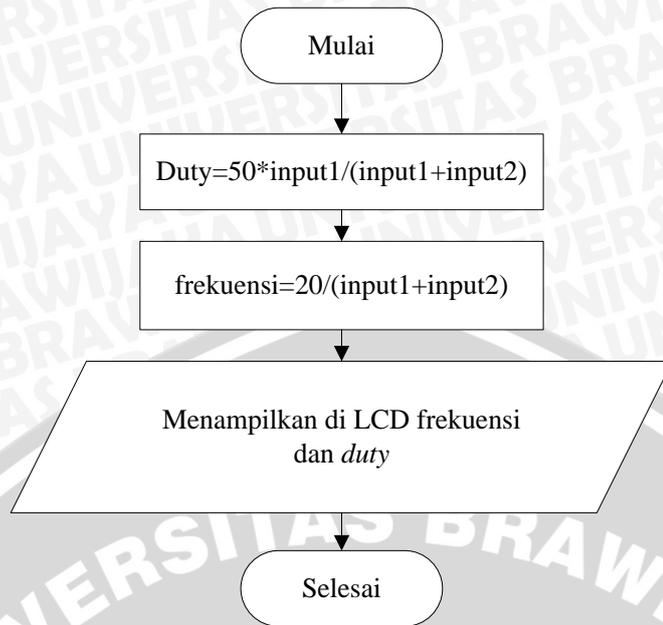
Gambar 5.2 Diagram Alir Program Utama
Sumber: Penulis, 2015



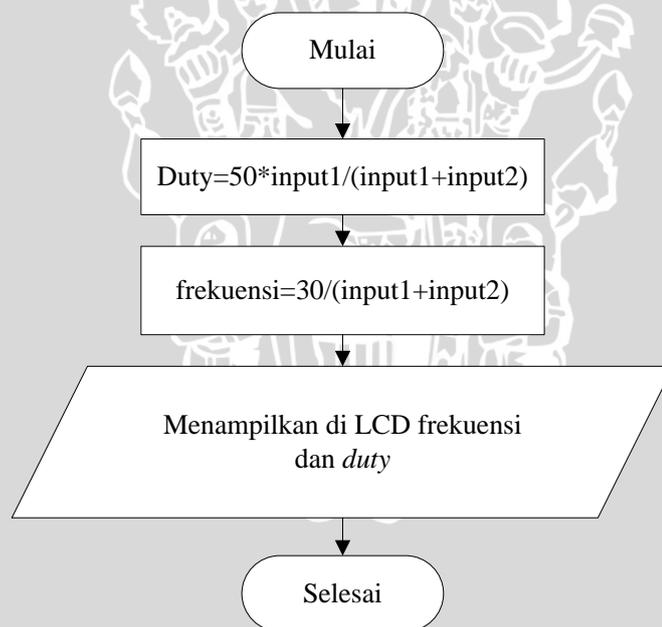
Gambar 5.3 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



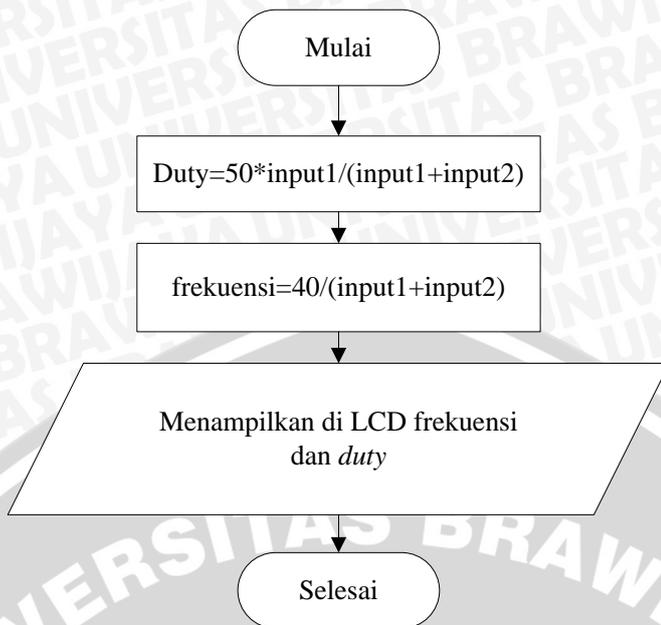
Gambar 5.4 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.5 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.6 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.7 Diagram Alir Program Layar pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz
 Sumber: Penulis, 2015

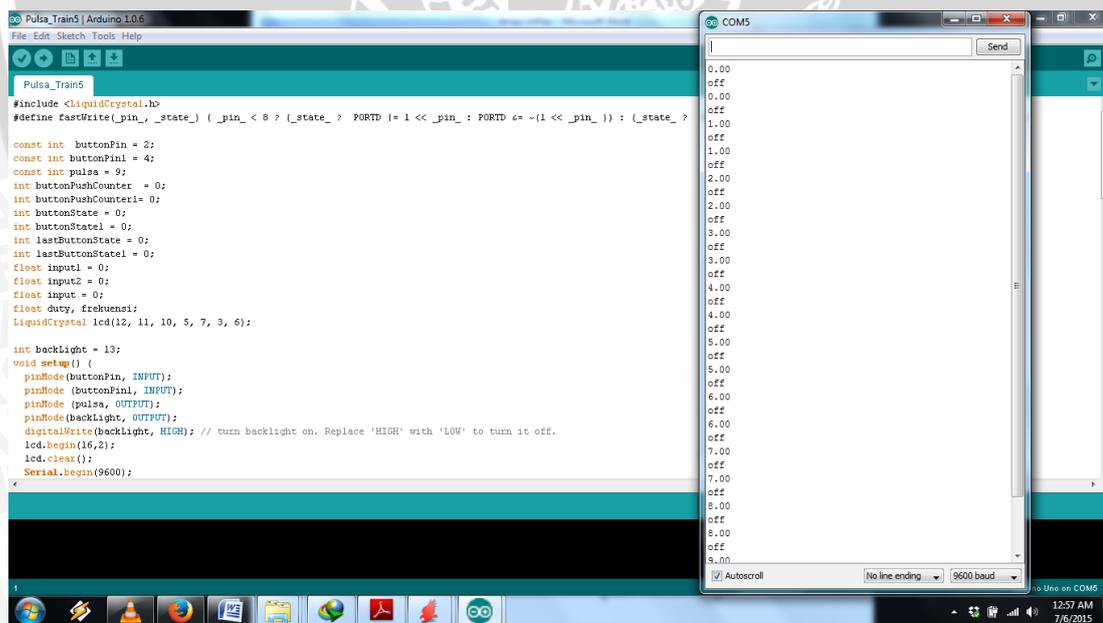
5.1.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian serial monitor dan LCD ditunjukkan pada Tabel 5.1. Contoh keluaran serial monitor dan LCD dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.1 Tabel Keluaran Serial Monitor dan LCD

No	Frekuensi Termodulasi	Keluaran Serial Monitor		Teori (modulasi)		Praktik (modulasi)		Kesalahan (%)
				f (kHz)	Duty Cycle	f (kHz)	Duty Cycle	
1.	0	0	0	0	0	Tekan PushButton		0
2.	5 kHz	1	1	2,5	25	2,5	25	0
3.	5 kHz	2	2	1,25	25	1,25	25	0
4.	5 kHz	3	3	0,83	25	0,83	25	0
5.	10 kHz	1	1	5	25	5	25	0
6.	10 kHz	2	2	2,5	25	2,5	25	0
7.	10 kHz	3	3	1,667	25	1,667	25	0

8.	20 kHz	1	1	10	25	10	25	0
9.	20 kHz	2	2	5	25	5	25	0
10.	20 kHz	3	3	3,333	25	3,333	25	0
11.	30 kHz	1	1	15	25	15	25	0
12.	30 kHz	2	2	7,5	25	7,5	25	0
13.	30 kHz	3	3	5	25	5	25	0
14.	40 kHz	1	1	20	25	20	25	0
15.	40 khz	2	2	10	25	10	25	0
16.	40 kHz	3	3	6,667	25	6,667	25	0



Gambar 5.8 Serial Monitor dari Program Arduino 1.0.6
 Sumber: Penulis, 2015





Gambar 5.9 Keluaran Nilai Frekuensi dan *Duty Cycle* pada Layar LCD
Sumber: Penulis, 2015

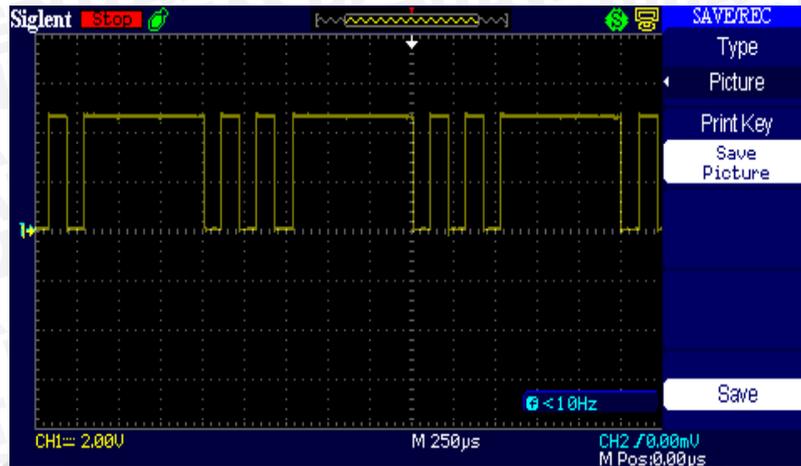
Dari hasil pengujian serial monitor memperlihatkan bahwa saklar tekan dapat berfungsi dengan baik dalam memberikan masukan arduino uno R3. Hal ini terlihat ketika saklar ditekan maka nilai variabel input1 dan input2 mengalami kenaikan. Nilai masukan dari saklar tekan diproses sesuai dengan program yang diunggah pada arduino uno R3 kemudian menghasilkan pulsa *train* yang memiliki nilai frekuensi envelope dan *duty cycle* tertentu yang ditampilkan pada LCD. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai frekuensi dan *duty cycle* yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan Persamaan (4.1), Persamaan (4.2), Persamaan (4.3), Persamaan (4.4), Persamaan (4.5), dan Persamaan (4.6).

Dari hasil pengujian menggunakan pengukuran osiloskop didapatkan data nilai frekuensi dan *duty cycle* keluaran pulsa *train* yang dihasilkan arduino uno yang dapat dilihat pada tabel 5.2. Contoh bentuk sinyal tegangan pulsa *train* keluaran arduino uno dapat dilihat pada Gambar 5.10, Gambar 5.11, Gambar 5.12, Gambar 5.13, dan Gambar 5.14

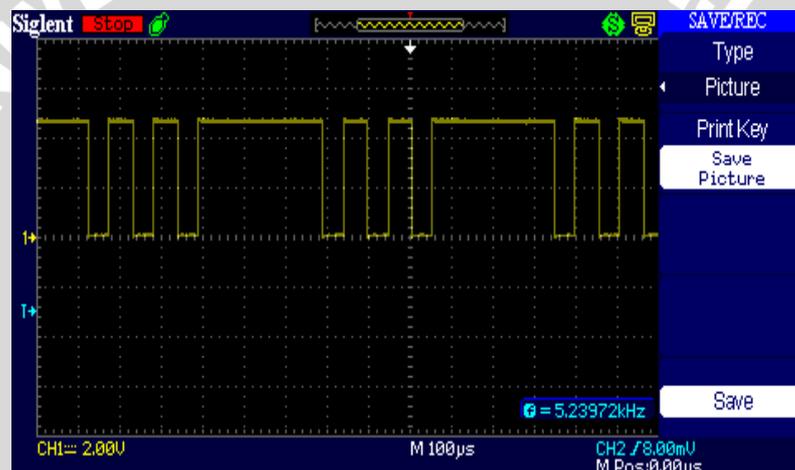
Tabel 5.2 Tabel Keluaran Arduino Uno R3

No	Frekuensi Termodulasi	Teori		Praktik		Kesalahan (%)	
		f (kHz)	<i>Duty Cycle</i>	f (kHz)	<i>Duty Cycle</i> (D)	f	<i>Duty cycle</i>
1	0	0	0	Tekan Saklar		0	0
2.	5 kHz	2,5	75	2,27	77,27	9,2	3,03
3.	5 kHz	1,25	75	1,18	76,19	5,6	1,59

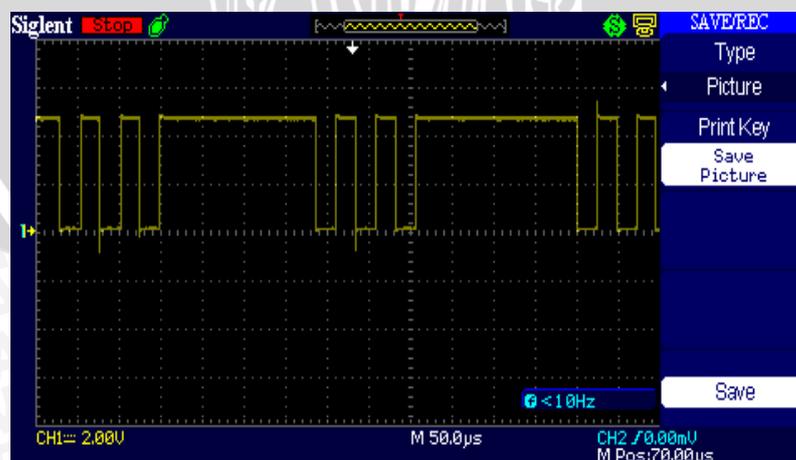
4.	5 kHz	0,833	75	0,806	75,81	3,28	1,08
5.	10 kHz	5	75	4,46	78,50	10,8	4,66
6.	10 kHz	2,5	75	2,5	75,50	0	0,67
7.	10 kHz	1,67	75	1,74	74,47	4,4	0,70
8.	10 kHz	1,25	75	1,31	73,10	4,8	2,54
9.	20 kHz	10	75	7,35	80,850	26,5	7,80
10.	20 kHz	5	75	4,55	78,715	9	4,95
11.	20 kHz	3,33	75	3,25	77,350	2,5	3,13
12.	20 kHz	2,5	75	2,49	75,447	0,4	0,60
13.	30 kHz	15	75	9,9	91,08	34,00	21,44
14.	30 kHz	7,5	75	6,76	79,77	9,87	6,36
15.	30 kHz	5	75	4,85	74,69	3,00	0,41
16.	30 kHz	3,75	75	3,83	72,77	2,13	2,97
17.	40 kHz	20	75	11,24	83,18	43,8	10,90
18.	40 khz	10	75	9,012	82,01	9,88	9,35
19.	40 kHz	6.667	75	6,1	78,08	8,5	4,11
20.	40 kHz	5	75	4,9	75,46	2	0,61



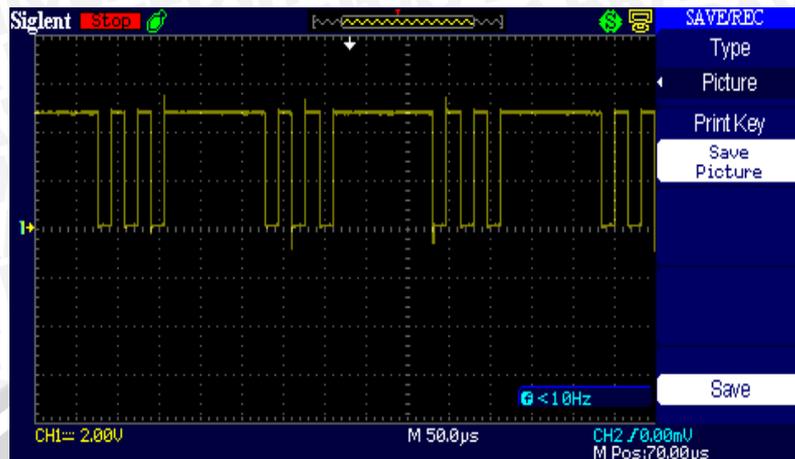
Gambar 5.10 Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi *Envelope* 0,833 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



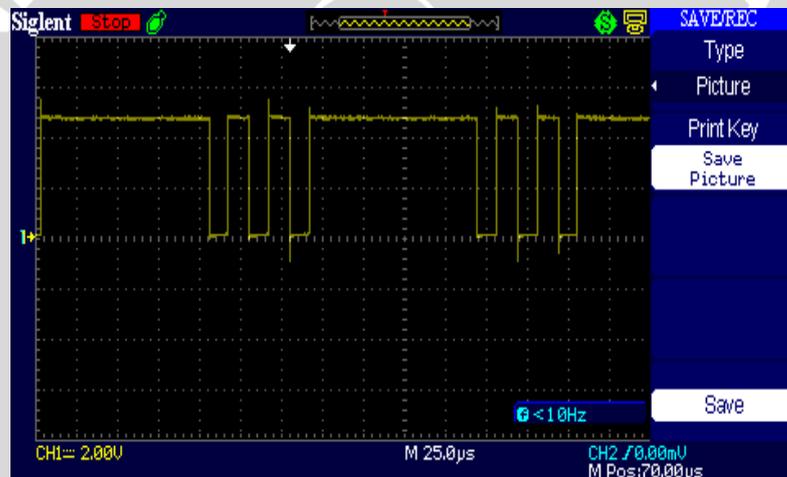
Gambar 5.11 Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi *Envelope* 1,667 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.12 Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz dan Frekuensi *Envelope* 3,333 kHz.
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.13 Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termulasi 30 kHz dan Frekuensi *Envelope* 5 kHz
Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.14 Gambar Keluaran Arduino Uno R3 pada Frekuensi Termulasi 40 kHz dan Frekuensi *Envelope* 6,667 kHz
Sumber: Penulis, 2015

Berdasarkan hasil pengujian dengan melakukan pengukuran menggunakan osiloskop didapatkan hasil keluaran sinyal tegangan pulsa train dari Pin 9 Arduino Uno R3 memiliki perbedaan dengan nilai frekuensi dan *duty cycle* yang telah dirancang pada program. Perbedaan nilai ini disebabkan karena terdapat waktu *delay* pada saat pulsa *train* di posisi *off*. Hal ini dikerenakan untuk membangkitkan sinyal pulsa *train* digunakan pemrograman perulangan bersarang sehingga arduino uno R3 membutuhkan waktu untuk melakukan proses selanjutnya. Semakin panjang program yang diunggah pada arduino maka semakin lama waktu pemrosesan program yang dibutuhkan. Kesalahan yang dapat ditoleransi dari sistem, yaitu $\pm 10\%$. Oleh karena itu, alat ini

disarankan untuk digunakan pada frekuensi *envelope* ≤ 5 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 10 kHz, pada frekuensi *envelope* ≤ 5 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 20 kHz, pada frekuensi *envelope* $\leq 7,5$ kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 30 kHz, pada frekuensi *envelope* ≤ 10 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 40kHz, dan jika pada frekuensi termodulasi 5 kHz dapat digunakan semua frekuensi *envelope*.

5.2. Pengujian Rangkaian *Driver*

Pengujian rangkaian *driver* dilakukan terhadap 2 macam rangkaian *driver*, yaitu *driver* optik dan *driver switching*.

5.2.1. Tujuan

Pengujian rangkaian *driver* optik bertujuan untuk memastikan rangkaian tersebut berjalan sesuai dengan sinyal masukan dari Arduino Uno R3. Pengujian rangkaian *driver switching* untuk mengetahui rangkaian dapat memberikan sinyal pulsa *train* pada *gate* MOSFET *high output*.

Rangkaian *driver* bisa dikatakan baik jika bentuk sinyal pulsa *train* antara keluaran Arduino Uno R3 yang berbanding terbalik dengan keluaran *driver* optik dan bentuk sinyal keluaran *driver* optik sama dengan keluaran rangkaian *driver switching* pada *gate* MOSFET *high output*.

5.2.2. Peralatan

Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Adaptor USB
2. Rangkaian Pemicuan
3. *Optocoupler* PC817
4. IC IR2110
5. Sumber tegangan DC 5V dan 12V
6. Osiloskop Siglent SDS 1022 DL

5.2.3. Prosedur Pengujian

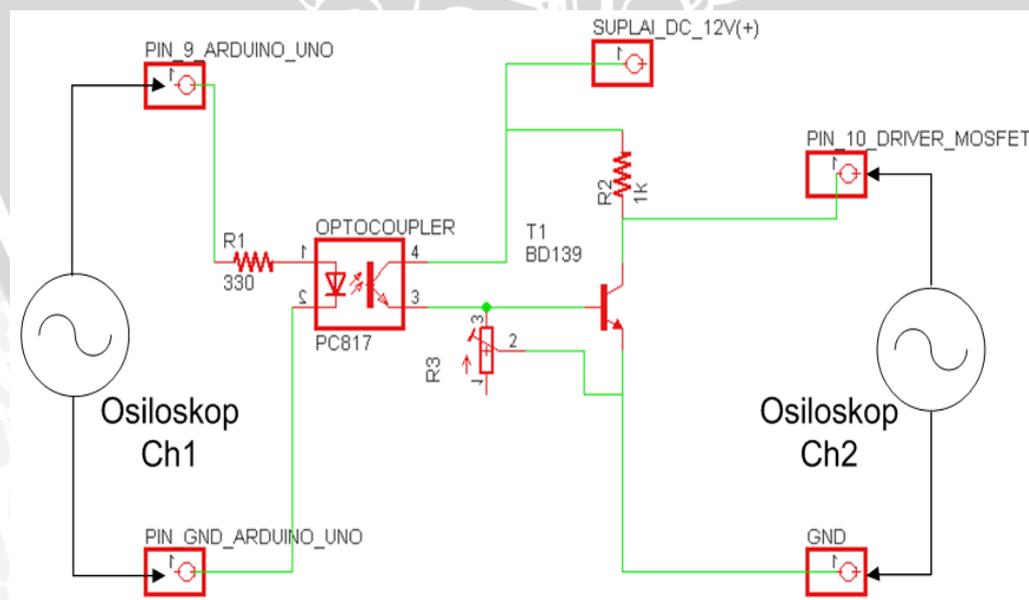
Prosedur pengujian rangkaian *driver* optik sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian seperti pada Gambar 5.15.

2. Menghubungkan keluaran rangkaian pemucuan (Pin 9 arduino dan GDN) pada masukan rangkaian *driver* optik seperti pada Gambar 5.15.
3. Menghubungkan sumber DC 12V seperti pada rangkaian Gambar 5.15.
4. Menghubungkan *probe channel* 1 osiloskop pada masukan *driver* optik dan *probe channel* 2 osiloskop pada keluaran rangkaian *driver* optik seperti Gambar 5.15.

