



***Analisis Driver H-Bridge Menggunakan Relay Pada Motor BLDC
Konstruksi Axial Flux (Celah Ganda)***

SKRIPSI

Oleh:

**Muhammad
NIM 161910201115**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



***Analisis Driver H-Bridge Menggunakan Relay Pada Motor BLDC
Konstruksi Axial Flux (Celah Ganda)***

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk
menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

Oleh:

**Muhammad
NIM 161910201115**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini merupakan sebuah awal, langkah kecil menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Untuk itu saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada...

Allah SWT, dengan segala Keagungan dan Kejayaan-Nya yang senantiasa mendengar do'a ku, menuntunku dari dari kegelapan, serta senantiasa menaungiku dengan rahmat dan hidayah-Nya dan junjunganku Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi penerang di dunia dan suri tauladan bagi kita semua;

Ibunda Elma, Ayahanda Ibrahim, dan Saudariku Amirah, Adibah, dan Atikah, terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, semangat, dan doa selama ini;

Dosen Pembimbing Tugas Akhir Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Ibu Ike Fibriani, S.T, M.T. terimakasih atas ketekunan dan kesabarannya dalam membimbing saya;

Seluruh teman dan sahabat seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2013, kalian sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan. Aku menjadikan kalian semua bagian dari diriku dan aku sangat menyayangi kalian semua;

Buat semua teman-teman Jurusan Elektro angkatan 2014, 2015, dan 2016. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang ikut dalam membantu dan berdoa;

Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran”

(QS: Al Ashr 1-3)

“Pengetahuan tidaklah cukup; kita harus mengamalkannya. Niat tidaklah cukup; kita harus melakukannya”

(Johann Wolfgang von Goethe)

“Mendapatkan nilai buruk atas usaha sendiri masih lebih baik daripada mendapat nilai baik atas usaha orang lain”

(Rizal Abdillah)

“Ketika kita sedang bersedih dan hidup dalam kesusahan, Tersenyum dan ucapkan syukur kepada Tuhan

bahwa kita masih hidup”

(Rizal Abdillah)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad

NIM : 161910201115

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 09 Juli 2018

Yang menyatakan,

Muhammad

NIM 161910201115

SKRIPSI

**ANALISIS DRIVER H-BRIDGE MENGGUNAKAN RELAY PADA
MOTOR BLDC KONSTRUKSI AXIAL FLUX (CELAH GANDA)**

Oleh
Muhammad
NIM 161910201115

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ike Fibriani, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda)” karya Muhammad NIM: 161910201115 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 09 Juli 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Ir. Widyono Hadi, M.T.

Ike Fibriani, S.T., M.T.

NIP 19610414 198902 1 001

NIP 19800207 201504 2 001

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng

NIP 19700404 199601 1 001

NRP 760015734

Mengesahkan
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M

NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Driver H-Bridge Menggunakan Relay Pada Motor BLDC Konstruksi Axial Flux (Celah Ganda); Muhammad, 161910201115; 2018; 108 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam jaman yang modern ini, masyarakat sangat membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Dimana listrik ini merupakan energi sekunder yang paling populer. Motor listrik ini juga merupakan sebuah alat pengubah energi listrik menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini sendiri sebagai penggerak yang digunakan untuk berbagai macam keperluan. Perkembangan motor listrik ini sendiri sangat pesat di dunia ini akibat terjadinya pemanasan global dan menipisnya bahan bakar minyak dunia. Dengan berkembangnya teknologi pada saat ini sangat memudahkan kegiatan manusia dalam melakukan kegiatan-kegiatan setiap harinya. Salah satu hasil dari perkembangan teknologi tersebut yaitu motor DC. Motor DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan tegangan searah, berbeda dengan motor AC yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan tegangan bolak-balik. Motor DC ini memiliki banyak kekurangan dimana kekurangan tersebut seperti membutuhkan perawatan yang ekstra, tidak bisa digunakan dengan kecepatan yang tinggi karena penggunaan sikat (*brush*) dan juga komutator membatasi kecepatannya, dan tidak bisa digunakan untuk aplikasi yang besar. *Brush* pada motor DC ini sangat mudah rusak karena pada saat motor berputar akan timbul *arching* pada *brush* akibat komutasi.

Dengan adanya kekurangan tersebut, maka bertambahnya jaman dan teknologi yang semakin maju maka banyak orang yang mengembangkan berbagai macam cara untuk memperbaiki kekurangan tersebut, dengan cara tanpa menggunakan sikat (*brush*). Hal ini dapat memperbaiki efisiensi dan dapat meningkatkan kecepatan dari motor DC yang awalnya dibatasi oleh adanya sikat (*brush*). Motor yang tanpa menggunakan sikat (*brush*) dikenal dengan nama motor BLDC. Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) adalah sebuah mesin listrik berputar, dimana stator merupakan belitan stator tiga fasa seperti motor induksi, dan rotor terdapat magnet permanen dipermukaannya. Motor BLDC

setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, dimana magnet berputar sedangkan komutator tetap diam. Dalam motor BLDC, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian dengan menggunakan dua buah relay sebagai pengganti dari rangkaian *H-Bridge* yang menggunakan transistor. Dengan menggunakan dua buah relay tersebut, diharapkan *driver* relay tersebut dapat membuat motor bekerja terus menerus meskipun kecepatan yang dihasilkan kecil. Sensor yang digunakan pada *driver* relay tersebut yaitu menggunakan sensor *Hall Effect*. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu membandingkan performa *driver* yang semula menggunakan rangkaian *H-Bridge* dengan empat buah transistor dan rangkaian pembalik (*inverter*) sebelum masuk ke rangkaian utama transistor. Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) memiliki tiga jenis motor berdasarkan banyaknya fasa yang digunakan, antara lain motor BLDC 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Dari ketiga jenis motor BLDC tersebut, pada penelitian ini menggunakan motor BLDC satu fasa dengan enam buah magnet permanen pada rotornya, pada stator menggunakan enam buah kumparan, dengan posisi tiga buah kumparan diatas rotor dan tiga buah kumparan dibawah rotor. Dengan konstruksi tersebut maka motor BLDC yang dibuat memiliki celah ganda. Sedangkan sensor *Hall Effect* tersebut merupakan sensor magnet yang keluarannya dihasilkan berupa pulsa-pulsa yang digunakan sebagai masukan pada rangkaian *driver*. Sensor *Hall Effect* ini akan bekerja ketika kutub utara sensor *Hall Effect* bertemu dengan magnet yang berkutub utara maka kumparan akan bersifat positif. Sedangkan ketika kutub utara sensor *Hall Effect* bertemu dengan magnet yang berkutub selatan maka kumparan akan bersifat negatif sehingga tidak menghasilkan tegangan.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul ” Analisis *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda) ” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan rizki-Nya serta memberi kelancaran dan kemudahan sehingga terselesainya skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita ke peradaban manusia yang lebih baik.
3. Bapak/Ibu, Keluarga Besar yang telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesainya skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Ike Fibriani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya skripsi ini.
8. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Guido Dias Kalandro, S.ST., M.Eng selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

9. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA) yang telah memberikan bimbingan dan pengarahannya.
10. Seluruh Dosen yang ada di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro beserta karyawan.
11. Keluarga besar Teknik Elektro angkatan 2013, 2014, 2015, 2016 terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 09 Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Motor Listrik.....	5
2.2 Jenis-Jenis Motor Listrik	6
2.3 Driver Motor	11
2.4 Driver H-Bridge.....	12

2.5 Inverter	13
2.6 Relay	14
2.7 Transistor	16
2.8 Magnet Permanen(<i>Neodymuim</i>)	19
2.9 Sensor Magnet (<i>Hall effect</i>)	20
2.10Faktor – Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kinerja Motor ...	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan.....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Tahapan Penelitian	27
3.4 Blok Diagram dan Perancangan Sistem	29
3.5 Desain Motor BLDC Konstruksi <i>Axial Flux</i> (Celah Ganda).....	30
3.6 Desain <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i>	32
3.7 Pengujian Pada <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i>	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pengujian Tegangan dan Arus <i>Output</i>	35
4.2 Pengujian Arus Basis	42
4.3 Pengujian Ketahanan <i>Relay</i>	44
BAB 5. PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengujian Tegangan dan Arus <i>Output</i> Motor BLDC.....	35
Tabel 4.2 Pengujian Arus Basis Motor BLDC Konstruksi <i>Axial Flux</i>	42
Tabel 4.3 Pengujian Pertama Ketahanan <i>Relay</i> Pada Motor BLDC.....	44
Tabel 4.4 Pengujian Kedua Ketahanan <i>Relay</i> Pada Motor BLDC.....	47
Tabel 4.5 Rata-Rata Ketahanan <i>Relay</i> Pada Motor BLDC	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Motor Listrik	6
Gambar 2.2	Konstruksi DC <i>Brushed</i> Motor	9
Gambar 2.3	Stator BLDC motor	11
Gambar 2.4	<i>Driver</i> Motor	12
Gambar 2.5	Rangkaian <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i>	13
Gambar 2.6	IC 4049 <i>Hex Inverter</i>	14
Gambar 2.7	Konstruksi <i>Relay</i>	16
Gambar 2.8	<i>Bipolar Junction</i> Transistor.....	18
Gambar 2.9	<i>Field Effect</i> Transistor.....	19
Gambar 2.10	Magnet <i>Neodymium</i> Koin.....	20
Gambar 2.11	Sensor <i>Hall Effect</i>	21
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian	27
Gambar 3.2	Blok Diagram Sistem	29
Gambar 3.3	Rangkaian <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i>	29
Gambar 3.4	Perancangan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Tampak Atas	31
Gambar 3.5	Perancangan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Tampak Samping.....	31
Gambar 3.6	Perancangan Motor <i>Brushless Direct Current Axial Flux</i> Tampak Belakang.....	32
Gambar 3.7	Perancangan <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i> Tampak Atas ..	32
Gambar 3.8	Perancangan <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i> Tampak Samping	33
Gambar 3.9	Perancangan <i>Driver H-Bridge</i> Menggunakan <i>Relay</i> Tampak Depan	33
Gambar 4.1	Grafik Keluaran Tegangan Pada Lilitan 100.....	38
Gambar 4.2	Grafik Keluaran Arus Pada Lilitan 100.....	38
Gambar 4.3	Grafik Keluaran Tegangan Pada Lilitan 200.....	39
Gambar 4.4	Grafik Keluaran Arus Pada Lilitan 200.....	39
Gambar 4.5	Grafik Keluaran Tegangan Pada Lilitan 300.....	40
Gambar 4.6	Grafik Keluaran Arus Pada Lilitan 300.....	40

Gambar 4.7	Grafik Keluaran Tegangan Pada Lilitan 400.....	41
Gambar 4.8	Grafik Keluaran Arus Pada Lilitan 400.....	41
Gambar 4.9	Grafik Arus Basis Pada Lilitan 100, 200, 300 dan 400.....	44
Gambar 4.10	Grafik Ketahanan <i>Relay</i> Pada Pengujian 1 dan Pengujian 2.....	51



DAFTAR LAMPIRAN

A. Pengujian Kecepatan Motor, Tegangan dan Arus *Output*, Arus Basis

Gambar A.1	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 5V	53
Gambar A.2	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 6V	53
Gambar A.3	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 7V	54
Gambar A.4	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 8V	54
Gambar A.5	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 9V	55
Gambar A.6	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 10V	55
Gambar A.7	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 11V	56
Gambar A.8	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 12V	56
Gambar A.9	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 13V	57
Gambar A.10	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 14V	57
Gambar A.11	Pengujian Pada Lilitan 100 Tegangan 15V	58
Gambar A.12	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 5V	58
Gambar A.13	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 6V	59
Gambar A.14	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 7V	59
Gambar A.15	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 8V	60
Gambar A.16	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 9V	60
Gambar A.17	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 10V	61
Gambar A.18	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 11V	61
Gambar A.19	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 12V	62
Gambar A.20	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 13V	62
Gambar A.21	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 14V	63
Gambar A.22	Pengujian Pada Lilitan 200 Tegangan 15V	63
Gambar A.23	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 5V	64
Gambar A.24	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 6V	64
Gambar A.25	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 7V	65
Gambar A.26	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 8V	65
Gambar A.27	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 9V	66
Gambar A.28	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 10V	66
Gambar A.29	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 11V	67
Gambar A.30	Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 12V	67

Gambar A.31 Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 13V	68
Gambar A.32 Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 14V	68
Gambar A.33 Pengujian Pada Lilitan 300 Tegangan 15V	69
Gambar A.34 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 5V	69
Gambar A.35 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 6V	70
Gambar A.36 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 7V	70
Gambar A.37 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 8V	71
Gambar A.38 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 9V	71
Gambar A.39 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 10V	72
Gambar A.40 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 11V	72
Gambar A.41 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 12V	73
Gambar A.42 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 13V	73
Gambar A.43 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 14V	74
Gambar A.44 Pengujian Pada Lilitan 400 Tegangan 15V	74

B. Ketahanan Relay

Pengujian 1

Gambar B.1 Pengujian Ketahanan Relay Selama 1 Menit	75
Gambar B.2 Pengujian Ketahanan Relay Selama 2 Menit	75
Gambar B.3 Pengujian Ketahanan Relay Selama 3 Menit	76
Gambar B.4 Pengujian Ketahanan Relay Selama 4 Menit	76
Gambar B.5 Pengujian Ketahanan Relay Selama 5 Menit	77
Gambar B.6 Pengujian Ketahanan Relay Selama 6 Menit	77
Gambar B.7 Pengujian Ketahanan Relay Selama 7 Menit	78
Gambar B.8 Pengujian Ketahanan Relay Selama 8 Menit	78
Gambar B.9 Pengujian Ketahanan Relay Selama 9 Menit	79
Gambar B.10 Pengujian Ketahanan Relay Selama 10 Menit	79
Gambar B.11 Pengujian Ketahanan Relay Selama 11 Menit	80
Gambar B.12 Pengujian Ketahanan Relay Selama 12 Menit	80
Gambar B.13 Pengujian Ketahanan Relay Selama 13 Menit	81
Gambar B.14 Pengujian Ketahanan Relay Selama 14 Menit	81
Gambar B.15 Pengujian Ketahanan Relay Selama 15 Menit	82
Gambar B.16 Pengujian Ketahanan Relay Selama 16 Menit	82