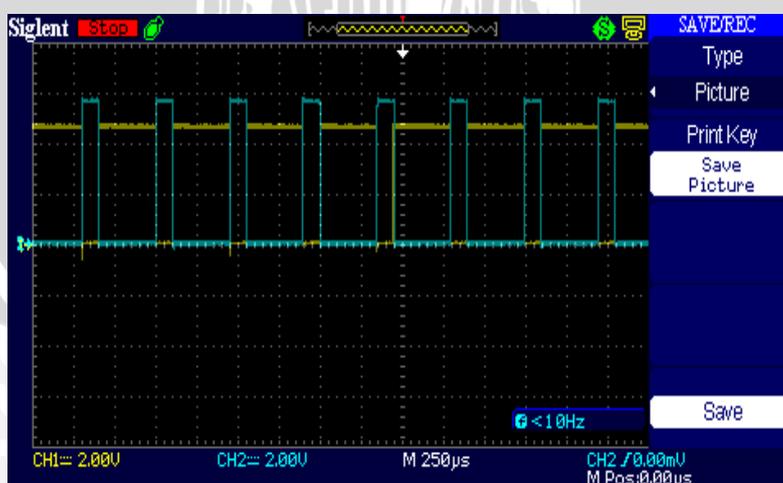
Prosedur pengujian rangkaian *driver switching* sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian seperti Gambar 5.16.
2. Menghubungkan keluaran *driver* optik pada masukan *driver* MOSFET IC IR2110 (pin 10 dan GND) seperti Gambar 5.16.
3. Menghubungkan sumber DC 5V dan 12V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.16.
4. Menghubungkan *probe channel* 1 osiloskop pada masukan *driver switching* (pin 10 dan GND) dan *probe channel* 2 osiloskop pada saluran masukan *gate* MOSFET *high output* (pin 7 dan GND) seperti pada Gambar 5.16.

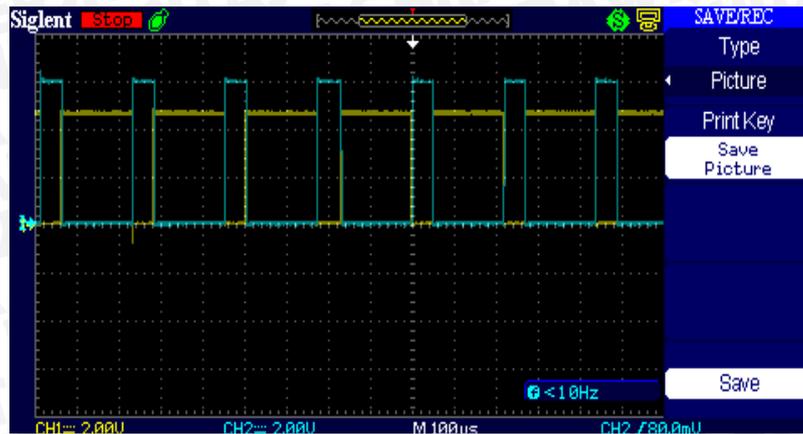


Gambar 5.15 Pengujian Rangkaian *Driver* Optik
Sumber: Penulis, 2015

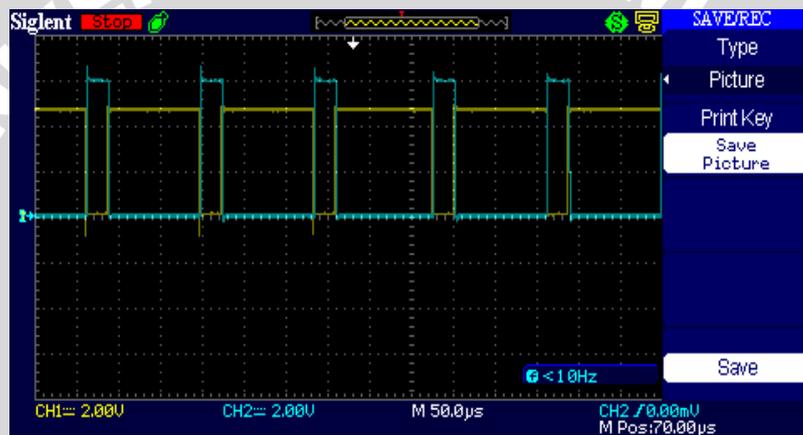
7.	10 kHz	3	3	1,74	25,53	1,74	25,53	0	0
8	10 kHz	4	4	1,31	26,9	1,31	26,9	0	0
9	20 kHz	1	1	7,35	19,15	7,35	19,15	0	0
10	20 kHz	2	2	4,55	21,28	4,55	21,28	0	0
11	20 kHz	3	3	3,25	22,65	3,25	22,65	0	0
12	20 kHz	4	4	2,49	24,55	2,49	24,55	0	0
13	30 kHz	1	1	9,9	8,92	9,9	8,92	0	0
14	30 kHz	2	2	6,76	20,23	6,76	20,23	0	0
15	30 kHz	3	3	4,85	25,31	4,85	25,31	0	0
16	30 kHz	4	4	3,83	27,23	3,83	27,23	0	0
17	40 kHz	1	1	11,24	16,82	11,24	16,82	0	0
18	40 khz	2	2	9,012	17,99	9,012	17,99	0	0
19	40 kHz	3	3	6,1	21,92	6,1	21,92	0	0
20	40 kHz	4	4	4,9	24,54	4,9	24,54	0	0



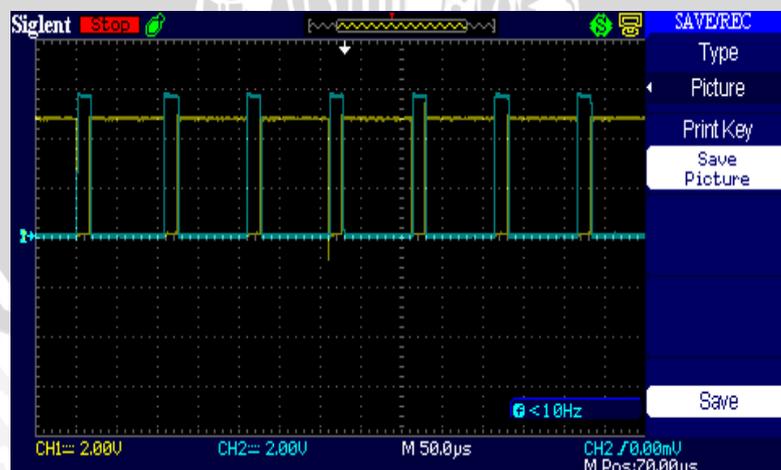
Gambar 5.17 Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan *Driver* Optik pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi *Envelope* 2,5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.18 Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan *Driver* Optik pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi Envelope 5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015

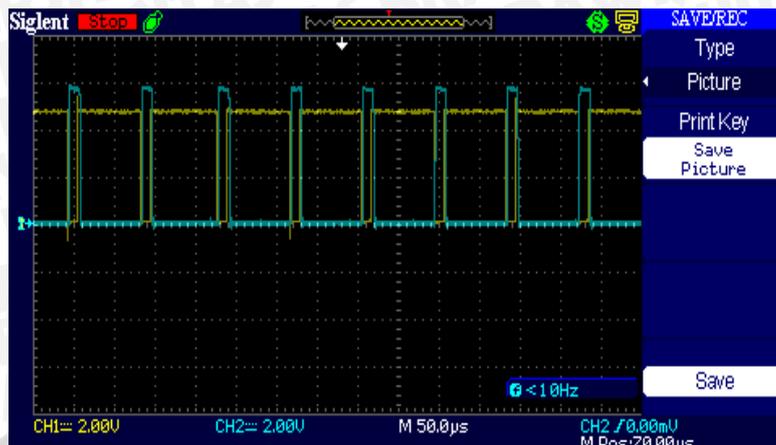


Gambar 5.19 Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan *Driver* Optik pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz dan Frekuensi *Envelope* 10 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.20 Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan *Driver* Optik pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz dan Frekuensi *Envelope* 15 kHz
 Sumber: Penulis, 2015





Gambar 5.21 Perbandingan Keluaran Arduino Uno R3 dan *Driver* Optik pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz dan Frekuensi *Envelope* 20 kHz
 Sumber: Penulis, 2015

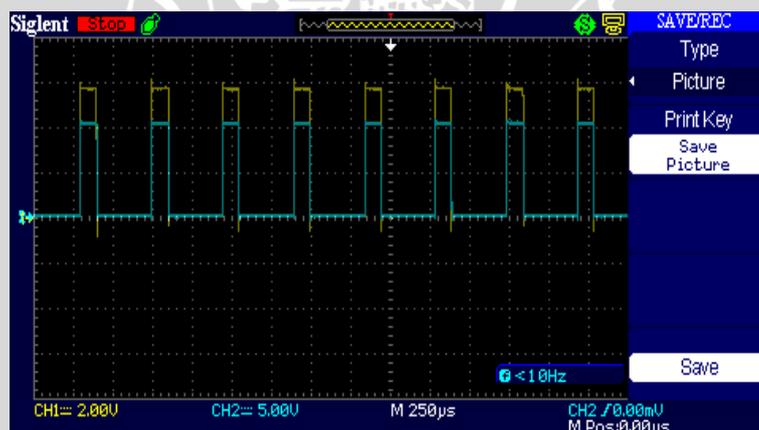
Berdasarkan hasil pengujian, keluaran rangkaian *driver* optik berbanding terbalik terhadap keluaran sinyal referensi dari Arduino Uno dan memiliki nilai frekuensi dan *duty cycle* yang sama seperti pada Gambar 5.17, Gambar 5.18, Gambar 5.19, Gambar 5.20, dan Gambar 5.21. Data dari Tabel 5.3 menunjukkan bahwa besar kesalahan pada rangkaian ini adalah 0%. Berdasarkan hasil pengujian, maka rangkaian *driver* optik bekerja dengan baik dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

Sinyal tegangan keluaran dari *driver switching* dapat dilihat pada Tabel 5.4. Contoh sinyal tegangan keluaran dari *driver switching* dapat dilihat pada Gambar 5.22, Gambar 5.23, Gambar 5.24, Gambar 5.25, dan Gambar 5.26.

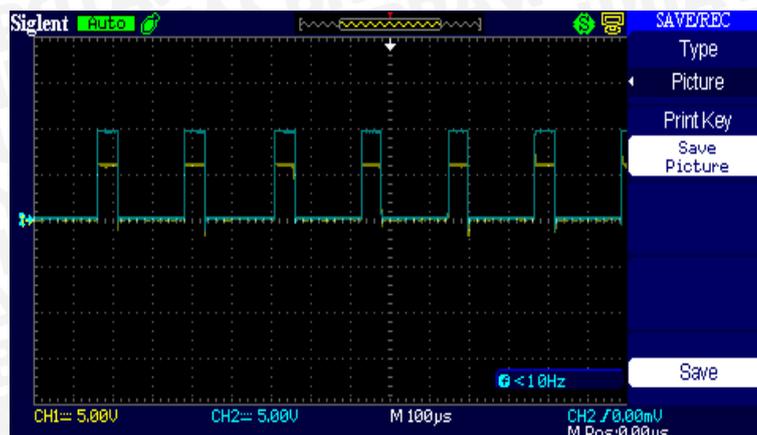
Tabel 5.4 Data Keluaran *Driver Switching*

No	Frekuensi Termodulasi	Keluaran Serial Monitor		Driver Optik		Driver Switching		Kesalahan (%)	
				f (kHz)	Duty Cycle	f (kHz)	Duty Cycle (D)	f	Duty cycle
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.	5 kHz	1	1	2,27	22,73	2,27	22,73	0	0
3.	5 kHz	2	2	1,18	23,81	1,18	23,81	0	0
4.	5 kHz	3	3	0,806	24,19	0,806	24,19	0	0
5.	10 kHz	1	1	4,46	21,5	4,46	21,5	0	0
6.	10 kHz	2	2	2,5	24,5	2,5	24,5	0	0
7.	10 kHz	3	3	1,74	25,53	1,74	25,53	0	0

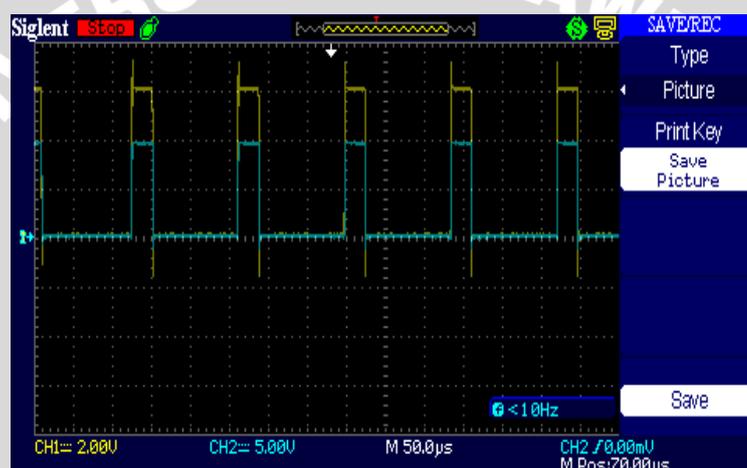
8	10 kHz	4	4	1,31	26,9	1,31	26,9	0	0
9	20 kHz	1	1	7,35	19,15	7,35	19,15	0	0
10	20 kHz	2	2	4,55	21,28	4,55	21,28	0	0
11	20 kHz	3	3	3,25	22,65	3,25	22,65	0	0
12	20 kHz	4	4	2,49	24,55	2,49	24,55	0	0
13	30 kHz	1	1	9,9	8,92	9,9	8,92	0	0
14	30 kHz	2	2	6,76	20,23	6,76	20,23	0	0
15	30 kHz	3	3	4,85	25,31	4,85	25,31	0	0
16	30 kHz	4	4	3,83	27,23	3,83	27,23	0	0
17	40 kHz	1	1	11,24	16,82	11,24	16,82	0	0
18	40 khz	2	2	9,012	17,99	9,012	17,99	0	0
19	40 kHz	3	3	6,1	21,92	6,1	21,92	0	0
20	40 kHz	4	4	4,9	24,54	4,9	24,54	0	0



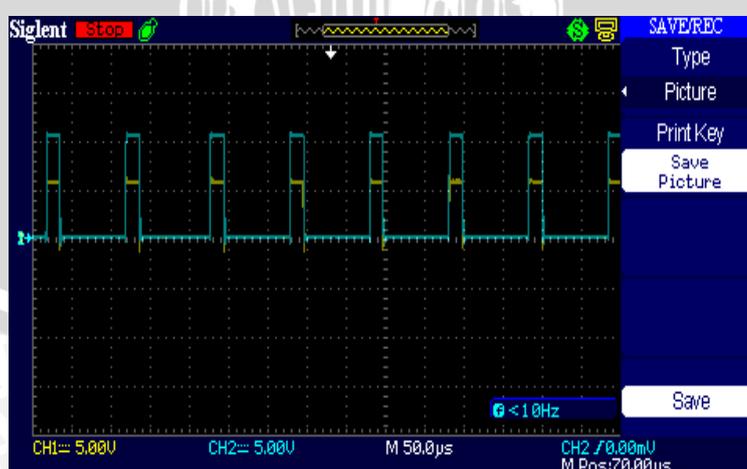
Gambar 5.22 Perbandingan Keluaran *Driver* Optik dan *Driver* Switching pada Frekuensi Termulasi 5 kHz dan Frekuensi *Envelope* 2,5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



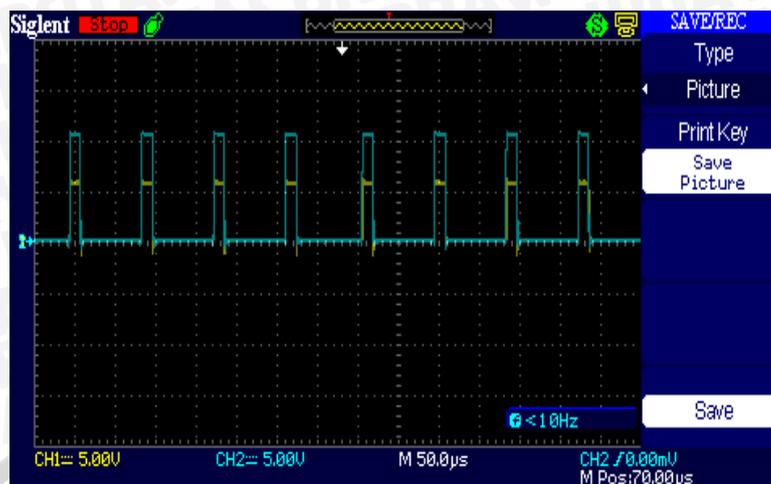
Gambar 5.23 Perbandingan Keluaran *Driver Optik* dan *Driver Switching* pada Frekuensi Termodulasi 10 kHz dan Frekuensi *Envelope* 5 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.24 Perbandingan Keluaran *Driver Optik* dan *Driver Switching* pada Frekuensi Termodulasi 20 kHz dan Frekuensi *Envelope* 10 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.25 Perbandingan Keluaran *Driver Optik* dan *Driver Switching* pada Frekuensi Termodulasi 30 kHz dan Frekuensi *Envelope* 15 kHz
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.26 Perbandingan Keluaran *Driver* Optik dan *Driver Switching* pada Frekuensi Termodulasi 40 kHz dan Frekuensi *Envelope* 20 kHz
Sumber: Penulis, 2015

Berdasarkan hasil pengujian, keluaran pada rangkaian *driver switching* telah bekerja dengan baik sesuai perancangan. Keluaran sinyal tegangan pulsa *train* pada *gate* MOSFET *high output* memiliki bentuk yang sesuai dengan keluaran sinyal tegangan pulsa *train* dari rangkaian *driver* optik, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.22, Gambar 5.23, Gambar 5.24, Gambar 5.25, dan Gambar 5.26. Berdasarkan Tabel 5.4 bahwa besar kesalahan pada rangkaian ini adalah 0%. Berdasarkan hasil pengujian, maka rangkaian *driver switching* bekerja dengan baik dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

5.3. Pengujian MOSFET Daya

5.3.1. Tujuan

Tujuan pengujian MOSFET daya adalah untuk mengetahui apakah hasil sinyal referensi dari *driver switching* dapat memicu *gate* dari MOSFET.

5.3.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

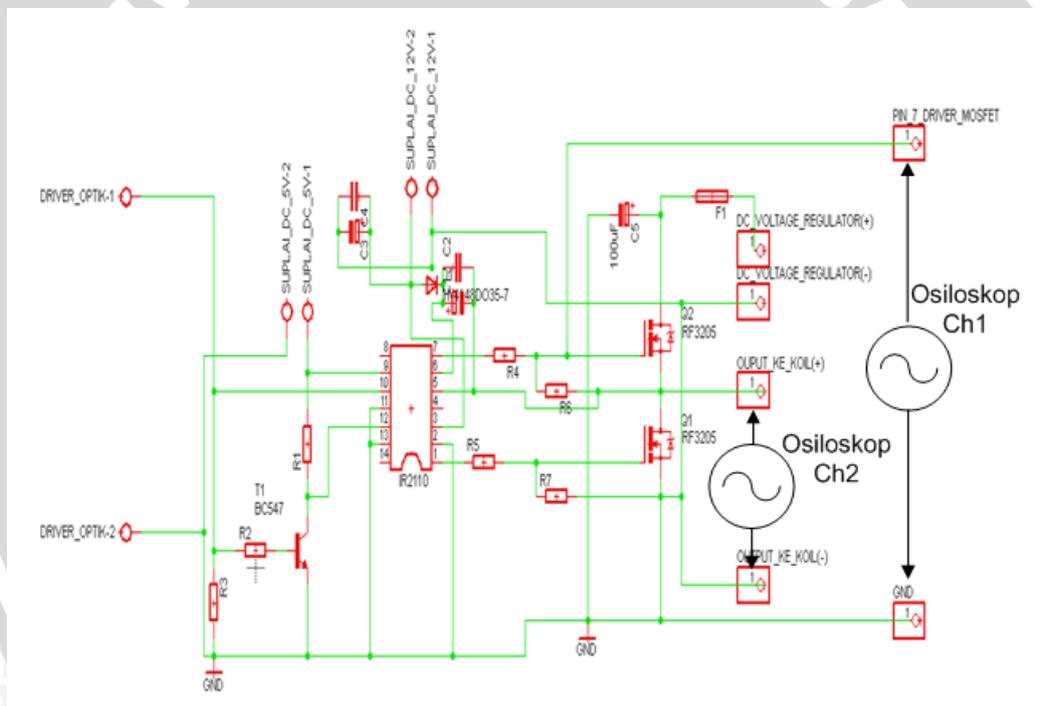
1. Adaptor USB
2. Sumber tegangan DC 5V dan 12V
3. *DC Voltage Regulator*
4. Rangkaian Pemicuan
5. Rangkaian *Driver*
6. MOSFET IRF3205

7. Osiloskop Siglent SDS 1022 DL

5.3.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian MOSFET Daya sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian seperti Gambar 5.27.
2. Menghubungkan sumber DC 5V, 12V, dan DC *voltage regulator* sesuai dengan Gambar 5.27.
3. Memasang *probe channel 1* osiloskop pada saluran *gate* MOSFET *high output* dan memasang *probe channel 2* osiloskop pada saluran *source* MOSFET *high output*.



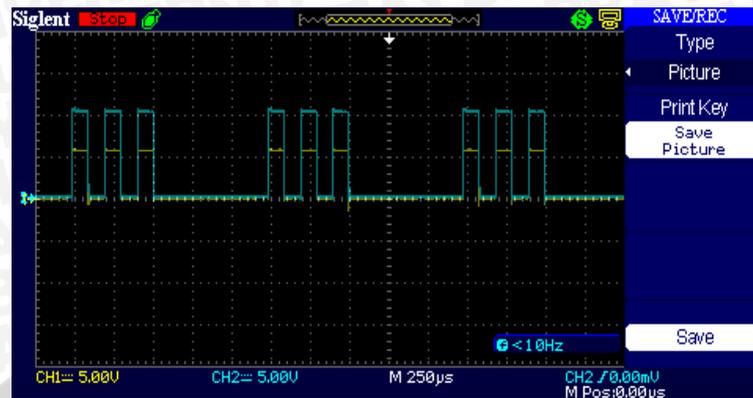
Gambar 5.27 Rangkaian Pengujian MOSFET Daya
Sumber: Penulis, 2015

5.3.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Keluaran dari MOSFET Daya dapat dilihat pada Tabel 5.5. Contoh bentuk keluaran sinyal tegangan pulsa *train* dari MOSFET dapat dilihat Gambar 5.28.

Tabel 5.5 Data Keluaran MOSFET Daya

No	Frekuensi Termodulasi	Keluaran Serial Monitor		Driver Switching		MOSFET Daya		Kesalahan (%)	
				f (kHz)	Duty Cycle	f (kHz)	Duty Cycle (D)	f	Duty cycle
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.	5 kHz	1	1	2,27	22,73	2,27	22,73	0	0
3.	5 kHz	2	2	1,18	23,81	1,18	23,81	0	0
4.	5 kHz	3	3	0,806	24,19	0,806	24,19	0	0
5.	10 kHz	1	1	4,46	21,5	4,46	21,5	0	0
6.	10 kHz	2	2	2,5	24,5	2,5	24,5	0	0
7.	10 kHz	3	3	1,74	25,53	1,74	25,53	0	0
8	10 kHz	4	4	1,31	26,9	1,31	26,9	0	0
9	20 kHz	1	1	7,35	19,15	7,35	19,15	0	0
10	20 kHz	2	2	4,55	21,28	4,55	21,28	0	0
11	20 kHz	3	3	3,25	22,65	3,25	22,65	0	0
12	20 kHz	4	4	2,49	24,55	2,49	24,55	0	0
13	30 kHz	1	1	9,9	8,92	9,9	8,92	0	0
14	30 kHz	2	2	6,76	20,23	6,76	20,23	0	0
15	30 kHz	3	3	4,85	25,31	4,85	25,31	0	0
16	30 kHz	4	4	3,83	27,23	3,83	27,23	0	0
17	40 kHz	1	1	11,24	16,82	11,24	16,82	0	0
18	40 khz	2	2	9,012	17,99	9,012	17,99	0	0
19	40 kHz	3	3	6,1	21,92	6,1	21,92	0	0
20	40 kHz	4	4	4,9	24,54	4,9	24,54	0	0



Gambar 5.28 Perbandingan Keluaran Rangkaian *Driver* dan MOSFET Daya pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi *Envelope* 8,3 kHz
Sumber: Penulis, 2015

Berdasarkan hasil pengujian, keluaran sinyal tegangan pulsa *train* pada MOSFET telah sesuai dengan bentuk keluaran sinyal tegangan pulsa *train* dari rangkaian *driver* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.28. Berdasarkan Tabel 5.5, besar kesalahan pada rangkaian ini adalah 0%. Berdasarkan hasil pengujian, maka MOSFET daya bekerja dengan baik dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

5.4. Pengujian Non-Induktif Koil

5.4.1. Tujuan

Tujuan pengujian non-induktif koil adalah untuk mengetahui apakah hasil sinyal keluaran yang telah dilewatkan pada non-induktif koil memiliki bentuk yang sama dengan sinyal yang dikeluarkan oleh MOSFET.

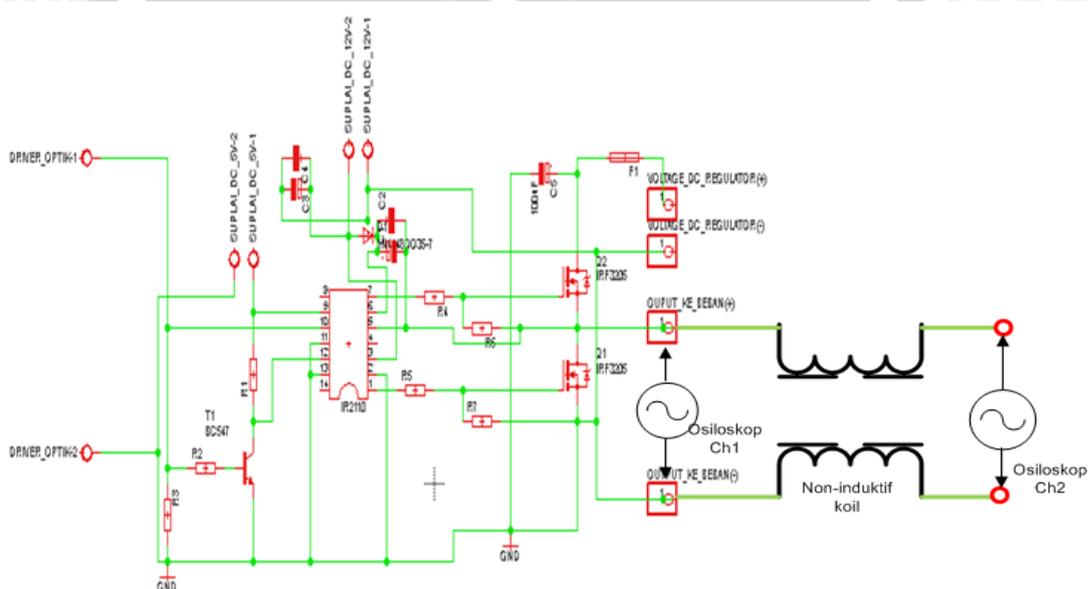
5.4.2. Peralatan

1. Adaptor USB
2. Sumber tegangan DC 5V dan 12V
3. DC *Voltage Regulator* DF1730SB5A
4. Rangkaian Pemicuan
5. Rangkaian *Driver*
6. MOSFET IRF3205
7. Non-induktif Koil
8. Osiloskop SDS 1022 DL

5.4.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian non-induktif koil sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian seperti Gambar 5.29.
2. Menghubungkan sumber DC 5V, 12V, dan DC Voltage Regulator seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.29.
3. Memasang *probe channel 1* osiloskop pada saluran *source* MOSFET *high output* dan memasang *probe channel 2* osiloskop pada keluaran non-induktif koil seperti yang ditampilkan Gambar 5.29.



Gambar 5.29 Gambar Rangkaian Pengujian Non-Induktif Koil
Sumber: Penulis, 2015

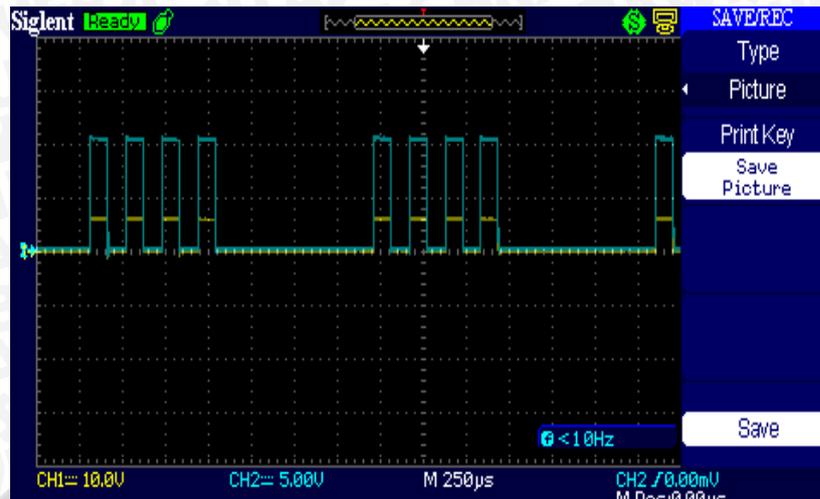
5.4.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Keluaran dari non-induktif koil dapat dilihat pada Tabel 5.6. Contoh bentuk keluaran sinyal tegangan pulsa *train* dari non-induktif koil dapat dilihat Gambar 5.30.

Tabel 5.6. Data Keluaran Non-Induktif Koil

No	Frekuensi Termodulasi	Keluaran Serial Monitor		MOSFET Daya		Non-Induktif Koil		Kesalahan (%)	
				f (kHz)	Duty Cycle	f (kHz)	Duty Cycle (D)	f	Duty cycle
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.	5 kHz	1	1	2,27	22,73	2,27	22,73	0	0

3.	5 kHz	2	2	1,18	23,81	1,18	23,81	0	0
4.	5 kHz	3	3	0,806	24,19	0,806	24,19	0	0
5.	10 kHz	1	1	4,46	21,5	4,46	21,5	0	0
6.	10 kHz	2	2	2,5	24,5	2,5	24,5	0	0
7.	10 kHz	3	3	1,74	25,53	1,74	25,53	0	0
8.	10 kHz	4	4	1,31	26,9	1,31	26,9	0	0
9.	20 kHz	1	1	7,35	19,15	7,35	19,15	0	0
10.	20 kHz	2	2	4,55	21,28	4,55	21,28	0	0
11.	20 kHz	3	3	3,25	22,65	3,25	22,65	0	0
12.	20 kHz	4	4	2,49	24,55	2,49	24,55	0	0
13.	30 kHz	1	1	9,9	8,92	9,9	8,92	0	0
14.	30 kHz	2	2	6,76	20,23	6,76	20,23	0	0
15.	30 kHz	3	3	4,85	25,31	4,85	25,31	0	0
16.	30 kHz	4	4	3,83	27,23	3,83	27,23	0	0
17.	40 kHz	1	1	11,24	16,82	11,24	16,82	0	0
18.	40 khz	2	2	9,012	17,99	9,012	17,99	0	0
19.	40 kHz	3	3	6,1	21,92	6,1	21,92	0	0
20.	40 kHz	4	4	4,9	24,54	4,9	24,54	0	0



Gambar 5.30 Perbandingan Keluaran MOSFET Daya dan Non-Induktif Koil pada Frekuensi Termodulasi 5 kHz dan Frekuensi *Envelope* 8,3 kHz
Sumber: Penulis, 2015

Berdasarkan hasil pengujian, keluaran sinyal tegangan pulsa *train* pada non-induktif koil telah sesuai dengan bentuk keluaran sinyal tegangan pulsa *train* dari MOSFET seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.30. Berdasarkan Tabel 5.6, besar kesalahan pada rangkaian ini adalah 0%. Berdasarkan hasil pengujian, maka non-induktif koil dapat menghantarkan sinyal pulsa *train* dengan baik dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

5.5. Pengujian Generator Gas *Hydroxy*

Pengujian generator gas *hydroxy* merupakan pengujian keseluruhan sistem setelah pengujian dari setiap blok rangkaian telah berhasil dilakukan. Pengujian ini menggunakan generator gas *hydroxy* yang terbuat dari elektroda berbahan *stainless steel* 304L dengan bentuk seperti yang telah dirancang sebelumnya. Bahan dielektrik yang digunakan, yaitu cairan aquades sebanyak 10 liter. Generator gas *hydroxy* mendapatkan sumber energi listrik yang berasal dari keluaran rangkaian elektronik yang mentransformasi sinyal listrik dc murni menjadi sinyal listrik dc berbentuk pulsa *train* yang memiliki nilai frekuensi tertentu. Sumber energi listrik ini sebelumnya dilewatkan pada lilitan non-induktif koil yang terhubung seri dan kemudian menuju generator gas *hydroxy* yang digunakan sebagai sumber energi elektrolisis, yaitu memecah cairan aquades menjadi gas *hydroxy*.

Dalam proses pengujian dilakukan penetapan variasi arus keluaran dari kotak elektronik sebesar 0,5 A, 1 A, 1,5A, 2 A, 2,5 A, dan 3 A. Sesuai dengan hukum

faraday, penetapan variasi arus keluaran ini bertujuan untuk menghasilkan jumlah gas *hydroxy* yang sama pada satu nilai frekuensi tertentu. Jumlah lilitan non-induktif koil juga divariasikan, yaitu 0 lilitan (tanpa non-induktif koil), 20 lilitan, 40 lilitan, 60 lilitan, 80 lilitan, dan 100 lilitan. Pulsa *train* yang digunakan dalam pengujian memiliki nilai frekuensi tertentu dengan variasi nilai sebesar 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz.

5.5.1. Tujuan

Beberapa tujuan dari hasil pengujian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh arus masukan terhadap produksi volume gas *hydroxy*
2. Menganalisis perbandingan besar arus masukan dari sumber listrik terhadap perubahan jumlah lilitan non-induktif koil pada nilai volume gas tertentu.
3. Menganalisis efisiensi energi yang dihasilkan dari generator gas *hydroxy* terhadap perubahan jumlah lilitan non-induktif koil pada nilai volume gas tertentu.
4. Menganalisis efisiensi energi yang dihasilkan dari generator gas *hydroxy* terhadap perubahan nilai frekuensi pulsa *train*.

5.5.2. Peralatan

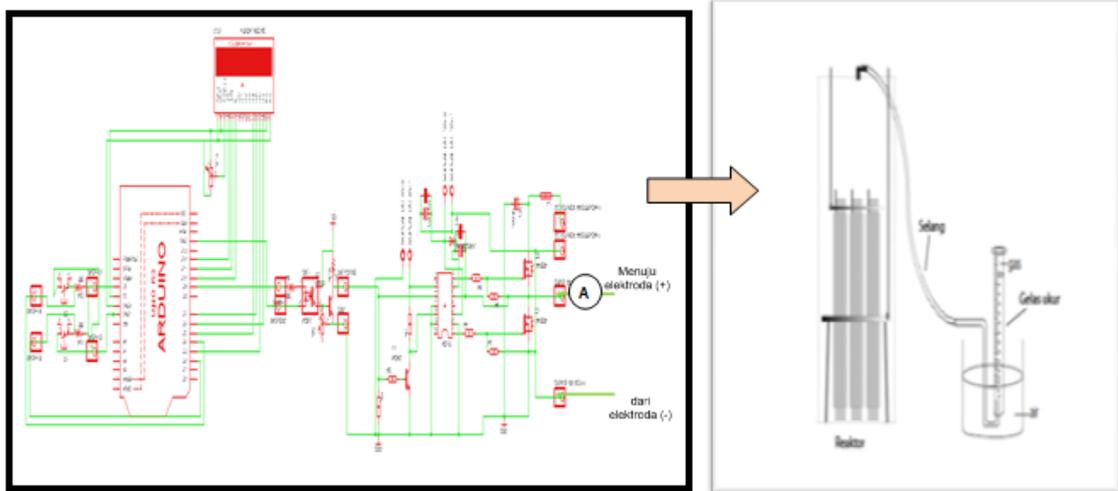
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Adaptor USB
2. Sumber DC 5V dan 12V
3. DC *voltage regulator digital* DF1730SB5A
4. Kotak elektronik, yang terdiri dari rangkaian pemicuan, rangkaian *driver* dan MOSFET daya.
5. Non-induktif koil
6. Generator gas *hydroxy*
7. Gelas ukur dan wadah air
8. Amperemeter DC
9. *Stopwatch*

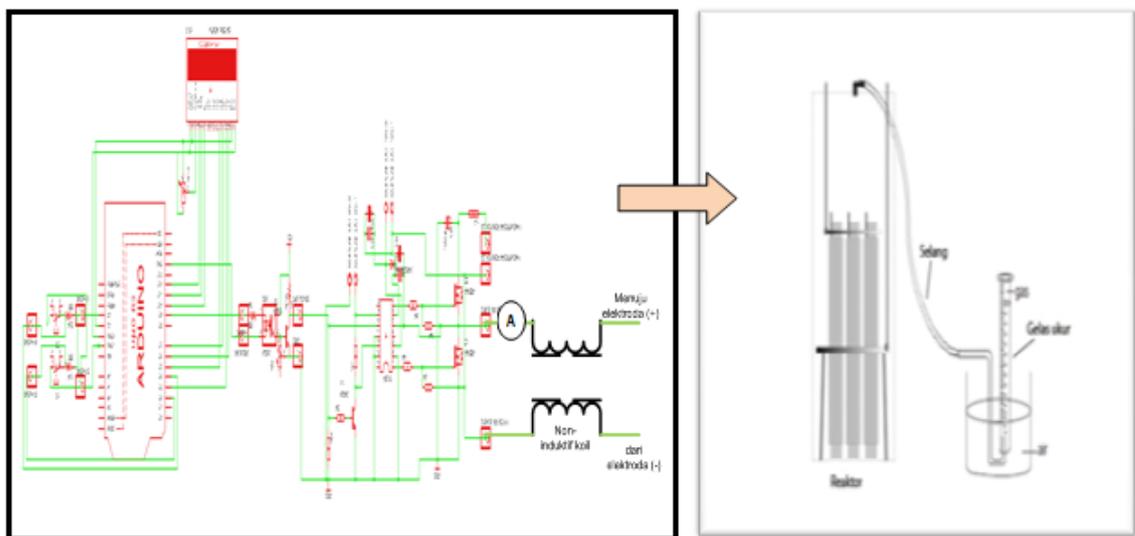
5.5.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada pengujian ini adalah:

1. Unggah program arduino uno R3 untuk pulsa *train* frekuensi termodulasi 5 kHz.
2. Hubungkan rangkaian seperti gambar 5.31 (rangkaiannya pemucuan, rangkaian driver dan MOSFET daya, dan generator gas *hydroxy*).
3. Hubungkan adaptor USB, sumber DC 5V dan 12V, dan DC *Voltage Regulator* pada rangkaian pada gambar 5.31.
4. Atur besar arus keluaran dari rangkaian elektronik yang terbaca amperemeter DC menggunakan DC voltage regulator sesuai dengan variasi nilai yang telah ditetapkan, yaitu 0,5 A, 1 A, 1,5A, 2 A, 2,5 A, dan 3 A. Untuk setiap variasi nilai arus yang ditetapkan, ukur dan catat jumlah volume gas yang dihasilkan dengan gelas ukur selama 1 menit. Catat juga nilai arus masukan dan tegangan masukan yang terukur oleh amperemeter dan voltmeter pada layar digital di DC voltage regulator.
5. Tambahkan komponen non-induktif koil seperti yang terlihat pada gambar 5.32. Lakukan kembali prosedur pengujian nomor 3 dan 4 untuk setiap variasi nilai lilitan non-induktif koil (20 lilitan, 40 lilitan, 60 lilitan, 80 lilitan, dan 100 lilitan).
6. Ulangi prosedur pengujian nomor 1 – 5 dengan mengunggah program arduino uno R3 untuk variasi nilai frekuensi termodulasi pulsa *train* lainnya, yaitu 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz.
7. Setelah data arus masukan, tegangan masukan, dan volume gas sudah diperoleh, hitung volume dari gas hidrogen dan oksigen dengan menggunakan perbandingan stokiometri 2:1 terhadap volume gas total.
8. Hitung mol O₂ dan H₂ berdasarkan Persamaan (2.9) dan Persamaan (2.10).
9. Hitung energi *output* dan energi *input* dari sistem berdasarkan Persamaan (2.11) dan Persamaan (2.12).
10. Hitung efisiensi energi dari sistem dengan menggunakan Persamaan (2.13).



Gambar 5.31 Rangkaian Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Tanpa Non-Induktif Koil
Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.32 Rangkaian Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Menggunakan Non-Induktif Koil
Sumber: Penulis, 2015

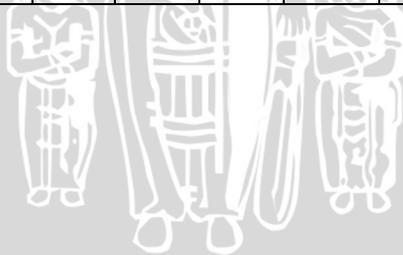
5.5.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Data pengujian generator gas *hydroxy* selama waktu 1 menit tanpa menggunakan non-induktif koil dan dengan menggunakan variasi lilitan non-induktif koil pada nilai frekuensi termodulasi pulsa *train* 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz dapat dilihat pada Tabel 5.7, Tabel 5.8, Tabel 5.9, Tabel 5.10, dan Tabel 5.11.

Tabel 5.7 Data Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 5 kHz, Frekuensi *Envelope* 1 kHz, *Duty Cycle* 40%.

No	Jumlah Lilitan	Arus Keluaran (A)	Volume Gas (ml)	Arus Masukan (A)				Tegangan Masukan (V)			
				I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata-Rata
1	0	0,5	4	1,4	1,3	1,36	1,353	9,3	9	9,4	9,233
2		1	11	1,8	1,73	1,7	1,743	11,9	11,9	12	11,933
3		1,5	18	2,2	2,06	2,11	2,123	13,9	13,5	14,7	14,033
4		2	25	2,52	2,34	2,7	2,520	15,5	15,4	17,2	16,033
5		2,5	32	3	2,85	2,88	2,910	18	17,9	18,1	18,000
6		3	39	3,44	3,45	3,42	3,437	21,2	20,4	21,4	21,000
7	20	0,5	4	1,28	1,21	1,15	1,213	9,5	9,1	9	9,200
8		1	11	1,7	1,7	1,6	1,667	12,5	12,2	12,4	12,367
9		1,5	18	2	1,91	1,9	1,937	14,7	14,1	14,3	14,367
10		2	25	2,3	2,16	2,18	2,213	16,9	15,9	17,1	16,633
11		2,5	32	2,71	2,74	2,73	2,727	19,1	19,5	19,2	19,267
12		3	39	3,12	3,16	3,14	3,140	22,9	22	22,4	22,433
13	40	0,5	4	1,22	1,17	1,16	1,183	9,5	8,9	9	9,133
14		1	11	1,6	1,55	1,56	1,570	12,5	11,9	12,6	12,333
15		1,5	18	1,93	1,88	1,88	1,897	14,9	13,9	14,6	14,467
16		2	25	2,25	2,13	2,2	2,193	17,2	16,2	17,2	16,867
17		2,5	32	2,64	2,62	2,61	2,623	19,7	19,4	19,7	19,600
18		3	39	3,07	3,07	3,03	3,057	23	21,9	22,7	22,533
19	60	0,5	4	1,19	1,18	1,13	1,167	9,3	9	9,2	9,167
20		1	11	1,57	1,52	1,49	1,527	13	12,1	12,5	12,533
21		1,5	18	1,89	1,81	1,8	1,833	15	14,4	14,7	14,700

22		2	25	2,2	2,12	2,14	2,153	17,5	16,5	17,2	17,067
23		2,5	32	2,57	2,59	2,6	2,587	19,9	19,5	20	19,800
24		3	39	3,04	3,02	3,01	3,023	23,3	22,4	22,5	22,733
25		0,5	4	1,15	1,16	1,13	1,147	9,6	9,1	8,9	9,200
26		1	11	1,47	1,47	1,47	1,470	12,7	12,3	12,4	12,467
27	80	1,5	18	1,8	1,78	1,81	1,797	15,1	15,1	15	15,067
28		2	25	2,16	2,09	2,09	2,113	17,7	16,9	16,8	17,133
29		2,5	32	2,53	2,52	2,49	2,513	20	20	20	20,000
30		3	39	3,01	3,04	2,93	2,993	23,1	23	22,9	23,000
31	100	0,5	4	1,07	1,11	1,12	1,100	9,3	9,4	9,2	9,300
32		1	11	1,44	1,46	1,44	1,447	12,5	12,1	12,2	12,267
33		1,5	18	1,78	1,77	1,78	1,777	15,3	15,1	14,9	15,100
34		2	25	2,08	2,05	2,06	2,063	17,2	17	16,8	17,000
35		2,5	32	2,52	2,51	2,5	2,510	20,2	20,5	20,1	20,267
36		3	39	2,98	3,01	3	2,997	23,1	23,3	23	23,133



Tabel 5.8 Data Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 10 kHz, Frekuensi *Envelope* 2 kHz, *Duty Cycle* 40%.