Gambar B.17 Pengujian Ketahanan Relay Selama 17 Menit	83
Gambar B.18 Pengujian Ketahanan Relay Selama 18 Menit	83
Gambar B.19 Pengujian Ketahanan Relay Selama 19 Menit	84
Gambar B.20 Pengujian Ketahanan Relay Selama 20 Menit	84
Gambar B.21 Pengujian Ketahanan Relay Selama 21 Menit	85
Gambar B.22 Pengujian Ketahanan Relay Selama 22 Menit	85
Gambar B.23 Pengujian Ketahanan Relay Selama 23 Menit	86
Gambar B.24 Pengujian Ketahanan Relay Selama 24 Menit	86
Gambar B.25 Pengujian Ketahanan Relay Selama 25 Menit	87
Gambar B.26 Pengujian Ketahanan Relay Selama 26 Menit	87
Gambar B.27 Pengujian Ketahanan Relay Selama 27 Menit	88
Gambar B.28 Pengujian Ketahanan Relay Selama 28 Menit	88
Gambar B.29 Pengujian Ketahanan Relay Selama 29 Menit	89
Gambar B.30 Pengujian Ketahanan Relay Selama 30 Menit	89
Gambar B.31 Pengujian Ketahanan Relay Saat Mati	90

Pengujian2

Gambar B.32 Pengujian Ketahanan Relay Selama 1 Menit	90
Gambar B.33 Pengujian Ketahanan Relay Selama 2 Menit	91
Gambar B.34 Pengujian Ketahanan Relay Selama 3 Menit	91
Gambar B.35 Pengujian Ketahanan Relay Selama 4 Menit	92
Gambar B.36 Pengujian Ketahanan Relay Selama 5 Menit	92
Gambar B.37 Pengujian Ketahanan Relay Selama 6 Menit	93
Gambar B.38 Pengujian Ketahanan Relay Selama 7 Menit	93
Gambar B.39 Pengujian Ketahanan Relay Selama 8 Menit	94
Gambar B.40 Pengujian Ketahanan Relay Selama 9 Menit	94
Gambar B.41 Pengujian Ketahanan Relay Selama 10 Menit	95
Gambar B.42 Pengujian Ketahanan Relay Selama 11 Menit	95
Gambar B.43 Pengujian Ketahanan Relay Selama 12 Menit	96
Gambar B.44 Pengujian Ketahanan Relay Selama 13 Menit	96
Gambar B.45 Pengujian Ketahanan Relay Selama 14 Menit	97
Gambar B.46 Pengujian Ketahanan Relay Selama 15 Menit	97
Gambar B.47 Pengujian Ketahanan Relay Selama 16 Menit	98

Gambar B.48 Pengujian Ketahanan Relay Selama 17 Menit	98
Gambar B.49 Pengujian Ketahanan Relay Selama 18 Menit	99
Gambar B.50 Pengujian Ketahanan Relay Selama 19 Menit	99
Gambar B.51 Pengujian Ketahanan Relay Selama 20 Menit	100
Gambar B.52 Pengujian Ketahanan Relay Selama 21 Menit	100
Gambar B.53 Pengujian Ketahanan Relay Selama 22 Menit	101
Gambar B.54 Pengujian Ketahanan Relay Selama 23 Menit	101
Gambar B.55 Pengujian Ketahanan Relay Selama 24 Menit	102
Gambar B.56 Pengujian Ketahanan Relay Selama 25 Menit	102
Gambar B.57 Pengujian Ketahanan Relay Selama 26 Menit	103
Gambar B.58 Pengujian Ketahanan Relay Selama 27 Menit	103
Gambar B.59 Pengujian Ketahanan Relay Selama 28 Menit	104
Gambar B.60 Pengujian Ketahanan Relay Selama 29 Menit	104
Gambar B.61 Pengujian Ketahanan Relay Selama 30 Menit	105
Gambar B.62 Pengujian Ketahanan Relay Selama 31 Menit	105
Gambar B.63 Pengujian Ketahanan Relay Selama 32 Menit	106
Gambar B.64 Pengujian Ketahanan Relay Selama 33 Menit	106
Gambar B.65 Pengujian Ketahanan Relay Selama 34 Menit	107
Gambar B.66 Pengujian Ketahanan Relay Selama 35 Menit	107
Gambar B.67 Pengujian Ketahanan Relay Selama 36 Menit	108
Gambar B.68 Pengujian Ketahanan Relay Saat Mati	108

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam jaman yang modern ini, masyarakat sangat membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Dimana listrik ini merupakan energi sekunder yang paling populer. Motor listrik ini juga merupakan sebuah alat pengubah energi listrik menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini sendiri sebagai penggerak yang digunakan untuk berbagai macam keperluan. Perkembangan motor listrik ini sendiri sangat pesat di dunia ini akibat terjadinya pemanasan global dan menipisnya bahan bakar minyak dunia. Dengan berkembangnya teknologi pada saat ini sangat memudahkan kegiatan manusia dalam melakukan kegiatan-kegiatan setiap harinya. Salah satu hasil dari perkembangan teknologi tersebut yaitu motor DC. Motor DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan tegangan searah, berbeda dengan motor AC yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan tegangan bolak-balik. Salah satu contoh motor DC pada dunia industri seperti kompresor, *elevator*, penyedot debu, *konveyor*, traktor, dan lain-lain. Motor DC ini memiliki banyak kekurangan dimana kekurangan tersebut seperti membutuhkan perawatan yang ekstra, tidak bisa digunakan dengan kecepatan yang tinggi karena penggunaan sikat (*brush*) dan juga komutator membatasi kecepatannya, dan tidak bisa digunakan untuk aplikasi yang besar. *Brush* pada motor DC ini sangat mudah rusak karena pada saat motor berputar akan timbul *arching* pada *brush* akibat komutasi. (Wengi dan Yuniarto, 2014)

Dengan adanya kekurangan tersebut, maka bertambahnya jaman dan teknologi yang semakin maju maka banyak orang yang mengembangkan berbagai macam cara untuk memperbaiki kekurangan tersebut, dengan cara tanpa menggunakan sikat (*brush*). Hal ini dapat memperbaiki efisiensi dan dapat meningkatkan kecepatan dari motor DC yang awalnya dibatasi oleh adanya sikat (*brush*). Motor yang tanpa menggunakan sikat (*brush*) dikenal dengan nama motor BLDC. Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) adalah sebuah mesin listrik berputar, dimana stator merupakan belitan stator tiga fasa seperti motor induksi, dan rotor terdapat magnet permanen dipermukaannya. Motor BLDC

setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, dimana magnet berputar sedangkan komutator tetap diam. Dalam motor BLDC, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor. (Leonard N. Elevich, 2005)

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian dengan menggunakan dua buah relay sebagai pengganti dari rangkaian *H-Bridge* yang menggunakan transistor. Dengan menggunakan dua buah relay tersebut, diharapkan *driver* relay tersebut dapat membuat motor bekerja terus menerus meskipun kecepatan yang dihasilkan kecil. Sensor yang digunakan pada *driver* relay tersebut yaitu menggunakan sensor *Hall Effect*. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu membandingkan performa *driver* yang semula menggunakan rangkaian *H-Bridge* dengan empat buah transistor dan rangkaian pembalik (*inverter*) sebelum masuk ke rangkaian utama transistor yang diteliti oleh Muhammad Deny Pradana dari mahasiswa Universitas Jember (UNEJ).

Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) memiliki tiga jenis motor berdasarkan banyaknya fasa yang digunakan, antara lain motor BLDC 1 fasa, 2 fasa, dan 3 fasa. Dari ketiga jenis motor BLDC tersebut, pada penelitian ini menggunakan motor BLDC satu fasa dengan enam buah magnet permanen pada rotornya, pada stator menggunakan enam buah kumparan, dengan posisi tiga buah kumparan diatas rotor dan tiga buah kumparan dibawah rotor. Dengan konstruksi tersebut maka motor BLDC yang dibuat memiliki celah ganda. Sedangkan sensor *Hall Effect* tersebut merupakan sensor magnet yang keluarannya dihasilkan berupa pulsa-pulsa yang digunakan sebagai masukan pada rangkaian *driver*. Sensor *Hall Effect* ini akan bekerja ketika kutub utara sensor *Hall Effect* bertemu dengan magnet yang berkutub utara maka kumparan akan bersifat positif. Sedangkan ketika kutub utara sensor *Hall Effect* bertemu dengan magnet yang berkutub selatan maka kumparan akan bersifat negatif sehingga tidak menghasilkan tegangan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana membuat *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda) ?
- b. Bagaimana menguji kinerja dari *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda)?
- c. Berapa lama ketahanan *relay* dari *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda)?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan penelitian diatas, supaya pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah yaitu :

- a. *Driver H-Bridge* motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda) menggunakan *Relay* 5VDC 5 terminal.
- b. Menggunakan IC *Hex Inverter* 4049.
- c. Pengujian hanya dilakukan pada nilai arus basis, ketahanan *relay*, dan keluaran tegangan dan arus *driver*.
- d. Pengujian keluaran tegangan dan arus *driver* pada kawat *email* 100, 200, 300, dan 400 lilitan.
- e. Pengujian arus basis pada kawat *email* 100, 200, 300, dan 400 lilitan.
- f. Pengujian ketahanan *relay* pada tegangan 9v dan kawat *email* 100 lilitan.
- g. Menggunakan tegangan kerja dari 5V sampai 15V.
- h. Menggunakan sensor magnet *Hall Effect* sebagai pengendali atau proses *switching*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui pembuatan *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda).

- b. Mengetahui kinerja dari *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat membandingkan model pembuatan *driver H-Bridge* menggunakan *Relay* dengan model *driver H-Bridge* lainnya.
- b. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai ketahanan *Relay* pada *driver H-Bridge* menggunakan *Relay*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang terdapat dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

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

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori tentang *driver H-Bridge* menggunakan *relay* dan komponen yang digunakan dalam mendesain pembuatan alat.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang tahapan penelitian, perancangan, dan desain *driver H-Bridge* menggunakan *relay*.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Berisi tentang proses pengujian alat, pengambilan data, dan analisa data yang kemudian dimasukkan dalam pembahasan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari pengujian dan pembuatan alat yang telah dilakukan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mengetahui hasil pengujian dari keluaran *driver* motor yang digunakan pada motor BLDC *Axial Flux* ini, maka diperlukan kajian teori dan kajian hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan agar suatu rangkaian dapat bekerja dengan baik sehingga didapatkan hasil yang maksimal. Dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu tentang analisis *driver* motor *brushless direct current* (BLDC) adalah sebagai berikut.

2.1 Pengertian Motor Listrik

Pengertian motor listrik adalah komponen elektronika yang terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga sehingga terbentuk kumparan dengan intinya, dan ditempatkan diantara dua magnet. Ketika kumparan tersebut teraliri tegangan listrik maka akan terjadi gaya magnet yang berlawanan arah atau sebaliknya dengan magnet permanen tersebut, maka dari itu akan menggerakkan inti kumparan dan selanjutnya gaya gerak yang timbul dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan.

Pengertian motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar pompa, kipas atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah dan di industri. Motor listrik ini kadangkala disebut kuda kerja nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik dari total di industri. Mekanisme dari kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama, yaitu:

- a. Arus listrik dalam sebuah medan magnet akan memberikan gaya.
- b. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan maka akan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi loop yaitu pada sudut kanan dari medan magnet akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- c. Pasangan gaya menghasilkan sebuah tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan.

d. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya akan dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut dengan kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor, sangat penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/*torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban pada umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok, yaitu:

- a. Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi sesuai dengan kecepatan operasinya namun *torque* nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah konveyor.
- b. Beban dengan variabel *torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi sesuai dengan kecepatan operasi tersebut. Contoh beban dengan variable *torque* adalah pompa dan kipas.
- c. Beban dengan energi konstan adalah beban sesuai dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.



Gambar 2.1 Motor Listrik

Sumber : Yoppisandi, 2017

2.2 Jenis-jenis Motor Listrik

Motor listrik yang digunakan dapat dibedakan menjadi dua yaitu motor DC dan motor AC. Dibawah ini ada beberapa macam motor listrik yaitu :

a. Motor AC

Motor arus bolak-balik atau yang biasa disebut motor AC adalah sebuah motor listrik yang digerakkan oleh alternating current atau arus bolak-balik (AC). Pada umumnya, motor AC terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada di luar. Stator mempunyai koil yang di aliri oleh arus listrik bolak-balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Bagian yang kedua yaitu rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor Bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar. Motor AC memiliki sebuah kecepatan motor yang sangat sulit dikendalikan, dimana cara untuk mengatasi masalah tersebut yaitu motor AC dilengkapi dengan sebuah penggerak frekuensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan dan sekaligus menurunkan dayanya. Pada motor AC ini sendiri memiliki dua jenis motor yaitu motor sinkron dan motor induksi. Motor sinkron adalah motor AC, bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki *torque* awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah seperti kompresor udara. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistem, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik. (Wanda, 2015)

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan. Pada motor ini bekerja sesuai dengan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus pada rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. (Henny, 2011)

b. Motor DC

Motor listrik arus searah merupakan suatu mesin listrik yang mengubah tenaga listrik arus searah menjadi mekanik putaran. Sumber listrik atau tenaga listrik yang digunakan dapat berasal dari baterai/elemen kering, *accumulator*

/elemen basah, *solar cell*, atau dari sumber listrik arus bolak-balik yang sudah disearahkan.

Motor DC ini memiliki tiga komponen utama yaitu kutub medan, dinamo, dan *commutator*. Ditinjau dari segi konstruksinya, antara motor arus searah (DC motor) dengan generator arus searah yang menggunakan penyearahan mekanik/komutator, hampir tidak ada bedanya. Perbedaan yang ada karena pemanfaatannya. Jika diberi catu daya, daya arus searah akan berfungsi sebagai motor. Sebaliknya, jika diputar daya arus searah akan berfungsi sebagai generator.

Prinsip kerja dari motor arus searah (DC motor) yaitu arus listrik mengalir dari sumber/polaritas positif (+) menuju sikat a. Dari sikat a arus listrik masuk pada kumparan dan menuju sikat b, dari sikat b kembali ke sumber polaritas negatif (-). Ketika arus keluar dari sikat a menuju kumparan, berarti kumparan mendapatkan arus yang arahnya meninggalkan kita. Sebaliknya, arus yang menuju sikat b, arahnya menuju ke kita. Oleh karena itu, kumparan yang berarus ini sekarang berada dalam medan magnet. Dengan kata lain, kumparan berarus tersebut dipotong oleh garis gaya magnet. Jadi jika sebuah penghantar atau kumparan yang beraliran arus listrik berada di dalam pengaruh medan magnet atau terpotong oleh garis gaya magnet, pada kumparan tersebut timbul momen putar atau gaya. Gaya yang dibangkitkan pada rotor tergantung dari besarnya arus yang mengalir pada kumparan rotor dan fluks yang memotongnya. (Henny, 2011)

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah. Motor DC juga relatif mahal dibandingkan dengan motor AC. Motor DC memiliki beberapa jenis diantaranya yaitu:

1. Motor DC sumber daya terpisah/*Separately Excited*

Jika arus medan diberi dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah.