No	Jumlah Lilitan	Arus Keluaran (A)	Volume Gas (ml)	Arus Masukan (A)				Tegangan Masukan (V)			
				I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata-Rata
1	0	0,5	4	1,35	1,34	1,33	1,340	9,3	9,4	9,3	9,333
2		1	11	1,66	1,64	1,67	1,657	12	12,1	12	12,033
3		1,5	18	2,08	2,06	2,09	2,077	14,2	14,1	14,2	14,167
4		2	25	2,34	2,37	2,42	2,377	16,2	16,4	16,6	16,400
5		2,5	32	2,59	2,67	2,74	2,667	18,3	18,5	18,2	18,333
6		3	39	3,08	3,09	3,1	3,090	21	21,3	21,4	21,233
7	20	0,5	4	1,22	1,2	1,19	1,203	9,5	9,7	9,8	9,667
8		1	11	1,61	1,6	1,62	1,610	12	12,1	12,3	12,133
9		1,5	18	1,9	1,93	1,92	1,917	14,4	14,4	14,5	14,433
10		2	25	2,18	2,2	2,24	2,207	16,7	16,9	16,6	16,733
11		2,5	32	2,63	2,6	2,64	2,623	19,3	19,5	19,5	19,433
12		3	39	2,99	2,9	2,91	2,933	21	22,7	22,9	22,200
13	40	0,5	4	1,16	1,18	1,19	1,177	10	10	10,1	10,033
14		1	11	1,58	1,57	1,53	1,560	12	13	13,1	12,700
15		1,5	18	1,89	1,87	1,9	1,887	14,5	14,6	14,6	14,567
16		2	25	2,14	2,18	2,2	2,173	17,2	17,1	17	17,100
17		2,5	32	2,51	2,56	2,53	2,533	19,7	19,5	19,6	19,600
18		3	39	2,89	2,88	2,87	2,880	22,7	22,5	22,5	22,567
19	60	0,5	4	1,16	1,12	1,14	1,140	10,2	10,1	10,2	10,167
20		1	11	1,5	1,53	1,51	1,513	12,9	12,7	13	12,867
21		1,5	18	1,82	1,8	1,84	1,820	15	14,9	15	14,967

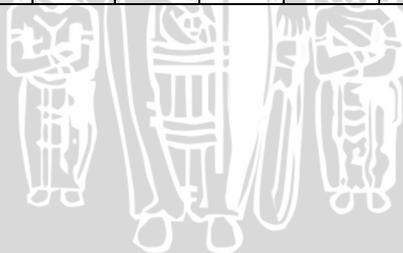
22		2	25	2,18	2,13	2,17	2,160	17,8	17,9	17,7	17,800
23		2,5	32	2,56	2,52	2,5	2,527	19,9	20	19,9	19,933
24		3	39	2,76	2,84	2,82	2,807	22,8	22,9	22,8	22,833
25		0,5	4	1,15	1,11	1,12	1,127	10,2	10,2	10,1	10,167
26		1	11	1,47	1,46	1,48	1,470	13	12,9	12,9	12,933
27		1,5	18	1,79	1,77	1,8	1,787	15,6	15,7	15,7	15,667
28	80	2	25	2,14	2,16	2,15	2,150	18,3	18,4	18,4	18,367
29		2,5	32	2,5	2,48	2,52	2,500	20,3	20,2	20,2	20,233
30		3	39	2,72	2,73	2,73	2,727	23	23,1	23,1	23,067
31		0,5	4	1,09	1,1	1,11	1,100	10,3	10,3	10,4	10,333
32		1	11	1,42	1,43	1,47	1,440	13	13,1	13,1	13,067
33		1,5	18	1,76	1,78	1,79	1,777	15,8	16	15,9	15,900
34	100	2	25	2,01	2	2,06	2,023	18,6	18,7	18,7	18,667
35		2,5	32	2,48	2,45	2,44	2,457	20,8	20,7	20,8	20,767
36		3	39	2,78	2,75	2,77	2,767	23,5	23,3	23,4	23,400



Tabel 5.9 Data Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 20 kHz, Frekuensi *Envelope* 4 kHz, *Duty Cycle* 40%.

No	Jumlah Lilitan	Arus Keluaran (A)	Volume Gas (ml)	Arus Masukan (A)				Tegangan Masukan (V)			
				I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata-Rata
1	0	0,5	4,5	1,3	1,29	1,29	1,293	9,4	9,4	9,4	9,400
2		1	11	1,64	1,63	1,62	1,630	12,4	12,3	12,2	12,300
3		1,5	18	1,94	1,93	1,97	1,947	14,6	14,5	14,4	14,500
4		2	25	2,26	2,24	2,25	2,250	17	17,1	17,2	17,100
5		2,5	32	2,53	2,61	2,6	2,580	19,2	19,5	19,1	19,267
6		3	39	2,87	2,85	2,86	2,860	22,3	22,4	22,1	22,267
7	20	0,5	4,5	1,15	1,14	1,16	1,150	9,7	9,7	9,7	9,700
8		1	11	1,52	1,52	1,53	1,523	12,3	12,3	12,4	12,333
9		1,5	18	1,87	1,88	1,89	1,880	14,9	15	15	14,967
10		2	25	2,18	2,2	2,19	2,190	17	17,1	17,1	17,067
11		2,5	32	2,51	2,5	2,52	2,510	19,9	19,9	20	19,933
12		3	39	2,74	2,77	2,79	2,767	22,5	22,6	22,7	22,600
13	40	0,5	4,5	1,13	1,14	1,14	1,137	10,2	10,2	10,2	10,200
14		1	11	1,51	1,53	1,5	1,513	13	13,1	13	13,033
15		1,5	18	1,86	1,84	1,85	1,850	15,5	15,5	15,4	15,467
16		2	25	2,2	2,21	2,19	2,200	18,3	18,1	18	18,133
17		2,5	32	2,52	2,51	2,5	2,510	20,4	20,5	20,5	20,467
18		3	39	2,68	2,7	2,69	2,690	23,2	23,2	23,4	23,267
19	60	0,5	4,5	1,14	1,13	1,12	1,130	10,3	10,5	10,4	10,400
20		1	11	1,51	1,5	1,5	1,503	13,1	13	13,1	13,067
21		1,5	18	1,82	1,83	1,81	1,820	15,7	15,5	15,7	15,633

22		2	25	2,16	2,18	2,17	2,170	18,4	18,3	18,5	18,400
23		2,5	32	2,51	2,48	2,51	2,500	20,9	21	21	20,967
24		3	39	2,64	2,66	2,65	2,650	23,5	23,6	23,6	23,567
25	80	0,5	4,5	1,1	1,11	1,11	1,107	10,4	10,4	10,4	10,400
26		1	11	1,48	1,47	1,47	1,473	13,3	13,4	13,3	13,333
27		1,5	18	1,8	1,81	1,8	1,803	16,2	16,3	16,4	16,300
28		2	25	2,13	2,15	2,14	2,140	18,7	18,9	18,9	18,833
29		2,5	32	2,51	2,48	2,49	2,493	21,5	21,5	21,4	21,467
30		3	39	2,64	2,62	2,63	2,630	23,9	24	24	23,967
31	100	0,5	4,5	1,08	1,09	1,07	1,080	10,4	10,4	10,3	10,367
32		1	11	1,43	1,45	1,44	1,440	13,5	13,4	13,5	13,467
33		1,5	18	1,8	1,79	1,81	1,800	16,4	16,5	16,3	16,400
34		2	25	2,12	2,14	2,13	2,130	19,2	19,4	19,1	19,233
35		2,5	32	2,48	2,47	2,49	2,480	22,5	22,4	22,6	22,500
36		3	39	2,62	2,61	2,63	2,620	24	24,2	23,8	24,000



Tabel 5.10 Data Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 30 kHz, Frekuensi *Envelope* 6 kHz, *Duty Cycle* 40%.

No	Jumlah Lilitan	Arus Keluaran (A)	Volume Gas (ml)	Arus Masukan (A)				Tegangan Masukan (V)			
				I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata-Rata
1	0	0,5	5	1,21	1,22	1,2	1,210	10,7	10,9	10,7	10,767
2		1	12	1,55	1,54	1,56	1,550	13,3	13,2	13,3	13,267
3		1,5	18	1,9	1,92	1,91	1,910	15,9	16	16	15,967
4		2	25,5	2,2	2,21	2,18	2,197	18,5	18,4	18,3	18,400
5		2,5	33	2,54	2,53	2,56	2,543	21,4	21,3	21,5	21,400
6		3	40	2,76	2,74	2,77	2,757	24,6	24,5	24,5	24,533
7	20	0,5	5	1,09	1,08	1,1	1,090	10,9	10,9	10,9	10,900
8		1	12	1,46	1,48	1,47	1,470	14	14,1	14,3	14,133
9		1,5	18	1,82	1,81	1,8	1,810	17,1	17	17,1	17,067
10		2	25,5	2,15	2,13	2,14	2,140	20,01	20,01	19,9	19,973
11		2,5	33	2,38	2,39	2,37	2,463	23,3	23,2	23,5	23,333
12		3	40	2,69	2,68	2,7	2,690	25,1	25	25,3	25,133
13	40	0,5	5	1,08	1,08	1,07	1,077	11,2	11,2	11,2	11,200
14		1	12	1,46	1,45	1,44	1,450	14,2	14,4	14,3	14,300
15		1,5	18	1,8	1,78	1,79	1,790	17,2	17,2	17,3	17,233
16		2	25,5	2,11	2,13	2,1	2,113	20,1	20,2	20,3	20,200
17		2,5	33	2,37	2,35	2,36	2,430	23,9	23,7	23,5	23,700
18		3	40	2,7	2,67	2,68	2,683	25,5	25,6	25,7	25,600
19	60	0,5	5	1,06	1,06	1,07	1,063	11,3	11,3	11,3	11,300
20		1	12	1,42	1,41	1,42	1,417	14,3	14,3	14,3	14,300

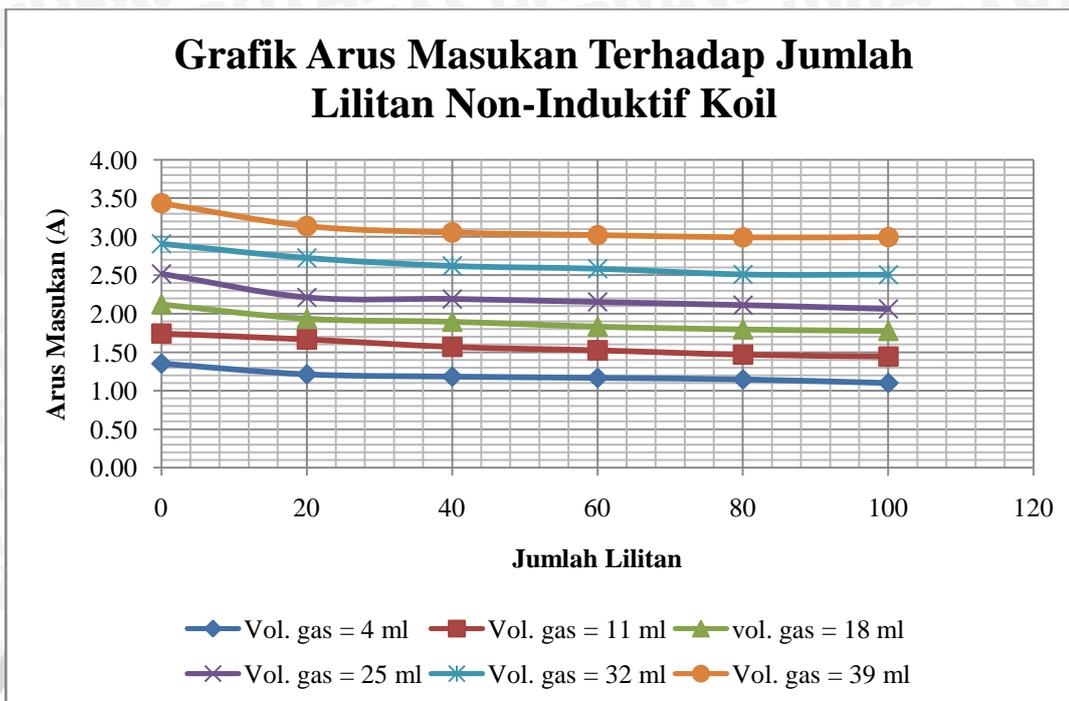
21		1,5	18	1,78	1,77	1,75	1,767	17,5	17,5	17,5	17,500
22		2	25,5	2,08	2,07	2,09	2,080	20,5	20,4	20,3	20,400
23		2,5	33	2,33	2,36	2,34	2,400	23,7	23,9	23,7	23,767
24		3	40	2,61	2,54	2,59	2,580	25,7	25,9	25,9	25,833
25	80	0,5	5	1,05	1,04	1,05	1,047	11,5	11,5	11,5	11,500
26		1	12	1,41	1,4	1,41	1,407	14,9	14,9	14,9	14,900
27		1,5	18	1,75	1,73	1,74	1,740	17,9	17,9	18	17,933
28		2	25,5	2,03	2,05	2,06	2,047	21	21,1	21,1	21,067
29		2,5	33	2,31	2,34	2,33	2,383	23,7	24	23,9	23,867
30		3	40	2,62	2,63	2,6	2,617	25,9	25,9	25,8	25,867
31	100	0,5	5	1	1	0,99	0,997	11,5	11,5	11,5	11,500
32		1	12	1,36	1,37	1,37	1,367	15	15	15	15,000
33		1,5	18	1,71	1,72	1,71	1,713	18,5	18,5	18,5	18,500
34		2	25,5	2,03	2,02	2,05	2,033	21,9	21,9	21,9	21,900
35		2,5	33	2,28	2,27	2,31	2,300	24	24,2	24,3	24,167
36		3	40	2,57	2,59	2,61	2,590	26,2	26,3	26,5	26,333

Tabel 5.11 Data Pengujian Generator Gas *Hydroxy* Dalam 1 Menit dengan Menggunakan Gelombang Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi *Envelope* 8 kHz, *Duty Cycle* 40%.

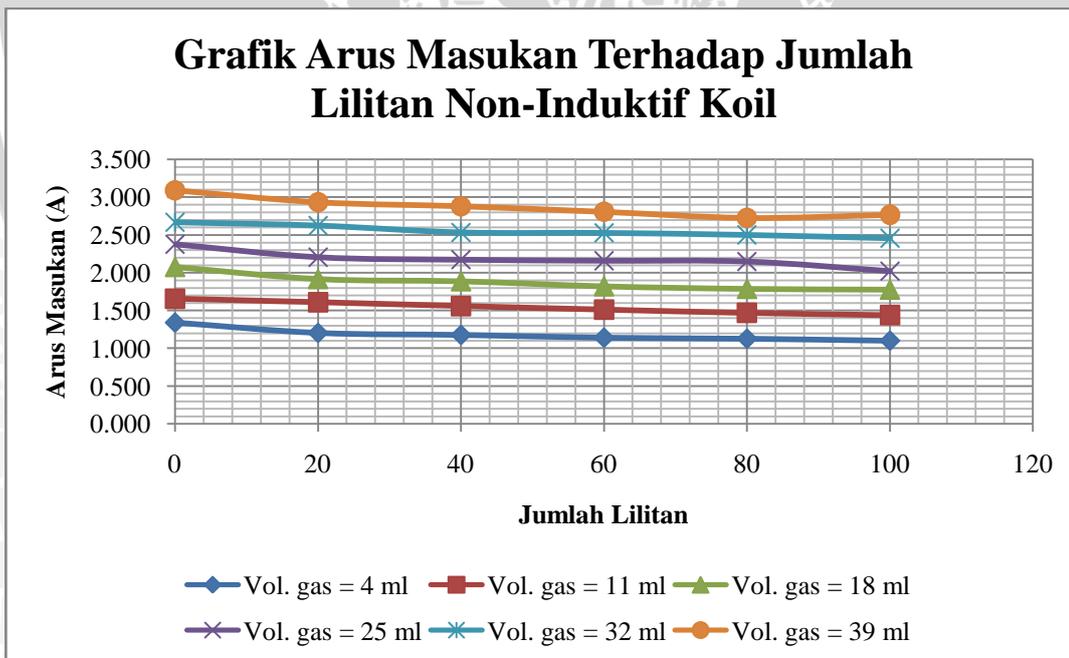
No	Jumlah Lilitan	Arus Keluaran (A)	Volume Gas (ml)	Arus Masukan (A)				Tegangan Masukan (V)			
				I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata-Rata
1	0	0,5	5	1,15	1,13	1,14	1,140	11,2	11,2	11,2	11,200
2		1	12	1,51	1,49	1,5	1,500	14,1	14,2	14,3	14,200
3		1,5	18	1,82	1,81	1,8	1,810	16,9	16,9	16,7	16,833
4		2	26	2,09	2,1	2,11	2,100	19,5	19,4	19,5	19,467
5		2,5	33	2,33	2,35	2,38	2,353	21,7	21,7	21,7	21,700
6		3	41,5	2,62	2,68	2,69	2,663	24	23,9	24,1	24,000
7	20	0,5	5	1,05	1,06	1,05	1,053	11,7	11,7	11,5	11,633
8		1	12	1,41	1,39	1,4	1,400	14,9	14,9	14,9	14,900
9		1,5	18	1,71	1,72	1,7	1,710	17,5	17,7	17,9	17,700
10		2	26	2,04	2	2,02	2,020	20,9	21	20,9	20,933
11		2,5	33	2,27	2,24	2,28	2,263	23,5	23,4	23,5	23,467
12		3	41,5	2,58	2,56	2,54	2,560	25,9	25,8	25,8	25,833
13	40	0,5	5	1,02	1,03	1,03	1,027	11,9	11,8	11,9	11,867
14		1	12	1,39	1,38	1,4	1,390	15,3	15,3	15,3	15,300
15		1,5	18	1,7	1,72	1,73	1,717	18,3	18,4	18,3	18,333
16		2	26	2,04	2,02	2,03	2,030	21,4	21,5	21,5	21,467
17		2,5	33	2,27	2,24	2,24	2,250	24,2	24,3	24,1	24,200
18		3	41,5	2,52	2,54	2,53	2,530	26,5	26,4	26,4	26,433
19	60	0,5	5	1,01	1,02	1,03	1,020	12,1	12	12,1	12,067
20		1	12	1,36	1,35	1,37	1,360	15,5	15,4	15,4	15,433

21		1,5	18	1,72	1,69	1,71	1,707	18,9	18,9	187	18,833
22		2	26	2,02	2,05	2,03	2,033	22,3	22,2	22,1	22,200
23		2,5	33	2,23	2,25	2,24	2,240	25	25,1	25,2	25,100
24		3	41,5	2,5	2,52	2,55	2,523	26,7	26,6	26,7	26,667
25	80	0,5	5	1	0,99	0,99	0,993	12,2	12,2	12,2	12,200
26		1	12	1,35	1,36	1,36	1,357	15,9	15,9	15,7	15,833
27		1,5	18	1,66	1,67	1,64	1,657	19,4	19,5	19,4	19,433
28		2	26	2	1,98	2,01	1,997	22,9	22,5	22,7	22,700
29		2,5	33	2,21	2,18	2,22	2,203	25,3	25,2	25,2	25,233
30		3	41,5	2,5	2,47	2,51	2,493	26,9	27	26,8	26,900
31	100	0,5	5	0,96	0,97	0,96	0,963	12,2	12,2	12,2	12,200
32		1	12	1,33	1,32	1,31	1,320	16,2	16,1	16	16,100
33		1,5	18	1,62	1,6	1,61	1,610	19,4	19,3	19,5	19,400
34		2	26	1,98	1,97	1,96	1,970	22,9	22,9	22,9	22,900
35		2,5	33	2,2	2,17	2,16	2,177	25,4	25,2	25,3	25,300
36		3	41,5	2,48	2,5	2,45	2,477	27,4	27,2	27,3	27,300

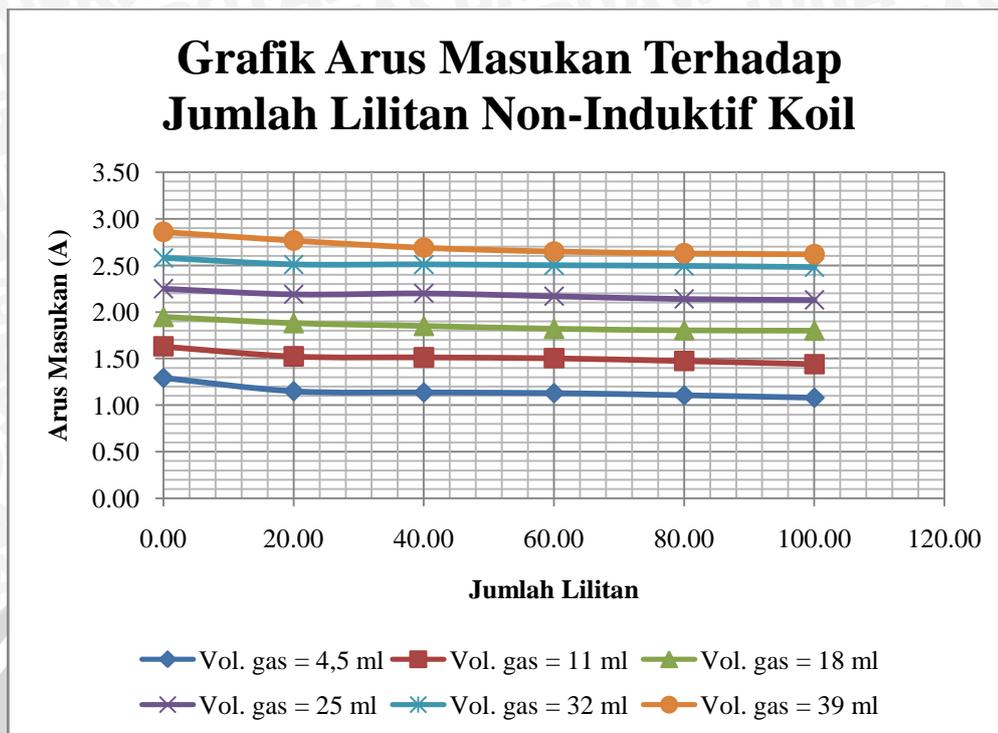
Dari Tabel 5.7, Tabel 5.8, Tabel 5.9, Tabel 5.10, dan Tabel 5.11 menunjukkan bahwa sistem keseluruhan generator gas *hydroxy* dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan tujuan. Hal ini dibuktikan dengan berhasilnya generator ini mengeluarkan gelembung gas yang menandakan bahwa reaksi kimia (elektrolisis) telah terjadi di dalam generator gas sehingga data-data yang dibutuhkan dapat diperoleh. Dari tabel tersebut juga dapat dibuat gambar grafik yang dapat membantu dalam menganalisis karakteristik kerja keseluruhan sistem.