2. Motor DC sumber daya sendiri/*Self Excited* (motor shunt)

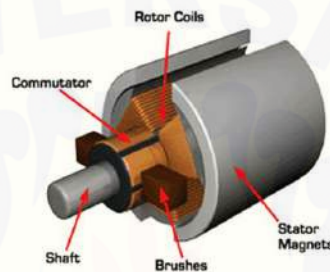
Pada motor shunt, gulungan medan disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.

3. Motor DC daya sendiri (motor seri)

Dalam motor seri, gulungan medan dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo.

4. Motor DC Kompon/Gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon gulungan medan shunt dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo. Sehingga, motor kompon memiliki *torque* awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan maka semakin tinggi pula *torque* penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor DC kompon/gabungan.



Gambar 2.2 Konstruksi DC *Brushed Motor*

Sumber : <https://www.electricbike.com/motor-tech-learn-the-terms-part-1/>

c. Motor BLDC

Motor tanpa arus searah tanpa sikat atau yang biasa disebut dengan motor BLDC memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis mesin penggerak bertenaga elektrik lainnya. Kelebihan motor BLDC adalah efisiensi lebih tinggi daripada motor induksi, dimensi lebih kecil daripada motor arus searah konvensional. Selain itu, tidak adanya sikat maka perawatan menjadi ringan dan hampir tidak ada *noise*. Dapat dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lainnya yaitu tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar.

Sistem motor BLDC mengacu pada konsep rangkaian elektromekanik sistem penggerak yang tanggap dan hemat energi. Sistem tersebut dibangun melalui perpaduan elektromekanik, rangkaian elektronika, sistem sensor dan rangkaian logika atau algoritma kendali mikro. Pada bagian elektromekanik menonjolkan konsep keunggulan motor DC konvensional dalam hal pengendalian, dan keunggulan motor sinkron 3 fasa dalam hal efisiensi. Pada

bagian elektronika terdiri dari saklar statik dengan memanfaatkan komponen transistor untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik (*inverter*). Pengaturan tegangan keluaran *inverter* dilakukan dengan mengatur lebar pulsa pensaklaran *inverter* disesuaikan dengan kebutuhan kecepatan atau torsi beban. (Agung Dwi Yulianta, 2015)

Motor BLDC sudah banyak digunakan di industri seperti industri otomotif, konsumsi, kesehatan. Dengan adanya keperluan pemakaian motor BLDC di berbagai bidang tersebut, maka perlu diatur kecepatannya agar sesuai dengan tanggapan kecepatan yang diharapkan.

Cara kerja pada motor *brushless direct current* yaitu magnet yang berada pada poros motor akan tertarik dan terdorong oleh gaya elektromagnetik yang diatur oleh *driver* pada motor *brushless direct current* (BLDC). Dimana motor BLDC menggunakan sikat mekanis yang berada pada komutator untuk mengatur waktu dan memberikan medan magnet pada lilitan. Motor BLDC ini juga menggunakan siklus tenaga sendiri untuk mengatur waktu dan memberikan daya pada lilitan. Adapun komponen yang ada pada *brushless direct current* (BLDC) yaitu :

1. Stator

Komponen yang sangat menentukan kinerja dari motor listrik, sehingga dapat dikatakan sebagai komponen utama dalam motor listrik. Fungsi dari stator adalah untuk menghasilkan medan listrik di sekitar rotor. Stator ini sendiri merupakan lilitan tembaga yang mengelilingi daerah poros utama. Stator ini bagian motor listrik yang statis (diam). Besarnya kinerja yang dihasilkan oleh stator sangat bergantung pada banyaknya kumparan yang dililitkan pada stator, semakin banyak jumlah kumparannya maka medan magnet yang dihasilkan pun juga akan semakin besar. (Henny, 2011)

2. Rotor

Pada motor *brushless direct current* (BLDC) rotor terbuat dari magnet permanen, berbeda dengan motor DC pada umumnya yang rotornya berupa kumparan (*solenoid*) sehingga membutuhkan sikat (*brush*) dan komutator. Rotor yang berupa magnet permanen yang mengakibatkan kecepatan pada motor BLDC menjadi lebih maksimal. Pada motor BLDC

rotor dapat berputar karena adanya gaya tarik dan gaya tolak yang dihasilkan oleh medan magnet yang ada pada stator yang berupa kumparan. Jika stator merupakan bagian motor listrik yang diam (statis), maka rotor merupakan bagian motor listrik yang bergerak (dinamis). Jadi pada rotor terdapat poros yang berfungsi sebagai *output* tenaga penggerak. Kecepatan yang dihasilkan oleh rotor ini akan sebanding dengan jumlah lilitan kawat. Semakin banyak jumlah lilitan, maka akan semakin besar juga putaran yang dihasilkan oleh motor listrik. Selain itu, digunakan juga kawat *email* kecil untuk mendapatkan panjang kawat maksimal supaya putaran yang dihasilkan juga akan semakin besar. (Henny, 2011)

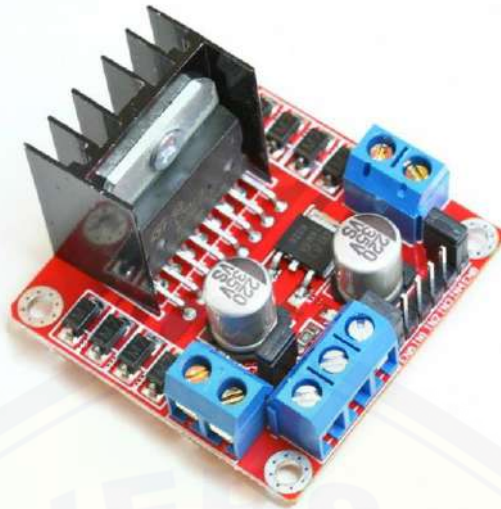


Gambar 2.3 Stator BLDC motor

Sumber : www.mathworks.com dalam Husaini,A.N (2015)

2.3 Driver Motor

Driver motor merupakan bagian yang berfungsi untuk menggerakkan motor dimana perubahan arah motor tersebut bergantung dari nilai tegangan yang masuk pada *input* dari *driver* yang digunakan. *Driver* motor juga dapat digunakan untuk mengatur arah putaran motor maupun kecepatan motor. Pada motor BLDC, *driver* ini berfungsi sebagai rangkaian elektronika daya untuk menggantikan sikat dan komutator yang dihilangkan dari motor. Pada motor BLDC, tanpa adanya *driver* maka motor tidak akan bisa berputar, maka dari itu *driver* merupakan bagian yang penting. Berbeda dengan motor DC yang dapat bekerja walaupun tanpa *driver* motor karena pada motor DC terdapat sikat dan komutator.