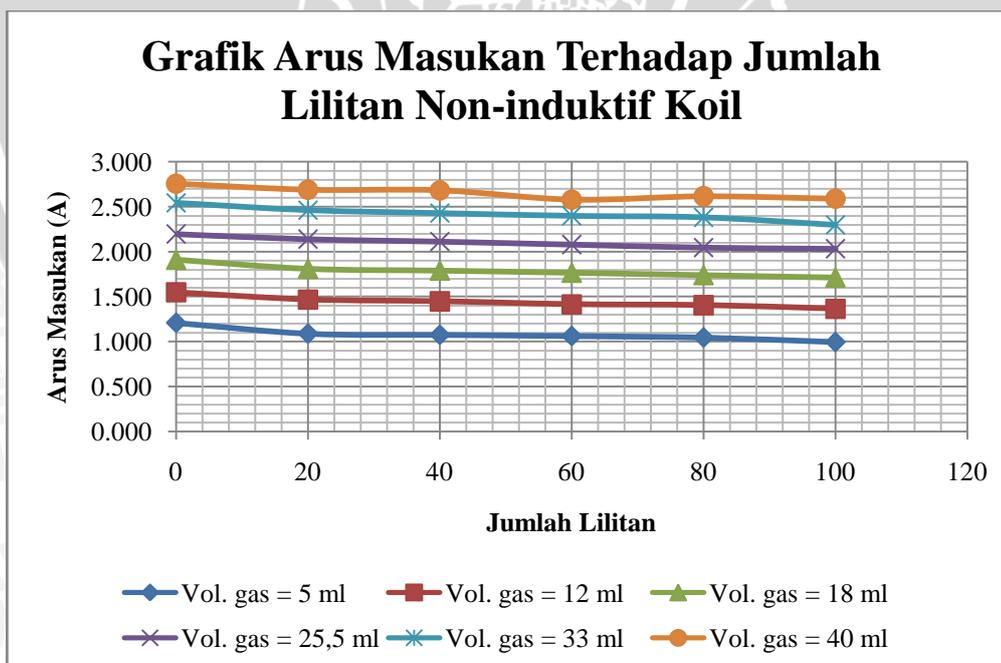
Gambar 5.33 Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa Train Frekuensi Termulasi 5 kHz, Frekuensi *Envelope* 1 kHz, *Duty Cycle* 40%
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.34 Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa Train Frekuensi Termulasi 10 kHz, Frekuensi *Envelope* 2 kHz, *Duty Cycle* 40%
 Sumber: Penulis, 2015

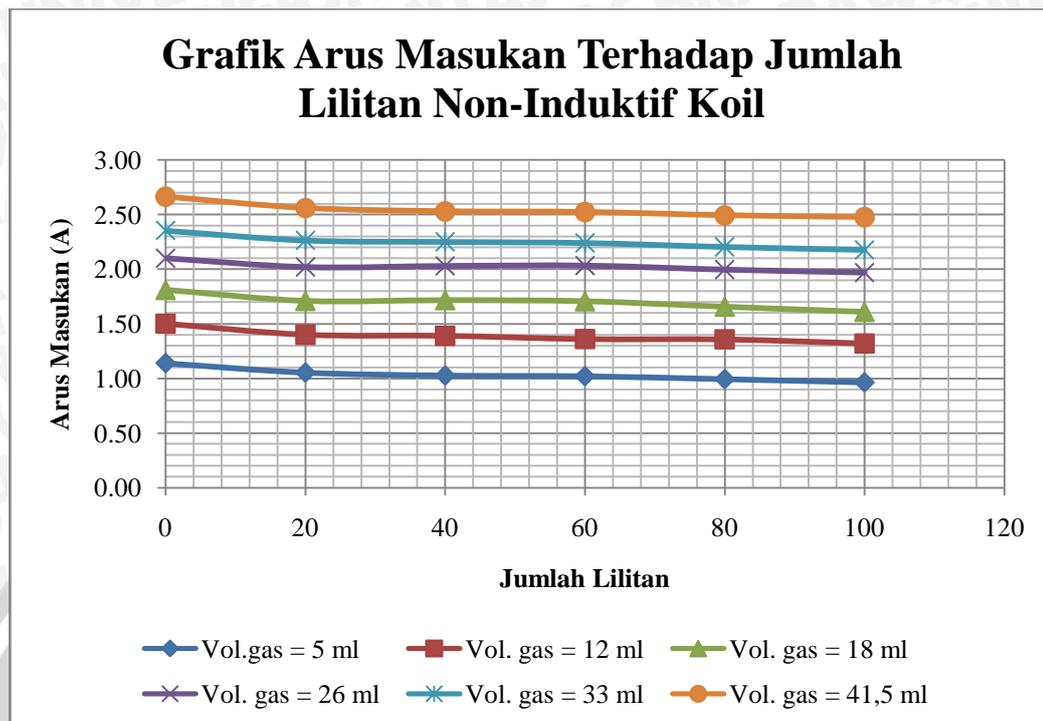


Gambar 5.35 Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa Train Frekuensi Termodulasi 20 kHz, Frekuensi *Envelope* 4 kHz, *Duty Cycle* 40%.
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.36 Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa Train Frekuensi Termodulasi 30 kHz, Frekuensi *Envelope* 6 kHz, *Duty Cycle* 40%.
 Sumber: Penulis, 2015



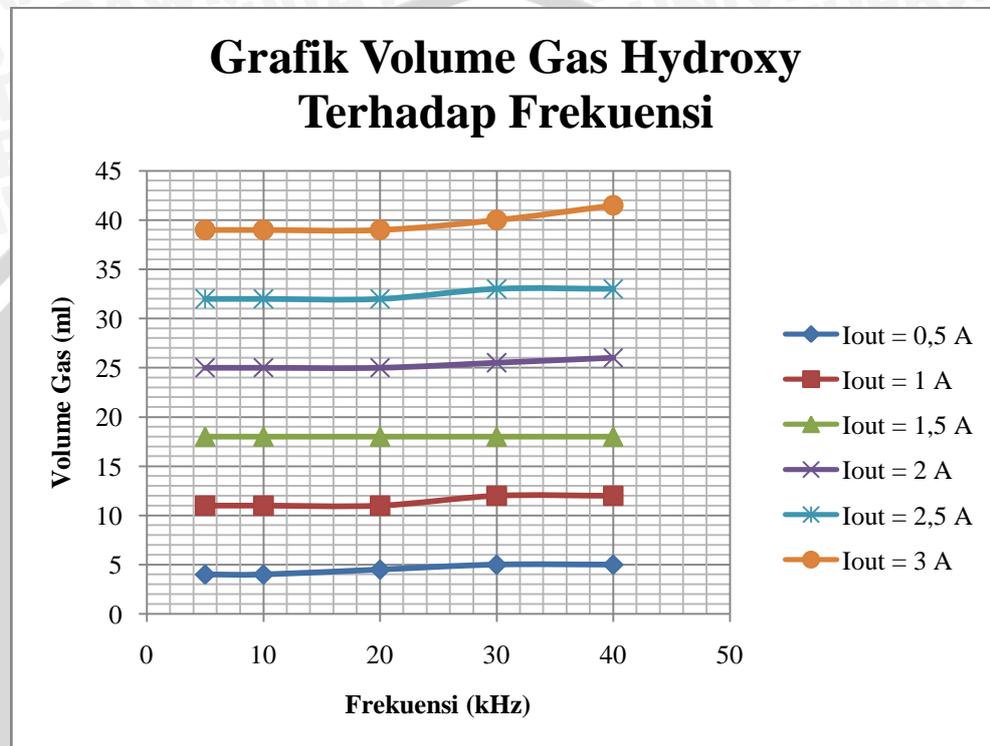


Gambar 5.37 Grafik Arus Masukan Terhadap Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi *Envelope* 8 kHz, *Duty Cycle* 40%
Sumber: Penulis, 2015

Dari hasil pengujian dan pengambilan data telah didapatkan gambar grafik arus masukan terhadap jumlah lilitan non-induktif koil. Pada satu nilai frekuensi yang ditentukan, untuk hasil produksi gas dengan jumlah yang sama, semakin banyak jumlah lilitan non-induktif koil yang digunakan, maka semakin turun nilai arus masukan generator gas *hydroxy*. Hasil analisis ini bisa dibuktikan pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.33, yaitu pada penerapan pulsa *train* dengan frekuensi termodulasi 5 kHz. Pada jumlah produksi gas 4 ml, rangkaian tanpa menggunakan non-induktif koil menampilkan data arus masukan 1,353 A, non-induktif koil 20 lilitan menampilkan data arus masukan 1,213 A, non-induktif koil 40 lilitan menampilkan data arus masukan 1,183 A, non-induktif koil 60 lilitan menampilkan data arus masukan 1,167 A, non-induktif koil 80 lilitan menampilkan data arus masukan 1,147 A, dan non-induktif koil 100 lilitan menampilkan data arus masukan 1,1 A. Non-induktif koil memiliki nilai resistansi dan induktansi. Sebagaimana kita ketahui bahwa resistansi dapat berperan untuk membatasi arus. Peningkatan resistansi dari koil menyebabkan arus yang mengalir semakin kecil. Selain itu, Koil ini memiliki nilai induktansi yang kecil sehingga rugi-rugi daya reaktif akibat kebocoran induktansi juga kecil. Nilai induktansi

dapat mengkompensasi nilai kapasitansi internal sel tabung elektroda sehingga impedansi rangkaian menjadi semakin kecil. Rangkaian ini juga membentuk rangkaian L-C yang memberikan efek resonansi pada proses elektrolisis.

Perubahan frekuensi menyebabkan terjadi perubahan besar volume gas yang diproduksi, seperti yang terlihat pada Gambar 5.38 berikut.



Gambar 5.38 Grafik Volume Gas *Hydroxy* Terhadap Frekuensi
Sumber: Penulis, 2015

Peningkatan nilai frekuensi termodulasi menyebabkan produksi gas *hydroxy* per menit meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada contoh grafik Gambar 5.38 pada penetapan arus keluaran 3 A, ketika frekuensi termodulasi arus pulsa *train* dinaikan dengan variasi nilai 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 30 kHz, dan 40 kHz, menyebabkan kenaikan produksi volume gas masing-masing sebesar 39 ml, 39 ml, 39 ml, 40 ml, dan 41,5 ml. Berdasarkan hasil dari pengamatan, hal ini disebabkan karena semakin besar nilai frekuensi yang diterapkan, menghasilkan ukuran gelembung gas yang lebih kecil. Frekuensi yang semakin besar menyebabkan ikatan H-O pada molekul air semakin tidak stabil sehingga lebih mudah terpecah. Gelembung gas yang terbentuk berukuran lebih kecil. Dengan ukuran yang seperti ini, gelembung memiliki massa yang lebih ringan dan lebih cepat naik ke permukaan tanpa terjadi penumpukan di antara sela elektroda.

Apabila gelembung gas terjadi penumpukan gelembung, maka dapat mengurangi luas permukaan elektroda yang digunakan untuk proses elektrolisis selanjutnya.

Untuk menghitung efisiensi energi pada kerja generator gas *hydroxy* maka dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan (2.9), Persamaan (2.10), Persamaan (2.11), Persamaan (2.12) dan Persamaan (2.13), sehingga diperoleh Tabel 5.12, Tabel 5.13, Tabel 5.14, Tabel 5.15, Tabel 5.16 berikut:



Tabel 5.12 Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas *Hydroxy* pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 5 kHz, Frekuensi *Envelope* 1 kHz, *Duty Cycle* 40%

No.	Jumlah Lilitan	Arus Masukan (A)	Tegangan Masukan (V)	Waktu (Menit)	Volume Gas Total (ml)	Volume O ₂ (ml)	Volume H ₂ (ml)	Mol O ₂ (ml)	Mol H ₂ (ml)	Energi Masukan (kJ)	Energi Keluaran (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0	1,353	9,233	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,750	0,034	4,525
2		1,743	11,933	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,248	0,093	7,475
3		2,123	14,033	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,788	0,153	8,540
4		2,520	16,033	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,424	0,212	8,747
5		2,910	18,000	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,143	0,271	8,637
6		3,437	21,000	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,330	0,331	7,639
7	20	1,213	9,200	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,670	0,034	5,066
8		1,667	12,367	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,237	0,093	7,545
9		1,937	14,367	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,669	0,153	9,146
10		2,213	16,633	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,209	0,212	9,600
11		2,727	19,267	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,152	0,271	8,611

12		3,140	22,433	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,226	0,331	7,827
13	40	1,183	9,133	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,648	0,034	5,232
14		1,570	12,333	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,162	0,093	8,031
15		1,897	14,467	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,646	0,153	9,274
16		2,193	16,867	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,220	0,212	9,553
17		2,623	19,600	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,085	0,271	8,798
18		3,057	22,533	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,133	0,331	8,005
19		60	1,167	9,167	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,642	0,034
20	1,527		12,533	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,148	0,093	8,127
21	1,833		14,700	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,617	0,153	9,442
22	2,153		17,067	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,205	0,212	9,617
23	2,587		19,800	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,073	0,271	8,833
24	3,023		22,733	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,124	0,331	8,022
25	80	1,147	9,200	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,633	0,034	5,360

26		1,470	12,467	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,100	0,093	8,127
27		1,797	15,067	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,624	0,153	9,442
28		2,113	17,133	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,173	0,212	9,617
29		2,513	20,000	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,016	0,271	8,833
30		2,993	23,000	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,131	0,331	8,022
31		1,100	9,300	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,614	0,034	5,571
32	100	1,447	12,267	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,065	0,093	8,486
33		1,777	15,100	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,610	0,153	9,400
34		2,063	17,000	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,105	0,212	9,761
35		2,510	20,267	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,052	0,271	9,000
36		2,997	23,133	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	4,159	0,331	8,008

Tabel 5.13 Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas *Hydroxy* pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 10 kHz, Frekuensi *Envelope* 2 kHz, *Duty Cycle* 40%

No.	Jumlah Lilitan	Arus Masukan (A)	Tegangan Masukan (V)	Waktu (Menit)	Volume Gas Total (ml)	Volume O ₂ (ml)	Volume H ₂ (ml)	Mol O ₂ (ml)	Mol H ₂ (ml)	Energi Masukan (kJ)	Energi Keluaran (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0	1,340	9,333	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,750	0,034	4,521
2		1,657	12,033	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,196	0,093	7,801
3		2,077	14,167	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,765	0,153	8,650
4		2,377	16,400	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,339	0,212	9,067
5		2,667	18,333	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	2,933	0,271	9,253
6		3,090	21,233	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,937	0,331	8,403
7	20	1,203	9,667	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,698	0,034	4,861
8		1,610	12,133	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,172	0,093	7,961
9		1,917	14,433	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,660	0,153	9,198
10		2,207	16,733	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,215	0,212	9,571
11		2,623	19,433	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,059	0,271	8,874

12		2,933	22,200	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,907	0,331	8,467
13	40	1,177	10,033	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,708	0,034	4,790
14		1,560	12,700	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,189	0,093	7,849
15		1,887	14,567	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,649	0,153	9,259
16		2,173	17,100	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,230	0,212	9,510
17		2,533	19,600	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	2,979	0,271	9,111
18		2,880	22,567	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,900	0,331	8,483
19		60	1,140	10,167	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,695	0,034
20	1,513		12,867	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,168	0,093	7,986
21	1,820		14,967	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,634	0,153	9,342
22	2,160		17,800	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,307	0,212	9,192
23	2,527		19,933	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,022	0,271	8,982
24	2,807		22,833	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,845	0,331	8,603
25	80	1,127	10,167	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,687	0,034	4,937

26		1,470	12,933	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,141	0,093	8,179
27		1,787	15,667	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,679	0,153	9,091
28		2,150	18,367	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,369	0,212	8,950
29		2,500	20,233	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,035	0,271	8,943
30		2,727	23,067	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,774	0,331	8,766
31		1,100	10,333	1	4	1,333	2,667	0,0000595	0,0001190	0,682	0,034	4,975
32	100	1,440	13,067	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,129	0,093	8,265
33		1,777	15,900	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,695	0,153	9,008
34		2,023	18,667	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,266	0,212	9,358
35		2,457	20,767	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,061	0,271	8,867
36		2,767	23,400	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,884	0,331	8,516

Tabel 5.14 Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas *Hydroxy* pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 20 kHz, Frekuensi *Envelope* 4 kHz, *Duty Cycle* 40%

No.	Jumlah Lilitan	Arus Masukan (A)	Tegangan Masukan (V)	Waktu (Menit)	Volume Gas Total (ml)	Volume O ₂ (ml)	Volume H ₂ (ml)	Mol O ₂ (ml)	Mol H ₂ (ml)	Energi Masukan (kJ)	Energi Keluaran (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0	1,293	9,400	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,729	0,038	5,233
2		1,630	12,300	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,203	0,093	7,756
3		1,947	14,500	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,694	0,153	9,015
4		2,250	17,100	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,309	0,212	9,186
5		2,580	19,267	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	2,982	0,271	9,101
6		2,860	22,267	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,821	0,331	8,658
7	20	1,150	9,700	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,669	0,038	5,703
8		1,523	12,333	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,127	0,093	8,277
9		1,880	14,967	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,688	0,153	9,044
10		2,190	17,067	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,243	0,212	9,456
11		2,510	19,933	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,002	0,271	9,042

12		2,767	22,600	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,752	0,331	8,818
13	40	1,137	10,200	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,696	0,038	5,487
14		1,513	13,033	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,183	0,093	7,884
15		1,850	15,467	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,717	0,153	8,893
16		2,200	18,133	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,394	0,212	8,859
17		2,510	20,467	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,082	0,271	8,806
18		2,690	23,267	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,755	0,331	8,809
19		60	1,130	10,400	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,711	0,038
20	1,503		13,067	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,179	0,093	7,916
21	1,820		15,633	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,707	0,153	8,943
22	2,170		18,400	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,396	0,212	8,851
23	2,500		20,967	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,145	0,271	8,630
24	2,650		23,567	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,747	0,331	8,828
25	80	1,107	10,400	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,691	0,038	5,527

26		1,473	13,333	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,179	0,093	7,916
27		1,803	16,300	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,764	0,153	8,657
28		2,140	18,833	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,418	0,212	8,769
29		2,493	21,467	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,211	0,271	8,452
30		2,630	23,967	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,782	0,331	8,747
31		1,080	10,367	1	4,5	1,500	3,000	0,0000670	0,0001339	0,672	0,038	5,682
32	100	1,440	13,467	1	11	3,667	7,333	0,0001637	0,0003274	1,164	0,093	8,019
33		1,800	16,400	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,771	0,153	8,620
34		2,130	19,233	1	25	8,333	16,667	0,0003720	0,0007440	2,458	0,212	8,627
35		2,480	22,500	1	32	10,667	21,333	0,0004762	0,0009524	3,348	0,271	8,107
36		2,620	24,000	1	39	13,000	26,000	0,0005804	0,0011607	3,773	0,331	8,768

Tabel 5.15 Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas *Hydroxy* pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 30 kHz, Frekuensi *Envelope* 6 kHz, *Duty Cycle* 40%

No.	Jumlah Lilitan	Arus Masukan (A)	Tegangan Masukan (V)	Waktu (Menit)	Volume Gas Total (ml)	Volume O ₂ (ml)	Volume H ₂ (ml)	Mol O ₂ (ml)	Mol H ₂ (ml)	Energi Masukan (kJ)	Energi Keluaran (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0	1,210	10,767	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,782	0,042	5,426
2		1,550	13,267	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,234	0,102	8,250
3		1,910	15,967	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,830	0,153	8,344
4		2,197	18,400	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,425	0,216	8,919
5		2,543	21,400	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,266	0,280	8,571
6		2,757	24,533	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	4,058	0,339	8,361
7	20	1,090	10,900	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,713	0,042	5,949
8		1,470	14,133	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,247	0,102	8,165
9		1,810	17,067	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,853	0,153	8,238
10		2,140	19,973	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,565	0,216	8,434
11		2,463	23,333	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,449	0,280	8,116

12		2,690	25,133	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	4,057	0,339	8,364
13	40	1,077	11,200	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,724	0,042	5,862
14		1,450	14,300	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,244	0,102	8,181
15		1,790	17,233	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,851	0,153	8,249
16		2,113	20,200	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,561	0,216	8,445
17		2,430	23,700	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,455	0,280	8,101
18		2,683	25,600	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	4,122	0,339	8,232
19		60	1,063	11,300	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,721	0,042
20	1,417		14,300	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,216	0,102	8,374
21	1,767		17,500	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,855	0,153	8,231
22	2,080		20,400	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,546	0,216	8,496
23	2,400		23,767	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,422	0,280	8,179
24	2,580		25,833	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	3,999	0,339	8,484
25	80	1,047	11,500	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,722	0,042	5,872

26		1,407	14,900	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,258	0,102	8,094
27		1,740	17,933	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,872	0,153	8,155
28		2,047	21,067	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,587	0,216	8,361
29		2,383	23,867	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,413	0,280	8,201
30		2,617	25,867	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	4,061	0,339	8,355
31		0,997	11,500	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,688	0,042	6,167
32	100	1,367	15,000	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,230	0,102	8,275
33		1,713	18,500	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,902	0,153	8,028
34		2,033	21,900	1	25,5	8,500	17,000	0,0003795	0,0007589	2,672	0,216	8,095
35		2,300	24,167	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,335	0,280	8,393
36		2,590	26,333	1	40	13,333	26,667	0,0005952	0,0011905	4,092	0,339	8,291

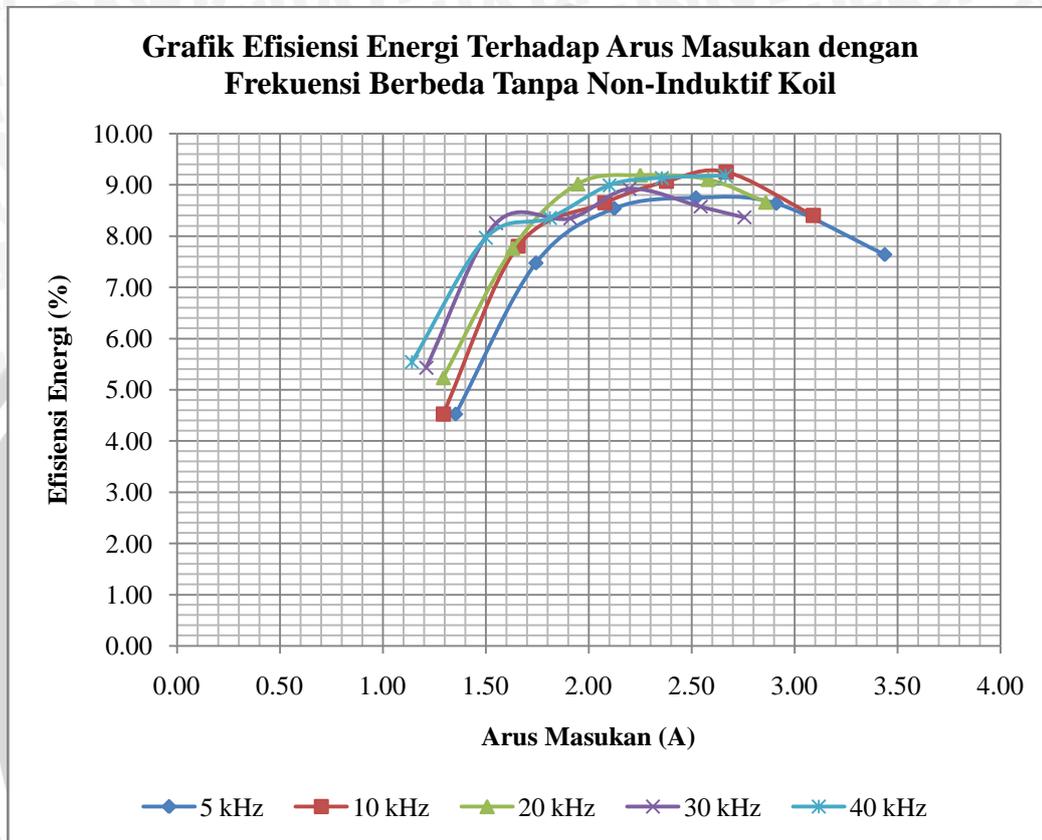
Tabel 5.16 Data Efisiensi Energi Kerja Generator Gas *Hydroxy* pada Pulsa *Train* Frekuensi Termodulasi 40 kHz, Frekuensi *Envelope* 8 kHz, *Duty Cycle* 40%

No.	Jumlah Lilitan	Arus Masukan (A)	Tegangan Masukan (V)	Waktu (Menit)	Volume Gas Total (ml)	Volume O ₂ (ml)	Volume H ₂ (ml)	Mol O ₂ (ml)	Mol H ₂ (ml)	Energi Masukan (kJ)	Energi Keluaran (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0	1,140	11,200	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,766	0,042	5,536
2		1,500	14,200	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,278	0,102	7,964
3		1,810	16,833	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,828	0,153	8,352
4		2,100	19,467	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,453	0,221	8,991
5		2,353	21,700	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,064	0,280	9,135
6		2,663	24,000	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	3,835	0,352	9,178
7	20	1,053	11,633	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,735	0,042	5,768
8		1,400	14,900	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,252	0,102	8,132
9		1,710	17,700	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,816	0,153	8,407
10		2,020	20,933	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,537	0,221	8,692
11		2,263	23,467	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,187	0,280	8,784

12		2,560	25,833	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	3,968	0,352	8,871
13	40	1,027	11,867	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,731	0,042	5,802
14		1,390	15,300	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,276	0,102	7,977
15		1,717	18,333	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,888	0,153	8,085
16		2,030	21,467	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,615	0,221	8,435
17		2,250	24,200	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,267	0,280	8,568
18		2,530	26,433	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	4,013	0,352	8,773
19		60	1,020	12,067	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,738	0,042
20	1,360		15,433	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,259	0,102	8,082
21	1,707		18,833	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,929	0,153	7,917
22	2,033		22,200	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,708	0,221	8,143
23	2,240		25,100	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,373	0,280	8,297
24	2,523		26,667	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	4,037	0,352	8,719
25	80	0,993	12,200	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,727	0,042	5,833

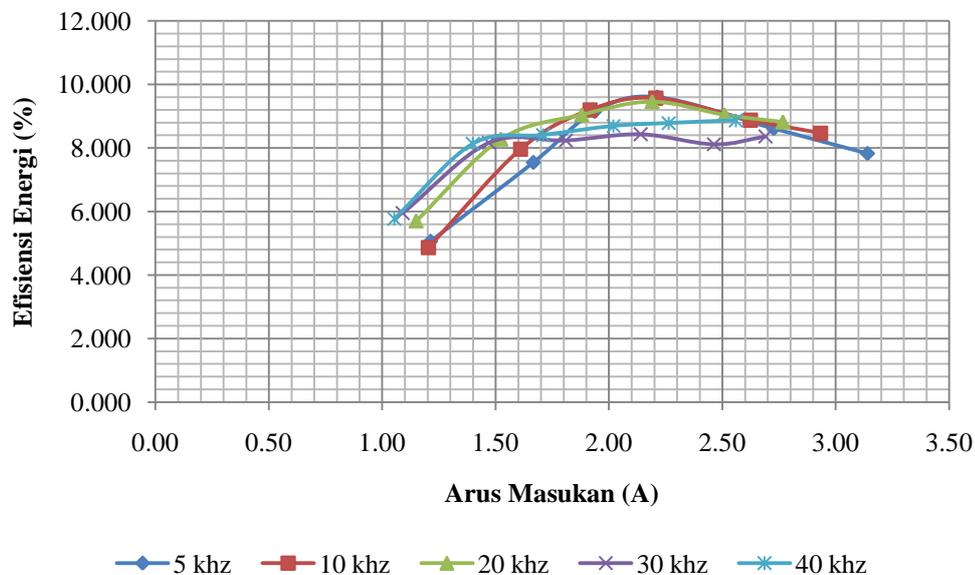
26		1,357	15,833	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,289	0,102	7,898
27		1,657	19,433	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,932	0,153	7,904
28		1,997	22,700	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,719	0,221	8,110
29		2,203	25,233	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,336	0,280	8,391
30		2,493	26,900	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	4,024	0,352	8,747
31		0,963	12,200	1	5	1,667	3,333	0,0000744	0,0001488	0,705	0,042	6,014
32	100	1,320	16,100	1	12	4,000	8,000	0,0001786	0,0003571	1,275	0,102	7,982
33		1,610	19,400	1	18	6,000	12,000	0,0002679	0,0005357	1,874	0,153	8,147
34		1,970	22,900	1	26	8,667	17,333	0,0003869	0,0007738	2,707	0,221	8,148
35		2,177	25,300	1	33	11,000	22,000	0,0004911	0,0009821	3,304	0,280	8,471
36		2,477	27,300	1	41,5	13,833	27,667	0,0006176	0,0012351	4,057	0,352	8,677

Dari Tabel 5.12, Tabel 5.13, Tabel 5.14, Tabel 5.15, dan Tabel 5.16 diperoleh gambar grafik efisiensi energi terhadap arus masukan pada tiap nilai frekuensi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.39, Gambar 5.40, Gambar 5.41, Gambar 5.42, Gambar 5.43, dan Gambar 5.44.



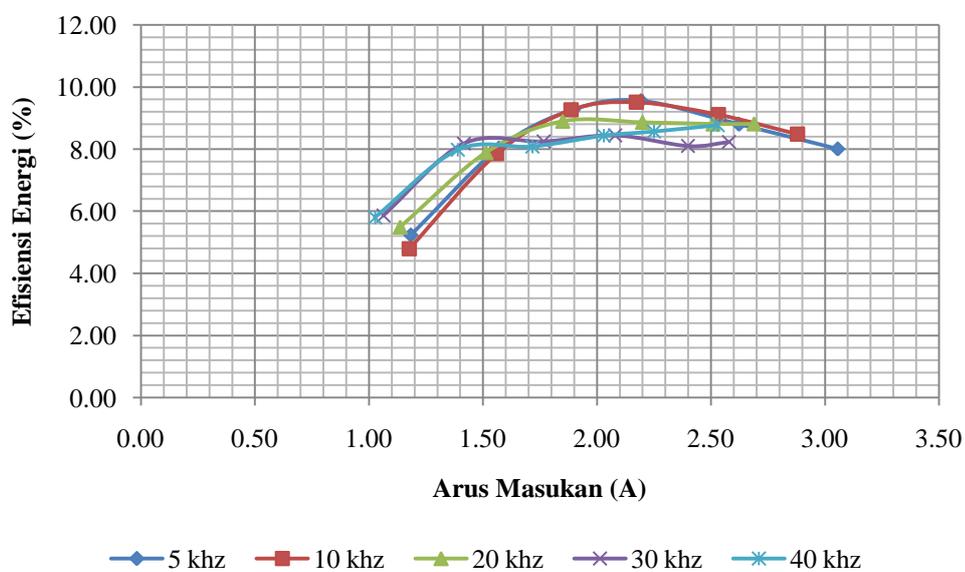
Gambar 5.39 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda Tanpa Non-Induktif Koil
 Sumber: Penulis, 2015

Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 20 Lilitan

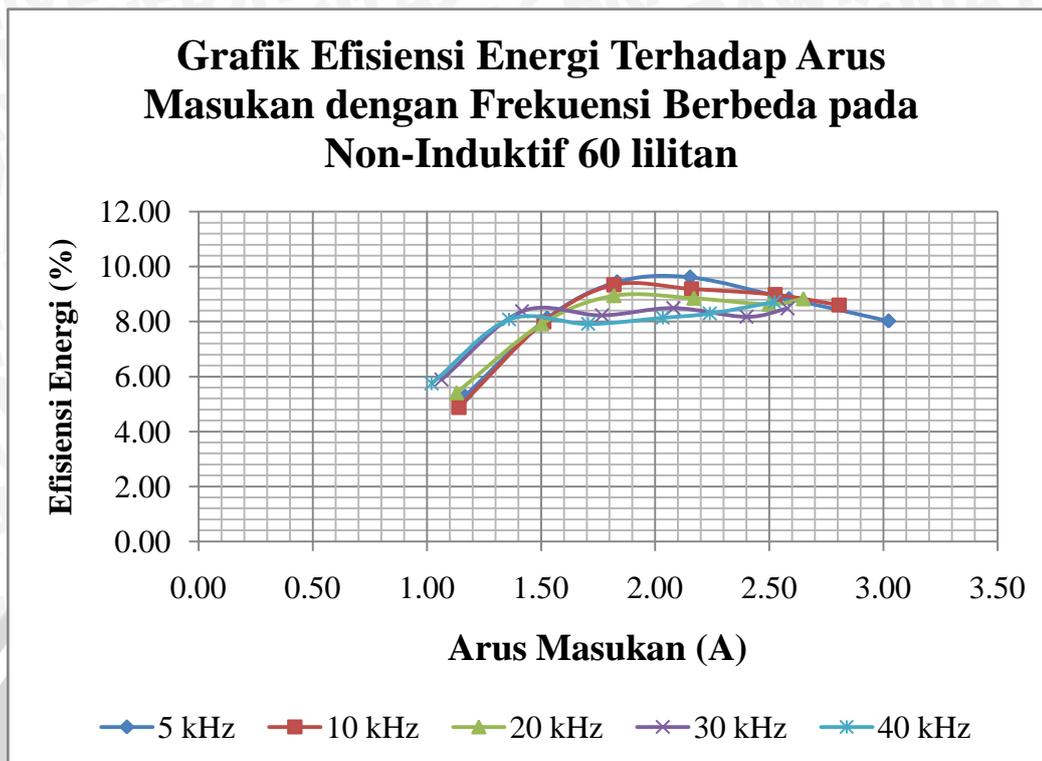


Gambar 5.40 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 20 Lilitan
Sumber: Penulis, 2015

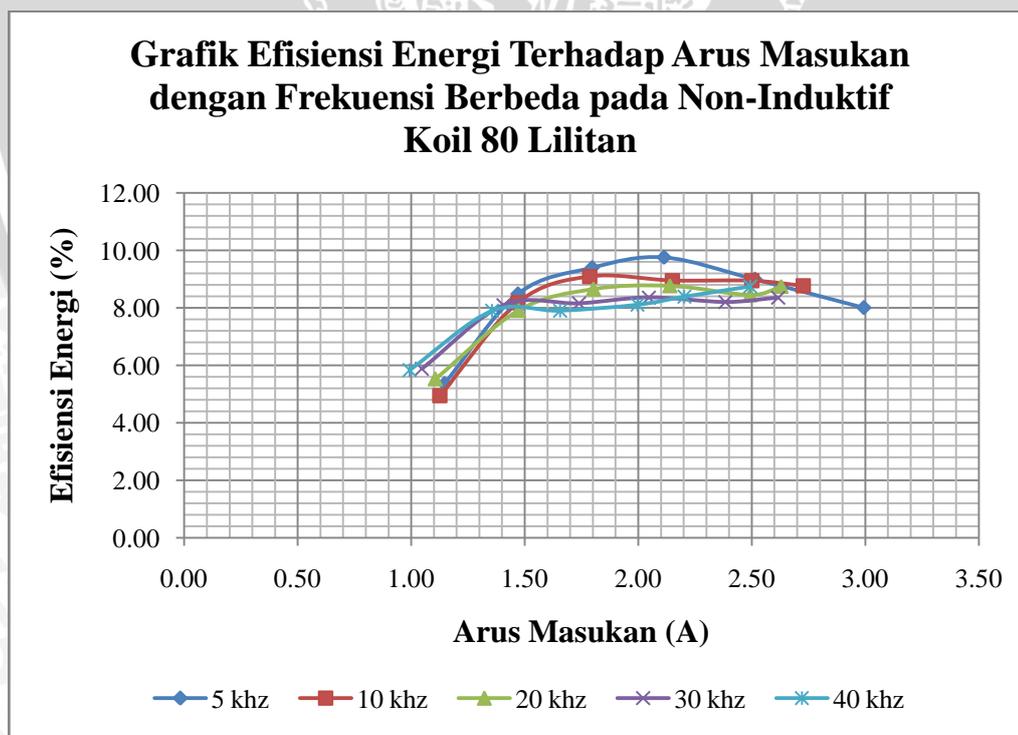
Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 40 Lilitan



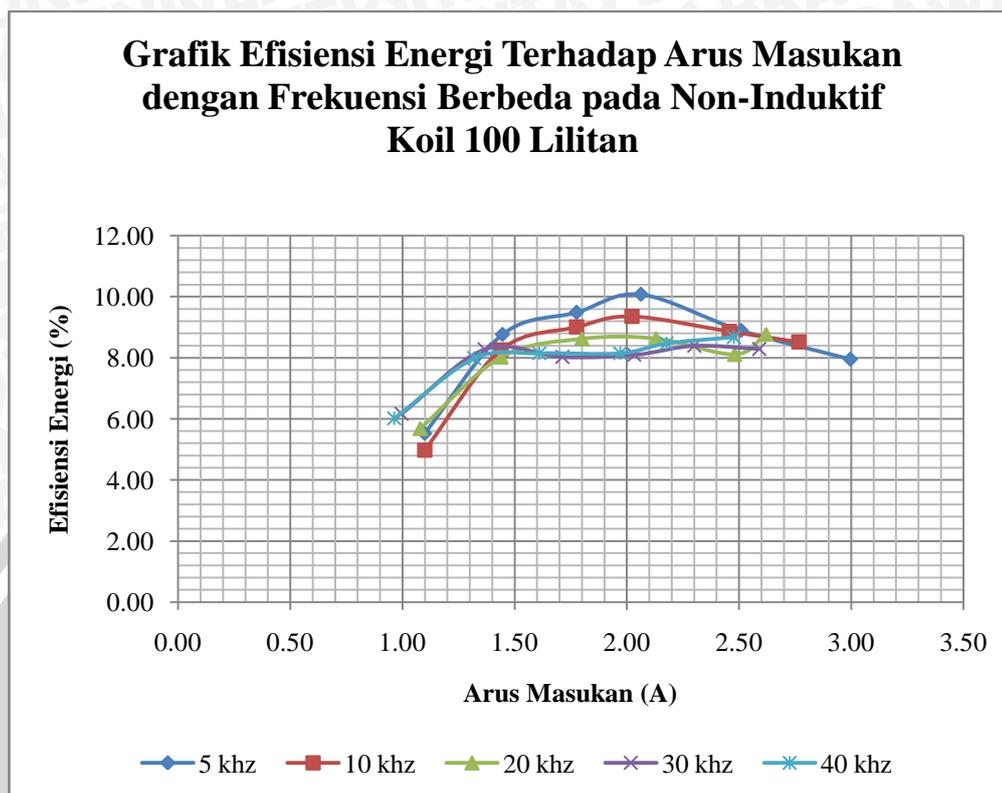
Gambar 5.41 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 40 Lilitan
Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.42 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 60 Lilitan
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.43 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 80 Lilitan
 Sumber: Penulis, 2015



Gambar 5.44 Grafik Efisiensi Energi Terhadap Arus Masukan dengan Frekuensi Berbeda pada Non-Induktif Koil 100 Lilitan
Sumber: Penulis, 2015

Pada rangkaian tanpa menggunakan non-induktif koil, semakin besar frekuensi termodulasi semakin besar efisiensi yang dihasilkan. Contoh pada data yang menghasilkan 4 ml – 5 ml gas, pada penerapan frekuensi termodulasi 5 khz, generator menghasilkan efisiensi 4,525%. Pada penerapan frekuensi termodulasi 10 kHz, generator menghasilkan efisiensi 4,521%. Pada penerapan frekuensi termodulasi 20 kHz, generator menghasilkan efisiensi 5,233%. Pada penerapan frekuensi termodulasi 30 kHz, generator menghasilkan efisiensi 5,425%. Pada penerapan frekuensi termodulasi 40 kHz, generator menghasilkan efisiensi 5,536%. Semakin besar frekuensi, jumlah gas yang dihasilkan semakin besar sehingga nilai efisiensinya juga semakin besar.

Berdasarkan hasil grafik efisiensi energi terhadap arus masukan dengan nilai frekuensi yang berbeda-beda pada rangkaian yang menggunakan lilitan non-induktif koil didapatkan bahwa grafik yang menerapkan frekuensi termodulasi pulsa *train* 5 kHz menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pada penerapan nilai frekuensi

lainnya. Pada penerapan frekuensi termodulasi 5 kHz, semakin banyak jumlah non-induktif koil yang digunakan pada pengujian ini, menghasilkan efisiensi yang relatif semakin besar diiringi dengan penurunan nilai arus masukan. Contoh data pada Tabel 5.12, untuk gas yang dihasilkan sebesar 25 ml; 20 lilitan menghasilkan efisiensi 9,6% dengan arus masukan 2,213 A; 40 lilitan menghasilkan efisiensi 9,553% dengan arus masukan 2,193 A; 60 lilitan menghasilkan efisiensi 9,617% dengan arus masukan 2,153 A; 80 lilitan menghasilkan efisiensi 9,617% dengan arus masukan 2,113 A; dan 100 lilitan menghasilkan efisiensi tertinggi dalam pengujian ini yaitu 9,761% dengan arus masukan 2,063 A. Rangkaian pengujian yang menerapkan frekuensi termodulasi 5 kHz dan menggunakan 100 lilitan non-induktif koil bisa dikatakan merupakan rangkaian yang paling mendekati kondisi resonansi kerja generator gas *hydroxy* dalam pengujian ini. Tegangan pulsa *train* yang diterapkan menuju kapasitor tabung dan efek rangkaian resonansi L-C dapat melemahkan ikatan atom hidrogen dan oksigen pada molekul air. Ketika resonansi tercapai, ikatan atomik dari molekul air terputus, dan terjadi pemisahan atom. Pada kondisi resonansi, arus yang mengalir dari sumber listrik menuju ke kapasitor tabung terminimalisir dan tegangan yang melintasi kapasitor meningkat.

Penggunaan frekuensi diatas 5 kHz dalam pengujian ini, menunjukkan semakin banyak jumlah lilitan non-induktif koil yang digunakan maka menghasilkan efisiensi yang relatif semakin rendah. Contoh pada data penerapan frekuensi 20 kHz, untuk volume gas yang dihasilkan 25 ml; rangkaian dengan 20 lilitan menghasilkan efisiensi 9,456%; 40 lilitan menghasilkan efisiensi 8,859%; 60 lilitan menghasilkan efisiensi 8,851%; 80 lilitan menghasilkan efisiensi 8,769%; 100 lilitan menghasilkan efisiensi 8,627. Hal ini disebabkan karena Penerapan frekuensi diatas 5 kHz dan penggunaan lilitan non-induktif koil yang semakin banyak membuat rangkaian ini semakin jauh dari kondisi resonansi dan efisiensi semakin rendah. Semakin banyak jumlah lilitan maka nilai induktansi koil semakin meningkat karena frekuensi yang digunakan juga tinggi. Nilai induktansi menjadi semakin besar dan melebihi nilai kapasitansi dari kapasitor tabung sel elektroda. Hal ini menyebabkan nilai impedansi semakin besar dan menurunkan efisiensi kerja alat.

BAB VI

HIPOTESIS DAN SARAN

6.1. Hipotesis

Hipotesis yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Generator gas *hidroxy* yang dibuat sesuai dengan perancangan yang dibuat berdasarkan replica dari Stanley A. Meyer. Jarak sela antara elektroda dibuat 1mm untuk memperkecil impedansi dari bahan elektrolit. Perangkat keras pembangkit pulsa *train* yang dirancang dapat berjalan sesuai dengan perancangan dan disarankan untuk digunakan pada frekuensi *envelope* ≤ 5 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 10 kHz, pada frekuensi *envelope* ≤ 5 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 20 kHz, pada frekuensi *envelope* $\leq 7,5$ kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 30 kHz, pada frekuensi *envelope* ≤ 10 kHz jika menggunakan frekuensi termodulasi 40kHz, dan pada frekuensi termodulasi 5 kHz dapat digunakan semua frekuensi *envelope*.
2. Non-induktif koil tipe solenoid telah berhasil dibuat menggunakan teknik bifilar *winding* dengan variasi jumlah lilitan; 20 lilitan, 40 lilitan, 60 lilitan, 80 lilitan, dan 100 lilitan.
3. Semakin banyak jumlah lilitan non-induktif koil yang digunakan, maka semakin turun nilai arus masukan generator gas *hydroxy* dengan jumlah volume gas yang dihasilkan relatif sama. Non-induktif koil memiliki nilai resistansi dan induktansi. Sebagaimana kita ketahui bahwa resistansi dapat berperan untuk membatasi arus. Peningkatan nilai resistansi menyebabkan arus semakin turun. Selain itu, Koil ini memiliki nilai induktansi yang kecil sehingga rugi-rugi daya reaktif akibat kebocoran induktansi juga kecil. Nilai induktansi dapat mengkompensasi nilai kapasitansi internal sel tabung elektroda sehingga impedansi rangkaian menjadi semakin kecil. Rangkaian ini juga membentuk rangkaian L-C yang memberikan efek resonansi pada proses elektrolisis.
4. Peningkatan nilai frekuensi termodulasi pulsa *train* meningkatkan jumlah produksi gas *hydroxy*. Berdasarkan hasil dari pengamatan, hal ini disebabkan karena semakin besar nilai frekuensi yang diterapkan,

menghasilkan ukuran gelembung gas yang lebih kecil. Frekuensi yang semakin besar menyebabkan ikatan H-O pada molekul air semakin tidak stabil sehingga lebih mudah terpecah. Gelembung gas yang terbentuk berukuran lebih kecil. Dengan ukuran yang seperti ini, gelembung memiliki massa yang lebih ringan dan lebih cepat naik ke permukaan sehingga tidak terjadi penumpukan di antara sela elektroda. Apabila gelembung gas terjadi penumpukan gelembung, maka dapat mengurangi luas permukaan elektroda yang digunakan untuk proses elektrolisis selanjutnya.