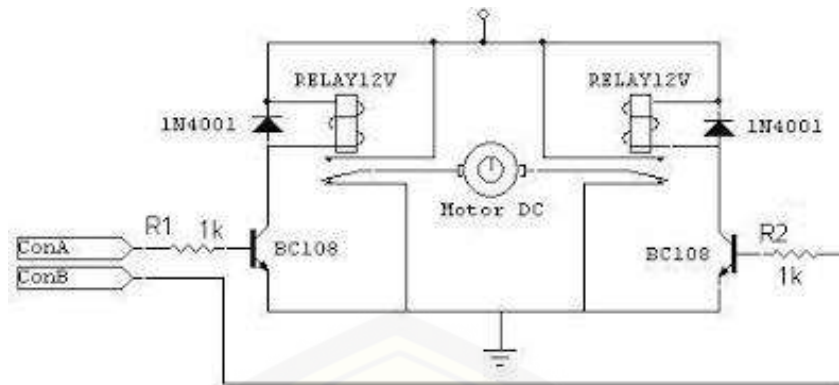
Gambar 2.4 *Driver Motor*

Sumber : <https://store.fut-electronics.com/products/1298-dual-motor-driver-module-2a>

2.4 *Driver H-Bridge*

H-Bridge adalah salah satu jenis *driver* yang sering digunakan dalam pengendalian motor listrik, sebagai pengendali arah ataupun kecepatan motor. Kerja *driver H-Bridge* yaitu sebagai pensaklaran pada transistor yang menjadi bagian utama dari *driver* tersebut. Transistor digunakan karena dapat bekerja sebagai saklar, selain itu *driver H-Bridge* juga sering menggunakan *MOSFET* sebagai komponen utama pensaklarannya. *H-Bridge* pada dasarnya merupakan rangkaian yang tersusun oleh sekumpulan transistor yang berfungsi sebagai *driver* motor. Khususnya motor dengan kebutuhan arus dan tegangan yang cukup besar. Rangkaian ini disebut *H-bridge* karena rangkaian tersebut menyerupai huruf H.

Pada penelitian ini transistor yang digunakan yaitu 2N2222. Dengan IC *NOT* atau IC *Hex Inverter* sebagai rangkaian *inverter* yang akan membalikan masukan pada rangkaian utama *driver*. Maka dari itu transistor akan menyala secara bergantian dan memberikan *supply* kepada motor secara bolak-balik dari kedua ujung kumparan stator. Maka dari itu pada motor BLDC dengan *driver H-Bridge* magnet permanen pada rotor harus dipasang bolak-balik.



Gambar 2.5 Rangkaian *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

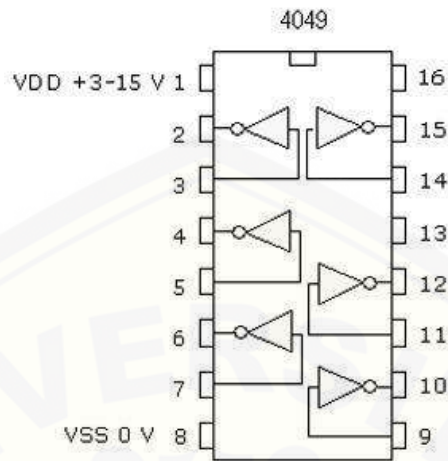
Sumber : <http://yosmedia.blogspot.co.id/2008/07/rangkaian-driver-motor-dc.html>

2.5 Inverter

Pada satu kemasan IC terdiri dari 1,2, ataupun 4 op-amp. Penggunaannya pun bermacam-macam keperluan disesuaikan dengan jenis IC yang digunakan, misal untuk frekuensi tinggi, atau tegangan kerja yang lebih rendah dari standar dapat ditemukan pada seri-seri IC tertentu. Penguat operasional memiliki beberapa rangkaian dasar yang biasa digunakan. Dalam penggunaannya op-amp sebagai penguat dibagi menjadi dua jenis yaitu penguat linear dan penguat tidak linear. Penguat linear merupakan penguat yang tetap mempertahankan bentuk sinyal masukan. Yang termasuk dalam penguat linear antara lain penguat non-*inverting*, penguat *inverting*, penjumlah, penguat *diferensial*, dan penguat instrumentasi. Penguat tidak linear merupakan penguat yang bentuk sinyal keluarannya tidak sama dengan bentuk sinyal masukannya, diantaranya komparator, integrator, diferensiator, pengubah bentuk gelombang, dan pembangkit gelombang. Untuk menangani penguatan dari sensor biasanya digunakan penguat linear yang tidak mengubah bentuk sinyal, tetapi hanya memperkuat sinyal saja. (Eko, 2011)

Inverter pada rangkaian *driver H-bridge* menggunakan IC *NOT* atau IC *Hex Inverter*. Dimana IC tersebut menggunakan tipe IC 4049. IC 4049 ini memiliki spesifikasi tegangan minimum 3VDC dan tegangan maksimal 18VDC. Untuk arus maksimal nya 5A. IC 4049 membalik masukan yang diberikan kepadanya. Jadi apabila masukan yang diberikan berupa gelombang positif maka keluaran yang dihasilkan menjadi gelombang nol, sebaliknya apabila yang

menjadi masukan berupa gelombang nol maka keluaran yang dihasilkan berupa gelombang positif. IC 4049 ini digunakan untuk mengaktifkan transistor yang ada pada *driver* sehingga dihasilkan pulsa yang dapat menggerakkan motor.



Gambar 2.6 IC 4049 Hex Inverter

Sumber : <https://www.engineersgarage.com/electronic-circuits/voltage-doubler-circuit>

2.6 Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar atau *switch* yang dioperasikan menggunakan listrik. *Relay* juga biasa disebut sebagai komponen elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu koil atau elektromagnet dan saklar atau mekanikal. Komponen *relay* menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi.

Relay dengan proteksi konvensional terdiri dari *relay* tipe elektromagnetik dan juga tipe statik. Kedua tipe ini mempunyai banyak kekurangan dalam hal melindungi sistem tenaga listrik maupun peralatan-peralatan lainnya. *Relay* pada tipe elektromagnetik mempunyai beberapa kekurangan seperti penambahan beban untuk trafo, dan lain-lain. Karena *relay* tipe ini dapat mengalami kerusakan dengan cepat, keadaan ini dapat membahayakan sistem tenaga listrik. Penggunaan *relay* tipe statik dapat memecahkan beberapa permasalahan pada penggunaan *relay* tipe elektromagnetik, namun *relay* tipe statik juga mempunyai kekurangan

diantaranya adalah tidak fleksibel, tidak mudah diubah untuk sistem yang kondisinya beda. Selain hal tersebut, *relay* tipe statik peka terhadap suhu yang dapat menyebabkan perubahan karakteristik *relay* dan bila terjadi perubahan tegangan secara transien dapat merusak peralatan *relay*. (Heru Dibyo Laksono, 2009)

Karena *relay* merupakan salah satu jenis dari saklar, maka istilah *pole* dan *throw* yang dipakai dalam saklar juga berlaku pada *relay*. *Pole* adalah banyaknya kontak yang dimiliki oleh sebuah *relay*. Sedangkan *throw* adalah banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah kontak. Maka dari itu *relay* dapat digolongkan menjadi (Dickson, 2018) :

1. *Single Pole Single Throw (SPST)*

Relay golongan ini memiliki 4 terminal, 2 terminal untuk saklar dan 2 terminal untuk koil.

2. *Single Pole Double Throw (SPDT)*

Relay golongan ini memiliki 5 terminal, 3 terminal untuk saklar dan 2 terminal untuk koil.