5. Penerapan frekuensi termodulasi pulsa *train* 5 kHz pada penelitian ini menghasilkan nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pada penerapan nilai frekuensi lainnya. Rangkaian pengujian yang menerapkan frekuensi termodulasi 5 kHz dan menggunakan 100 lilitan non-induktif koil bisa dikatakan merupakan rangkaian yang paling mendekati kondisi resonansi dengan efisiensi tertinggi yang dihasilkan sebesar 9,761%. Penerapan frekuensi diatas 5 kHz dan penggunaan lilitan non-induktif koil yang semakin banyak membuat rangkaian ini semakin jauh dari kondisi resonansi dan efisiensi semakin rendah. Semakin banyak jumlah lilitan maka nilai induktansi koil semakin meningkat karena frekuensi yang digunakan juga tinggi. Hal ini menyebabkan nilai impedansi rangkaian semakin besar sehingga menurunkan efisiensi kerja alat.

6.2. Saran

Alat ini sudah bekerja sesuai dengan yang diharapkan, namun demikian ada beberapa hal yang disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut, antara lain:

1. Analisis perubahan volume gas *hydroxy* terhadap perubahan frekuensi *envelope* dari arus pulsa *train*.
2. Analisis nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi dari keseluruhan sistem generator gas *hydroxy*.
3. Pemanfaatan gas *hydroxy* yang dihasilkan sebagai sumber energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.2009.*Modul Elektrolisis Air*.Bandung: ITB
- Ayu, Ni Made Yasmitha Andewi.2011.*Produksi Gas Hidrogen dengan Proses Elektrolisis sebagai Sumber Energi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bhattacharya, Ritesh dan Srivastava, Shakun. 2009. *Energy Efficient Hydroxy Gas Generator. Innovative Systems Design and Engineering*.ISSN 2222-1727 (Paper) ISSN 2222-2871 (Online)
- Candra, Maulani, dkk.2013.*Studi Unjuk Kerja Generator Gas Hydroxy dengan Penerapan Arus Pulsa Train sebagai Sumber Energi*. Malang: Universitas Brawijaya
- Delta Elektronik. *M1632 Module LCD 16 X 2 Baris (M1632)*. Surabaya: Delta Elektronik
- Diotec Semiconductor. *Free-Wheeling Diodes for Inductive Load Switches in Motors and Relays*. Heitersheim:Diotec Semiconductor
- Halliday, David et al.2007.*Fundamental of Physics Extended 8th Edition*.New Jersey:Wiley
- International Rectifier. *IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF*. California: International Rectifier
- Kazimierczuk, Marian K.2014. *High-Frequency Magnetic Components 2nd Edition*.Chichester:Wiley
- Kelly, Patrick. 2007. *A Practical Guide to Free Energy Device*. Electrolysis patents No.16
- Mazda, F. (1997). *Power Electronics Handbook*. New York: Elsvier
- Mazloomi, Kaveh, et al.(2012, Januari). *Review Electrical Efficiency of Electrolytic Hidrogen Production*.*International Journal of Electrochemical Science*. Vol 7. pp. 3315.
- Mazloomi, Kaveh, et al. (2012, April). *An Investigation into the Electrical Impedance of Water Electrolysis Cells – With a View to Saving Energy*. *Int J Hydrogen Energi*.pp. 3466 – 3481
- McLyman, Colonel WT.1993. *Designing Magnetic Components for High Frequency DC-DC Converters*.San Marine:KgMagnetic inc.
- Meyer, Stanley A.1995, *The Birth of New Technology: Water Fuel Cell*. Ohio.

Prasetyo, Yogo et al.2009. *Perancangan dan Pembuatan Alat Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Elpiji dengan Tampilan Kadar Gas Metan pada LCD Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. Jakarta: Gunadarma.

Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Handbook*. London: Academic Press.

Surjono, HD. 2008. *Elektronika Analog*.Jember:Cerdas Ulet Kreatif

Tesla, Nikola.1894. *Coil For Electro-Magnet US Patent No.512340*.New York:US Constitution

Tilbury, Mitch.2008.*The Ultimate Tesla Coil Design and Construction Guide*.New York:McGraw-hill

Tjatur, Rusminto W dan Nurhayati, Supa'at.2009.*Proses Elektrolisa pada Prototipe "Kompor Air" dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*.Surabaya:Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS

Vanags, Martin et al.2012.*Water Electrolysis with DC Pulses and Plasma Discharge. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 09 (113) 2012*

<http://www.edaboard.com/thread219997.html>, Tanggal Akses 2 Februari 2013

<http://www.arduino.cc>, Tanggal Akses 17 November 2014

<http://www.dart.ru/cataloguenew/inductivity/transformers/kcb/kcb472-104b.shtml>,
Tanggal Akses 17 November 2014

<http://id.wikipedia.org/wiki/Sakelar>, Tanggal Akses 1 Maret 2013

http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_train, Tanggal Akses 1 Maret 2013

<http://id.wikipedia.org/wiki/Induktor>, Tanggal Akses 1 Maret 2013

<http://elkaasik.com/resistansi-kabel>, Tanggal Akses 5 Januari 2015

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi



Foto Elektroda Tampak Samping



Foto Elektroda Tampak Atas



Foto Generator Gas *Hydroxy*



Foto Kotak Elektronik Pembangkit Pulsa Train

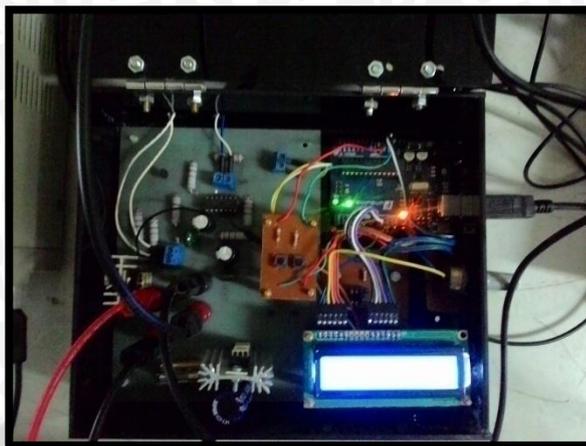


Foto Bagian Dalam Kotak Elektronika Pembangkit Pulsa *Train*

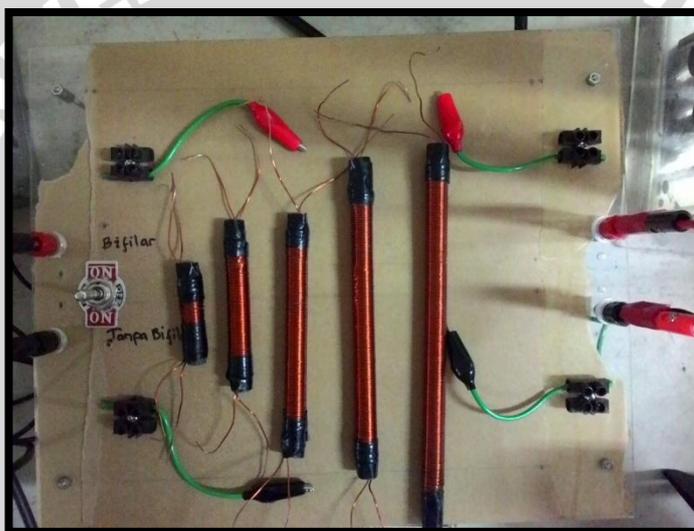


Foto Variasi Jumlah Lilitan Non-Induktif Koil



Foto Adapter 5 V dan !2 V



Foto DC Voltage Regulator Protek DF1730SB5A



Foto Alat Ukur Gas

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Foto Pengujian Kotak Elektronika Pembangkit Pulsa *Train*

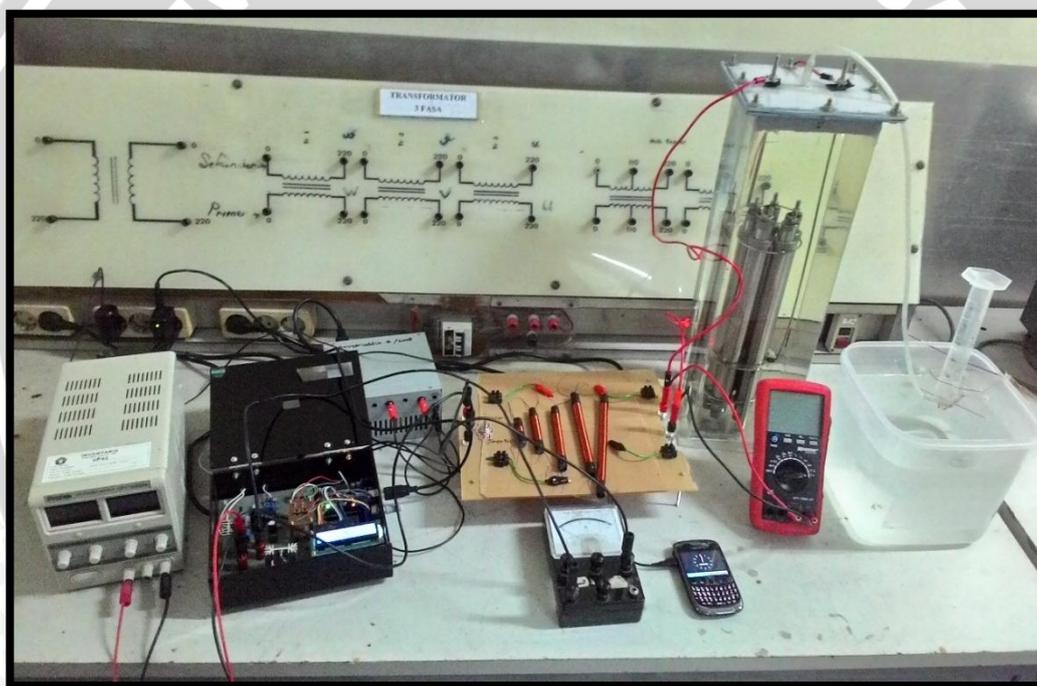
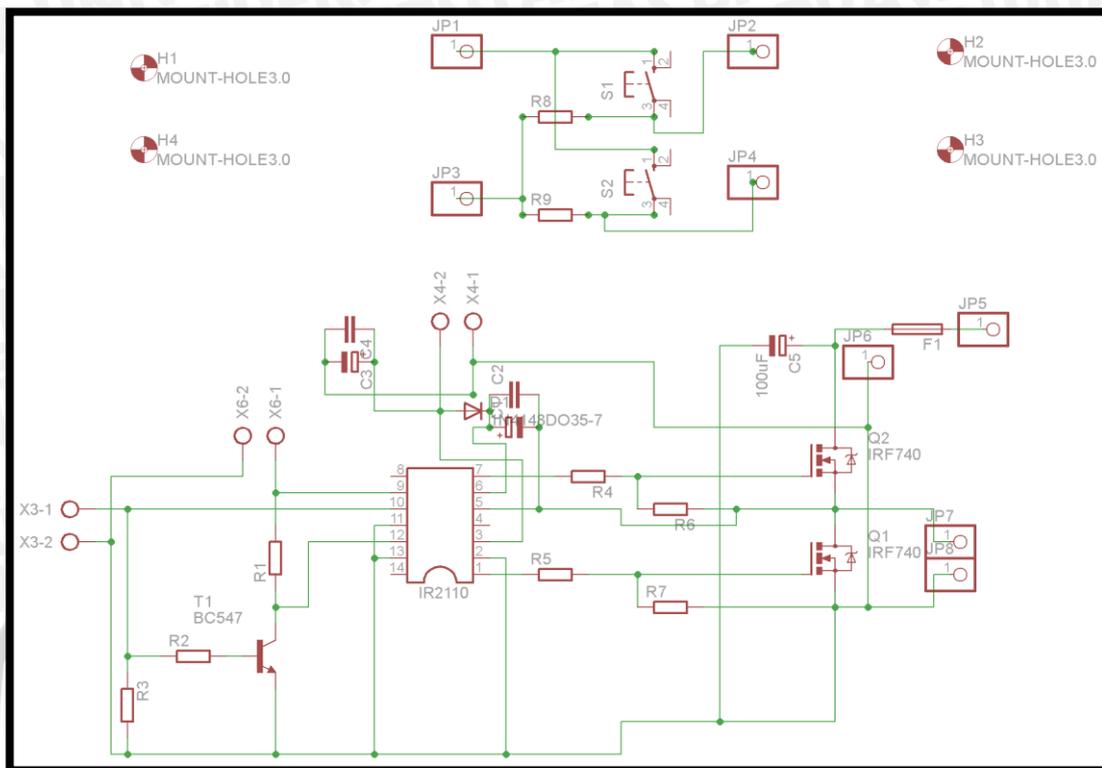
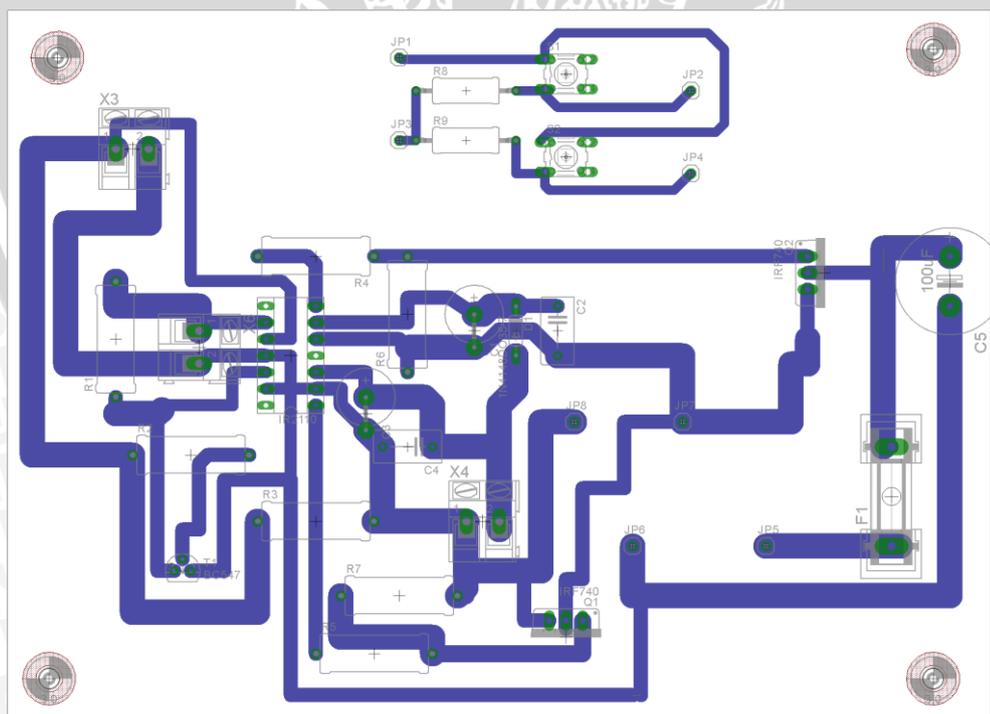


Foto Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

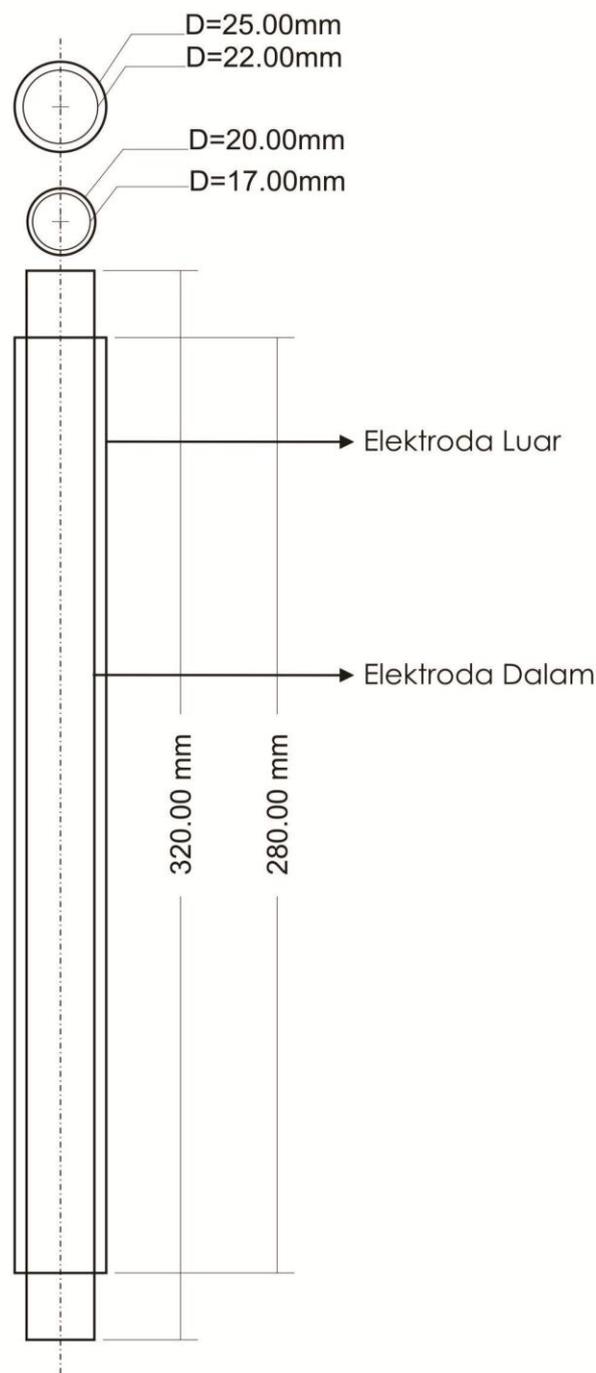
Lampiran 2. Desain Alat



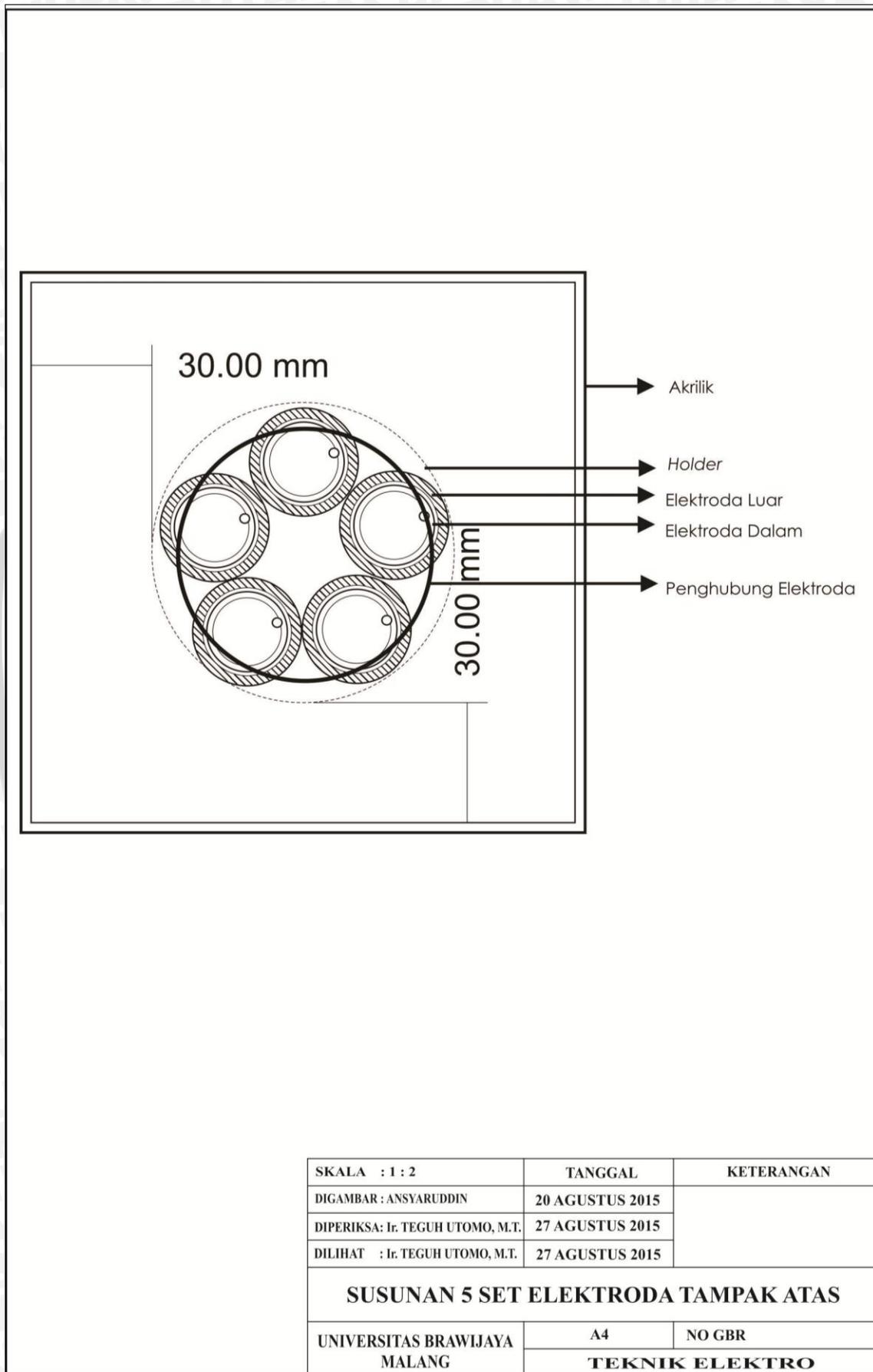
Rangkaian Skematik Pembangkit Pulsa Train