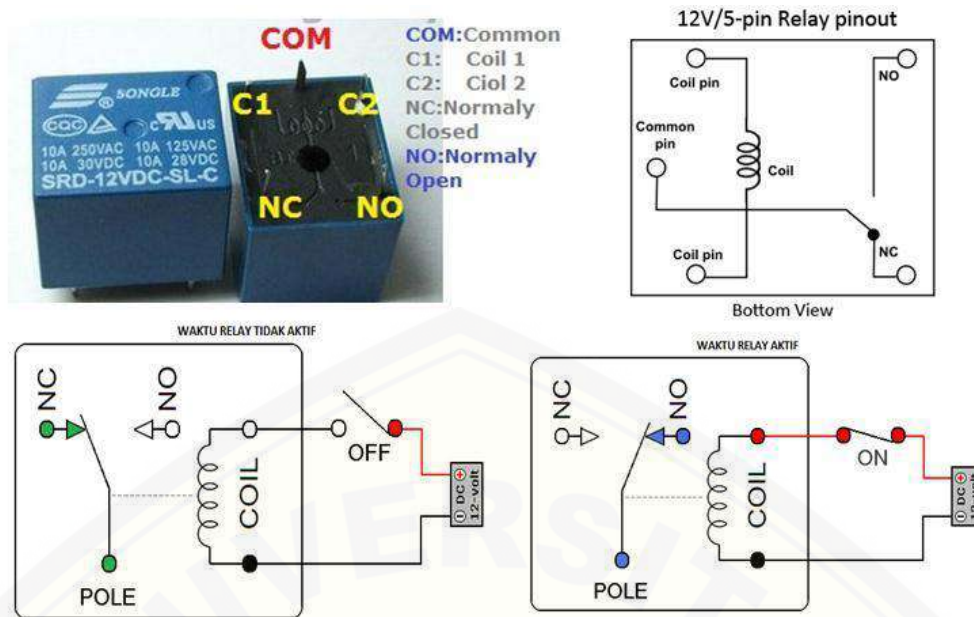
3. *Double Pole Single Throw (DPST)*

Relay golongan ini memiliki 6 terminal, 4 terminal yang terdiri dari 2 pasang terminal saklar sedangkan 2 terminal untuk koil. *Relay* DPST dapat dijadikan 2 saklar yang dikendalikan oleh 1 koil.

4. *Double Pole Double Throw (DPDT)*

Relay golongan ini memiliki 8 terminal, 6 terminal merupakan 2 pasang *relay* SPDT yang dikendalikan oleh 1 (*single*) koil. Sedangkan 2 terminal lainnya untuk koil.

Pada penelitian ini *relay* yang digunakan yaitu jenis golongan *Single Pole Double Throw (SPDT)*, dimana memiliki 5 terminal diantaranya 3 terminal digunakan untuk saklar dan 2 terminal lainnya digunakan untuk koil. *Relay* yang terdapat pada rangkaian *driver* motor yang diuji berfungsi sebagai saklar otomatis yang akan mengatur perputaran dari motor. *Relay* yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan maksimum 5VDC.



Gambar 2.7 Konstruksi Relay

Sumber : <http://at-moproduction.blogspot.co.id/2016/02/cara-merangkai-relay-5v-dan-12v-buat.html>

2.7 Transistor

Transistor memiliki peran cukup penting di dalam dunia elektronika khususnya dalam bidang rangkaian terintegrasi (IC). Transistor juga sebuah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki tiga kaki elektroda yaitu basis (dasar), kolektor (pengumpul) dan emitor (pemancar). Transistor berasal dari kata *transfer* yang berarti pemindahan dan resistor yang berarti penghambat. Dari kedua kata tersebut dapat disimpulkan yaitu pemindahan atau peralihan bahan setengah penghantar menjadi suhu tertentu. Transistor pertama kali ditemukan pada tahun 1948 oleh William Shockley, John Barden dan W.H, Brattain. Tetapi komponen ini mulai digunakan pada tahun 1958.

Jenis transistor terbagi menjadi 2 tipe yaitu transistor tipe PNP dan transistor tipe NPN. Transistor NPN ini terdiri atas dua sambungan p-n yang tersusun atas dua dioda yang saling terhubung. Ketika sebuah transistor NPN bekerja sebagai sebuah sakelar atau penguat, arah aliran arus masuk dan keluar dari terminal-terminalnya. Sejumlah kecil arus yang masuk ke terminal basisnya menyebabkan sejumlah besar arus mengalir di antara terminal emitor dan

kolektor. Jadi, transistor NPN memperkuat arus. (dr. Malcolm, 2009) Adapun fungsi dari transistor yaitu :

1. Transistor juga sebagai saklar elektronik, yaitu dengan cara mengatur bias dari sebuah transistor sampai transistor sampai transistor jenuh maka didapat hubungan singkat antara kaki konektor dan emitor, dengan memanfaatkan kejadian ini maka transistor bisa digunakan sebagai saklar.
2. Transistor sebagai penguat arus, dengan fungsi ini transistor dapat digunakan sebagai rangkaian power *supply* dengan tegangan yang di setting. Untuk dapat digunakan sebagai fungsi penguat arus transistor harus dibias tegangan yang konstan pada basisnya, agar pada emitor keluar tegangan yang tetap. Umumnya untuk dapat tegangan basis agar tetap digunakan dioda *zener*.
3. Transistor sebagai rangkaian pembangkit frekuensi, baik frekuensi tinggi maupun frekuensi rendah.
4. Transistor sebagai penguat suara pada rangkaian *amplifier*.

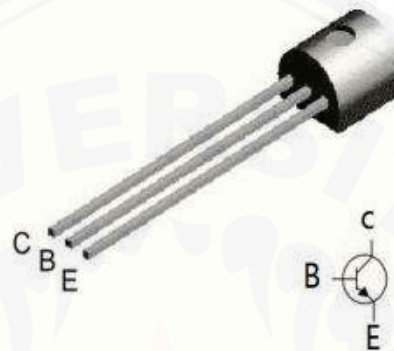
Transistor pada dasarnya merupakan dua buah dioda yang disambung secara berlawanan. Dioda yang pertama dibentuk oleh emitor-basis. Dioda yang kedua dibentuk oleh basis kolektor. Pada transistor tipe PNP, emitor dan kolektor berfungsi sebagai anoda (+) terhadap basis, sementara basis berfungsi sebagai katoda (-) terhadap emitor dan kolektor. Pada transistor tipe NPN, basis berfungsi sebagai anoda (+) terhadap emitor dan kolektor, sementara emitor dan kolektor berfungsi sebagai katoda (-) terhadap basis. (Untung, 2011)

Terdapat dua macam jenis dasar dari transistor, yaitu :

1. Bipolar *Junction* Transistor (BJT)

Bipolar *junction* transistor (BJT) adalah sebuah transistor yang memiliki tiga kaki yaitu basis, kolektor dan emitor lalu di pisah menjadi dua arah aliran yaitu positif dan negatif. Aliran positif dan negatif diantara basis dan emitor yang memiliki tegangan dari 0V sampai 6V tergantung pada besar tegangan sumber yang dipakai dan besar tegangan tersebut merupakan parameter utama dari transistor tipe BJT. Sedangkan arus yang dialirkan dari tipe pembawaan pada elektron dan *holes* yang dinamakan dengan bipolar. Ada dua jenis tipe transistor BJT yaitu tipe PNP yang memiliki

dua daerah positif yang dipisah dengan daerah negatif dimana ketika arus mengalir pada kaki basis, maka transistor berlogika 0 (*off*). Arus akan mengalir apabila kaki basis diberi sambungan ke *ground*, maka arus akan mengalir dari kaki emitor ke kolektor. Sedangkan tipe NPN yang memiliki dua daerah negatif yang dipisah dengan satu daerah positif dimana arus mengalir dari kaki kolektor ke emitor. Untuk mengalirkan arus tersebut dibutuhkan sambungan ke sumber positif pada kaki basis transistor.