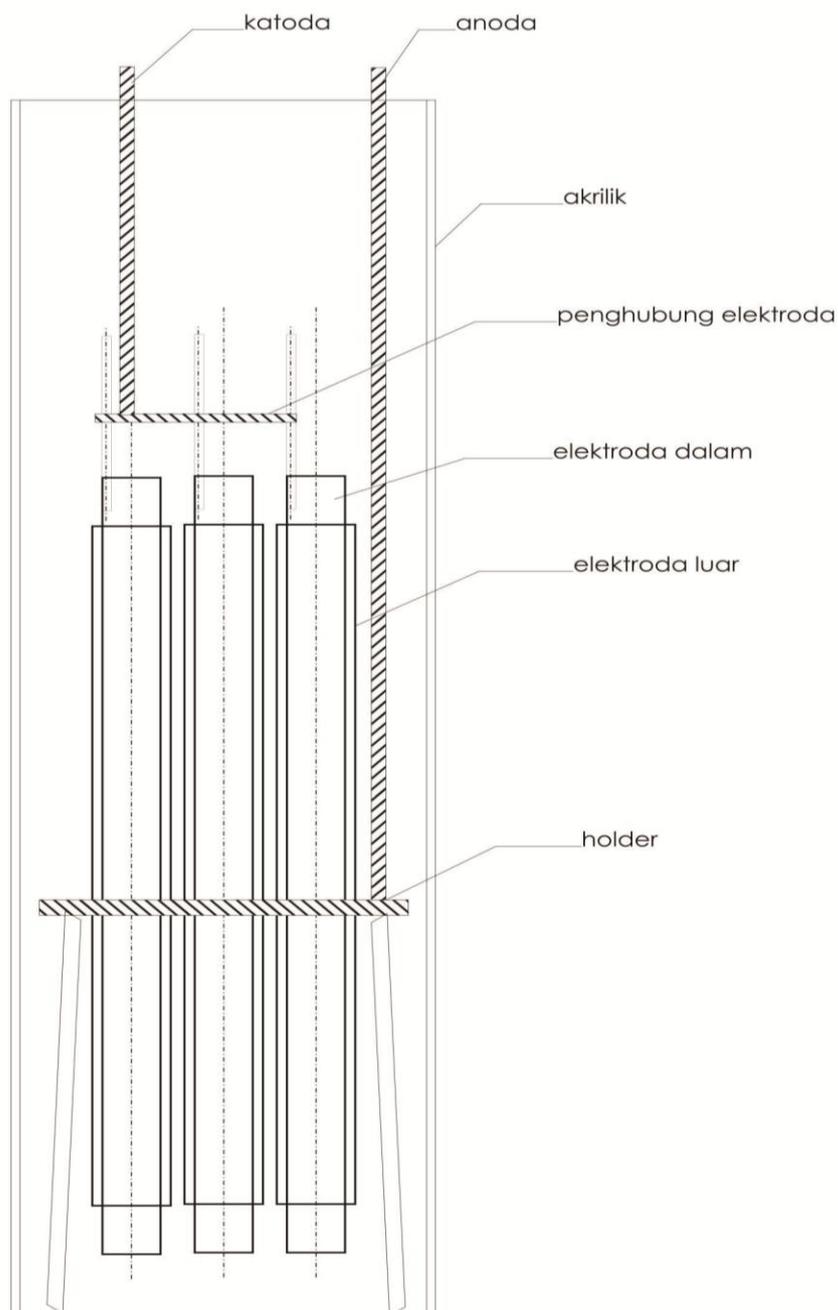


Board Pembangkit Pulsa Train



SKALA : 1 : 2	TANGGAL	KETERANGAN
DIGAMBAR : ANSYARUDDIN	20 AGUSTUS 2015	
DIPERIKSA : Ir. TEGUH UTOMO, M.T.	27 AGUSTUS 2015	
DILIHAT : Ir. TEGUH UTOMO, M.T.	27 AGUSTUS 2015	
SATU SET TABUNG ELEKTRODA		
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG	A4	NO GBR
	TEKNIK ELEKTRO	





SKALA : 1 : 3	TANGGAL	KETERANGAN
DIGAMBAR : ANSYARUDDIN	20 AGUSTUS 2015	
DIPERIKSA: Ir. TEGUH UTOMO, M.T.	27 AGUSTUS 2015	
DILIHAT : Ir. TEGUH UTOMO, M.T.	27 AGUSTUS 2015	
GENARATOR GAS HYDROXY TAMPAK DEPAN		
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG	A4	NO GBR
	TEKNIK ELEKTRO	

Lampiran 3. Listing Program Arduino Uno R3

- Listing program Pulsa train frekuensi termodulasi 5 kHz

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define fastWrite(_pin_, _state_) ( _pin_ < 8 ? (_state_ ? PORTD |= 1 << _pin_ : PORTD &= ~(1 << _pin_)) : (_state_ ? PORTB |= 1 << (_pin_ -8) : PORTB &= ~(1 << (_pin_ -8)))
```

```
const int buttonPin = 2;
const int buttonPin1 = 4;
const int pulsa = 9;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonPushCounter1 = 0;
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState1 = 0;
float input1 = 0;
float input2 = 0;
float input = 0;
float duty, frekuensi;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 7, 3, 6);
```

```
int backLight = 13;
void setup() {
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode (buttonPin1, INPUT);
  pinMode (pulsa, OUTPUT);
  pinMode(backLight, OUTPUT);
  digitalWrite(backLight, HIGH); // turn backlight on. Replace 'HIGH' with 'LOW' to
  turn it off.
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  Serial.begin(9600);
}
```

```
void layar ()
{
  if (input1==0 && input2==0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("--Pulsa Train--");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tekan PushButton");
  }
  else{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F=5 kHz");
    lcd.setCursor(9,0);
  }
}
```

```

lcd.print("D=");
lcd.setCursor(11,0);
duty=5000*input1/(100*input1+100*input2);
lcd.print(duty);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Frek env=");
lcd.setCursor(9,1);
frekuensi=500/(100*input1+100*input2);
lcd.print(frekuensi);
lcd.setCursor(13,1);
lcd.print("kHz");
}
}
void loop() {

```

```

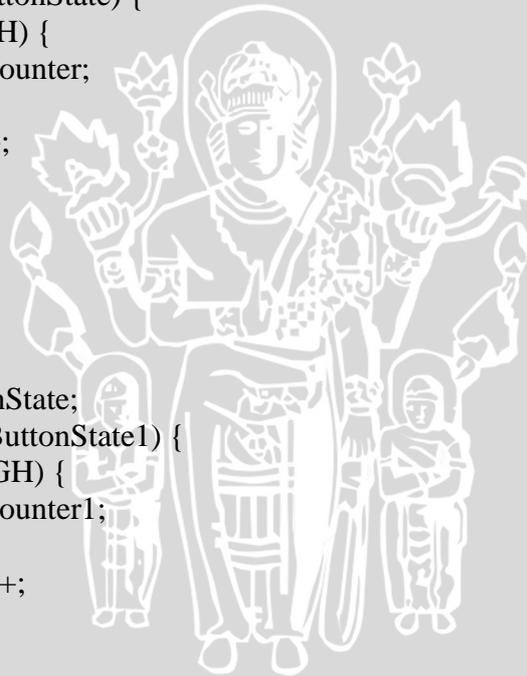
    buttonState = digitalRead(buttonPin);
    buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
    if (buttonState != lastButtonState) {
        if (buttonState == HIGH) {
            input1 = buttonPushCounter;
            layar ();
            buttonPushCounter++;
            Serial.println(input1);
        }
        else {
            Serial.println("off");
        }
    }
    lastButtonState = buttonState;
    if (buttonState1 != lastButtonState1) {
        if (buttonState1 == HIGH) {
            input2 = buttonPushCounter1;
            layar ();
            buttonPushCounter1++;
            input=190*input2;
            Serial.println(input2);
        }
        else {
            Serial.println("off");
        }
    }
    lastButtonState1 = buttonState1;

```

```

    if(input1==1 && input2==0)
    {
        fastWrite(pulsa,LOW);
        delayMicroseconds(100);
        fastWrite(pulsa,HIGH);
        delayMicroseconds(100);
    }

```



```

}
else {
for (int i=1; i <= input1; i++)
{
fastWrite(pulsa,LOW);
delayMicroseconds(100);
fastWrite(pulsa,HIGH);
delayMicroseconds(100);
}
fastWrite (pulsa,HIGH);
delayMicroseconds(input);
}}

```

- Listing program Pulsa train frekuensi termodulasi 10 kHz

```

#include <LiquidCrystal.h>
#define fastWrite(_pin_, _state_) ( _pin_ < 8 ? (_state_ ? PORTD |= 1 << _pin_ : PORTD &= ~(1 << _pin_)) : (_state_ ? PORTB |= 1 << (_pin_ -8) : PORTB &= ~(1 << (_pin_ -8)))

const int buttonPin = 2;
const int buttonPin1 = 4;
const int pulsa = 9;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonPushCounter1 = 0;
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState1 = 0;
float input1 = 0;
float input2 = 0;
float input = 0;
float duty, frekuensi;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 7, 3, 6);

int backLight = 13;
void setup() {
pinMode(buttonPin, INPUT);
pinMode (buttonPin1, INPUT);
pinMode (pulsa, OUTPUT);
pinMode(backLight, OUTPUT);
digitalWrite(backLight, HIGH); // turn backlight on. Replace 'HIGH' with 'LOW' to turn it off.
lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
Serial.begin(9600);
}

void layar ()

```



```

{
  if (input1==0 && input2==0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("--Pulsa Train--");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tekan PushButton");
  }
  else{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F=10kHz");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("D=");
    lcd.setCursor(11,0);
    duty=100*input1/(2*input1+2*input2);
    lcd.print(duty);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Frek env=");
    lcd.setCursor(9,1);
    frekuensi=10/(input1+input2);
    lcd.print(frekuensi);
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print("kHz");
  }
}
void loop() {

  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
  if (buttonState != lastButtonState) {
    if (buttonState == HIGH) {
      input1 = buttonPushCounter;
      layar ();
      buttonPushCounter++;
      Serial.println(input1);
    }
    else {
      Serial.println("off");
    }
  }
  lastButtonState = buttonState;
  if (buttonState1 != lastButtonState1) {
    if (buttonState1 == HIGH) {
      input2 = buttonPushCounter1;
      layar ();
      buttonPushCounter1++;
      input=90*input2;
      Serial.println(input2);
    }
  }
}

```



```

else {
    Serial.println("off");
}
}
lastButtonState1 = buttonState1;
if(input1==1 && input2==0)
{
    fastWrite(pulsa,LOW);
    delayMicroseconds(50);
    fastWrite(pulsa,HIGH);
    delayMicroseconds(50);
}
else {
    for (int i=1; i <= input1; i++)
    {
        fastWrite(pulsa,LOW);
        delayMicroseconds(50);
        fastWrite(pulsa,HIGH);
        delayMicroseconds(50);
    }
    fastWrite (pulsa,HIGH);
    delayMicroseconds(input);
}}

```

- Listing program Pulsa train frekuensi termodulasi 20 kHz

```

#include <LiquidCrystal.h>
#define fastWrite(_pin_, _state_) ( _pin_ < 8 ? (_state_ ? PORTD |= 1 << _pin_ : PORTD &= ~(1 << _pin_)) : (_state_ ? PORTB |= 1 << (_pin_ -8) : PORTB &= ~(1 << (_pin_ -8)))

```

```

const int buttonPin = 2;
const int buttonPin1 = 4;
const int pulsa = 9;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonPushCounter1 = 0;
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState1 = 0;
float input1 = 0;
float input2 = 0;
float input = 0;
float duty, frekuensi;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 7, 3, 6);

```

```

int backLight = 13;
void setup() {
    pinMode(buttonPin, INPUT);

```

```

pinMode (buttonPin1, INPUT);
pinMode (pulsa, OUTPUT);
pinMode(backLight, OUTPUT);
digitalWrite(backLight, HIGH); // turn backlight on. Replace 'HIGH' with 'LOW' to
turn it off.
lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
Serial.begin(9600);
}

```

```

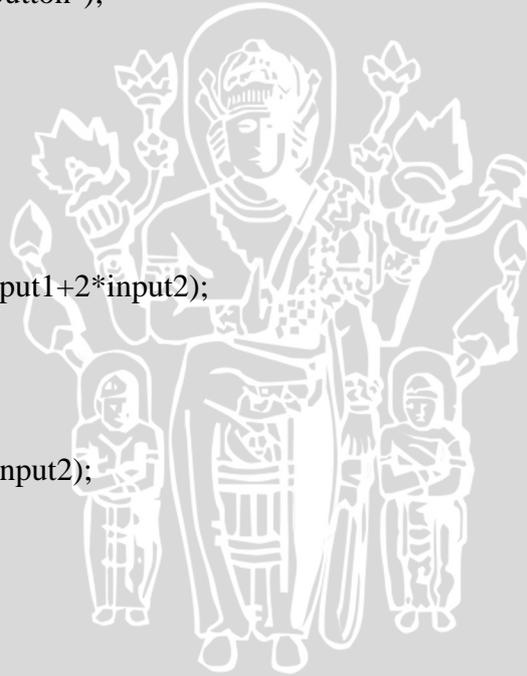
void layar ()
{
  if (input1==0 && input2==0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("--Pulsa  Train--");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tekan PushButton");
  }
  else{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F=20kHz");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("D=");
    lcd.setCursor(11,0);
    duty=100*input1/(2*input1+2*input2);
    lcd.print(duty);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Frek env=");
    lcd.setCursor(9,1);
    frekuensi=20/(input1+input2);
    lcd.print(frekuensi);
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print("kHz");
  }
}
void loop() {

```

```

  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
  if (buttonState != lastButtonState) {
    if (buttonState == HIGH) {
      input1 = buttonPushCounter;
      layar ();
      buttonPushCounter++;
      Serial.println(input1);
    }
    else {
      Serial.println("off");
    }
  }
}

```



```

    }
  }
  lastButtonState = buttonState;
  if (buttonState1 != lastButtonState1) {
    if (buttonState1 == HIGH) {
      input2 = buttonPushCounter1;
      layar ();
      buttonPushCounter1++;
      input=40*input2;
      Serial.println(input2);
    }
    else {
      Serial.println("off");
    }
  }
  lastButtonState1 = buttonState1;

  if(input1==1 && input2==0)
  {
    fastWrite(pulsa,LOW);
    delayMicroseconds(25);
    fastWrite(pulsa,HIGH);
    delayMicroseconds(25);
  }
  else {
    for (int i=1; i <= input1; i++)
    {
      fastWrite(pulsa,LOW);
      delayMicroseconds(25);
      fastWrite(pulsa,HIGH);
      delayMicroseconds(25);
    }
    fastWrite (pulsa,HIGH);
    delayMicroseconds(input);
  }}

```

- Listing program Pulsa train frekuensi termodulasi 30 kHz

```

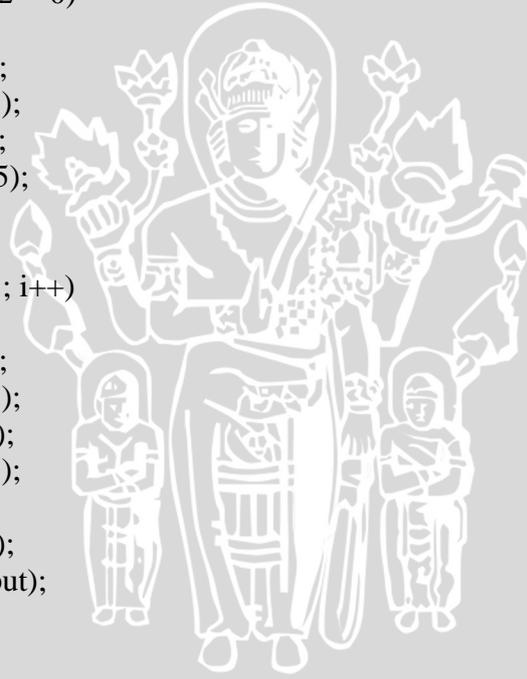
#include <LiquidCrystal.h>
#define fastWrite(_pin_, _state_) ( _pin_ < 8 ? (_state_ ? PORTD |= 1 << _pin_ : PORTD &= ~(1 << _pin_)) : (_state_ ? PORTB |= 1 << (_pin_ -8) : PORTB &= ~(1 << (_pin_ -8) )))

```

```

const int buttonPin = 2;
const int buttonPin1 = 4;
const int pulsa = 9;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonPushCounter1 = 0;
int buttonState = 0;

```



```
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState1 = 0;
float input1 = 0;
float input2 = 0;
float input = 0;
float duty, frekuensi;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 7, 3, 6);

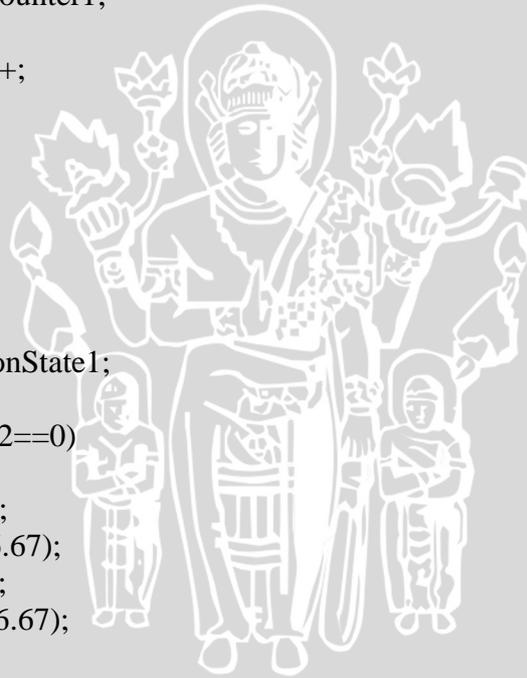
int backLight = 13;
void setup() {
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode (buttonPin1, INPUT);
  pinMode (pulsa, OUTPUT);
  pinMode(backLight, OUTPUT);
  digitalWrite(backLight, HIGH); // turn backlight on. Replace 'HIGH' with 'LOW' to
  turn it off.
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  Serial.begin(9600);
}

void layar ()
{
  if (input1==0 && input2==0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("--Pulsa Train--");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tekan PushButton");
  }
  else{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F=30kHz");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("D=");
    lcd.setCursor(11,0);
    duty=100*input1/(2*input1+2*input2);
    lcd.print(duty);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Frek env=");
    lcd.setCursor(9,1);
    frekuensi=30/(input1+input2);
    lcd.print(frekuensi);
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print("kHz");
  }
}

void loop() {
```

```
buttonState = digitalRead(buttonPin);
buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
if (buttonState != lastButtonState) {
  if (buttonState == HIGH) {
    input1 = buttonPushCounter;
    layar ();
    buttonPushCounter++;
    Serial.println(input1);
  }
  else {
    Serial.println("off");
  }
}
lastButtonState = buttonState;
if (buttonState1 != lastButtonState1) {
  if (buttonState1 == HIGH) {
    input2 = buttonPushCounter1;
    layar ();
    buttonPushCounter1++;
    input=20*input2;
    Serial.println(input2);
  }
  else {
    Serial.println("off");
  }
}
lastButtonState1 = buttonState1;

if(input1==1 && input2==0)
{
  fastWrite(pulsa,LOW);
  delayMicroseconds(16.67);
  fastWrite(pulsa,HIGH);
  delayMicroseconds(16.67);
}
else {
  for (int i=1; i <= input1; i++)
  {
    fastWrite(pulsa,LOW);
    delayMicroseconds(16.67);
    fastWrite(pulsa,HIGH);
    delayMicroseconds(16.67);
  }
  fastWrite (pulsa,HIGH);
  delayMicroseconds(input);
}
}
```



- Listing program Pulsa train frekuensi termodulasi 40 kHz

```

#include <LiquidCrystal.h>
#define fastWrite(_pin_, _state_) ( _pin_ < 8 ? (_state_ ? PORTD |= 1 << _pin_ :
PORTD &= ~(1 << _pin_)) : (_state_ ? PORTB |= 1 << (_pin_ -8) : PORTB &= ~(1
<< (_pin_ -8)))

const int buttonPin = 2;
const int buttonPin1 = 4;
const int pulsa = 9;
int buttonPushCounter = 0;
int buttonPushCounter1 = 0;
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
int lastButtonState1 = 0;
float input1 = 0;
float input2 = 0;
float input = 0;
float duty, frekuensi;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 7, 3, 6);

int backLight = 13;
void setup() {
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode (buttonPin1, INPUT);
  pinMode (pulsa, OUTPUT);
  pinMode(backLight, OUTPUT);
  digitalWrite(backLight, HIGH); // turn backlight on. Replace 'HIGH' with 'LOW' to
turn it off.
  lcd.begin(16,2);
  lcd.clear();
  Serial.begin(9600);
}

void layar ()
{
  if (input1==0 && input2==0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("--Pulsa Train--");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Tekan PushButton");
  }
  else{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("F=40kHz");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("D=");
  }
}

```

```
lcd.setCursor(11,0);  
duty=100*input1/(2*input1+2*input2);  
lcd.print(duty);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Frek env=");  
lcd.setCursor(9,1);  
frekuensi=40/(input1+input2);  
lcd.print(frekuensi);  
lcd.setCursor(13,1);  
lcd.print("kHz");  
}
```

```
}  
void loop() {
```

```
    buttonState = digitalRead(buttonPin);  
    buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);  
    if (buttonState != lastButtonState) {  
        if (buttonState == HIGH) {  
            input1 = buttonPushCounter;  
            layar ();  
            buttonPushCounter++;  
            Serial.println(input1);  
        }  
        else {  
            Serial.println("off");  
        }  
    }
```

```
    lastButtonState = buttonState;  
    if (buttonState1 != lastButtonState1) {  
        if (buttonState1 == HIGH) {  
            input2 = buttonPushCounter1;  
            layar ();  
            buttonPushCounter1++;  
            input=20*input2;  
            Serial.println(input2);  
        }  
        else {  
            Serial.println("off");  
        }  
    }  
    lastButtonState1 = buttonState1;
```

```
    if(input1==1 && input2==0)  
    {  
        fastWrite(pulsa,LOW);  
        delayMicroseconds(12.5);  
        fastWrite(pulsa,HIGH);  
        delayMicroseconds(12.5);  
    }  
    else {
```



```
for (int i=1; i <= input1; i++)  
{  
  fastWrite(pulsa,LOW);  
  delayMicroseconds(12.5);  
  fastWrite(pulsa,HIGH);  
  delayMicroseconds(12.5);  
}  
fastWrite (pulsa,HIGH);  
delayMicroseconds(input);  
}}
```