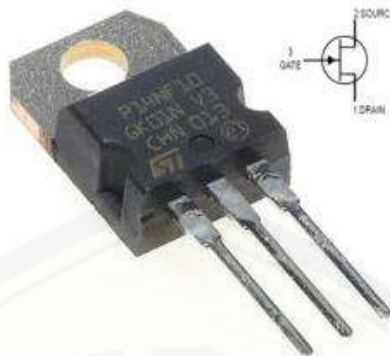
Gambar 2.8 *Bipolar Junction* Transistor

Sumber : <http://semesters.in/definition-of-bipolar-junction-transistor-notes-for-electronics-engineering-1st-year/>

2. *Field Effect* Transistor (FET)

Field effect transistor adalah sebuah jenis transistor yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal untuk mengontrol komponen yang lain. Perbedaan utama antara kedua jenis transistor tersebut yaitu bahwa dalam transistor bipolar arus *output* (I_c) dikendalikan oleh arus *input* (I_b), sedangkan dalam FET arus *output* (I_d) dikendalikan oleh tegangan *input* (V_{gs}) karena arus *input* yaitu nol, sehingga resistansi *input* FET sangat besar. Transistor FET memiliki keunggulan yaitu lebih stabil terhadap temperatur, dan juga memiliki konstruksi yang lebih kecil, serta proses pembuatannya lebih mudah bila dibandingkan dengan transistor bipolar, sehingga sangat bermanfaat untuk pembuatan rangkaian. FET sendiri terbagi menjadi JFET dan *MOSFET*. JFET merupakan komponen tiga terminal yang salah satu terminalnya dapat mengontrol dua terminal yang lain dimana JFET terdiri dari kanal P dan kanal N. Sedangkan *MOSFET* merupakan jenis transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor dengan

tingkat ketidakmurnian tertentu. *MOSFET* memiliki tiga kaki yaitu *gate*, *drain* dan *source*.



Gambar 2.9 *Field Effect Transistor*

Sumber : <http://www.directindustry.com/prod/infineon-technologies-sensors/product-17914-1409191.html>

2.8 Magnet Permanen (*Neodymium*)

Magnet merupakan suatu objek yang mempunyai medan magnet. Benda magnetik biasanya terbuat dari besi, baja, kobalt, dan nikel. Berdasarkan kemampuan menyimpan sifat magnetiknya, bahan magnetik dapat digolongkan menjadi magnet permanen dan magnet sementara. Magnet sementara merupakan suatu magnet yang memiliki sifat kemagnetan yang bisa bertahan hanya sementara saja seperti magnet yang terbuat dari listrik. Magnet permanen atau biasa disebut juga dengan *neodymium* merupakan magnet yang tetap mempertahankan kekuatannya untuk jangka waktu yang lama. Karena itu magnet permanen sering digunakan dalam penelitian tentang pembangunan motor atau penelitian yang memerlukan magnet didalamnya. *Magnet* permanen digunakan dalam berbagai alat pengukur antara lain *voltmeter*, *galvanometer*, kompas magnet, *magnetometer*. Magnet permanen juga digunakan dalam peralatan seperti pengeras suara (*loudspeaker*), pita kaset, dan disket. seperti baja dan logam campuran besi, nikel, dan kobalt. Magnet permanen (*neodymium*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan magnet jenis lain yaitu kekuatan medan magnet, resistansi terhadap kehilangan daya magnetik, kepadatan energi magnetik, ketahanan terhadap suhu tinggi.

Pada motor *brushless direct current* (BLDC) karena tidak menggunakan sikat dan komutator rotor maka diganti dengan magnet permanen. Magnet tersebut tersusun dari 2 jenis kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Dimana magnet permanen yang digunakan pada motor brushless direct current (BLDC) yaitu terdapat 6 magnet permanen yang terhubung dengan rotor. 3 magnet permanen kutub utara dan 3 magnet permanen kutub selatan.



Gambar 2.10 Magnet *Neodymium* Koin

Sumber : <http://www.tokomagnetmustang.com/product.html>

2.9 Sensor Magnet (*Hall Effect*)

Sensor magnet (*Hall Effect*) adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi adanya medan magnet. Sensor *hall effect* terbuat dari lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing sisi silikon. Kelebihan dari *hall effect* sensor yaitu relatif lebih murah dibandingkan dengan sakelar mekanik, dapat mendeteksi rentang medan magnet yang luas dan dapat mendeteksi kutub utara atau kutub selatan. Namaun sensor *hall effect* juga memiliki kelemahan yaitu tingkat akurasi pengukuran yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sensor sejenisnya.

Sensor magnet ini merupakan salah satu sensor magnet yang memiliki keluaran berupa gelombang positif dan nol. Perubahan kondisi pada sensor *hall effect* dipengaruhi oleh medan magnet yang ada disekitar sensor. Ketika ada magnet disekitarnya, kondisi pada sensor akan berubah dan dapat mempengaruhi kondisi keluarannya.

Sensor *hall effect* tergantung pada beda potensial (tegangan *hall*) pada sisi yang berlawanan dari sebuah lembar tipis material konduktor atau semikonduktor

dimana arus listrik mengalir, dihasilkan oleh medan magnet yang tegak lurus dengan elemen *hall*. Perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh jumlah arus dikenal dengan tahanan *hall*, dan tergantung pada karakteristik bahan. (Agus, 2012)



Gambar 2.11 Sensor *Hall Effect*

Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-sensor-efek-hall-hall-effect-sensor-prinsip-kerja-efek-hall/>

2.10 Faktor – Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kinerja Motor

a. Kecepatan Motor

Kecepatan yang dihasilkan oleh motor tanpa sikat arus searah diukur dari putaran yang dihasilkan oleh rotor yang berputar pada motor tersebut. Semakin banyak *pole* atau medan magnet pada rotor maka akan semakin besar torsi motor maka kecepatan putar motor akan semakin kecil. Kecepatan putaran yang dihasilkan atau yang biasa disebut dengan RPM dengan frekuensi yang telah diketahui, maka dapat dihitung nilainya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

N_s = Kecepatan sinkron motor (RPM)

F = Frekuensi (HZ)

P = Jumlah kutub motor

Untuk mendapatkan kecepatan motor yang sedang berputar dengan menggunakan nilai EMF pada motor dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$N_r = \frac{120}{2 \pi P N} \times \frac{E_a}{\Phi} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

N_r = Kecepatan motor dc (rpm)

P = Jumlah kutub

N = Banyaknya lilitan

E_a = GGL (*volt*)

Φ = *Fluks* magnet (Wb)

b. Kuat Medan Magnet

Kuat medan tersebut yang akan membuat motor bekerja. Kuat medan yang ditimbulkan oleh kumparan mempengaruhi kekuatan tariknya terhadap rotor yang berupa magnet permanen. Bila kekuatan tarik medan magnetnya kecil maka motor tidak akan dapat bergerak. Ketika dialiri oleh arus, Stator yang berupa kumparan akan menghasilkan kuat medan (B), yang besarnya :

$$B = \frac{\mu N i}{l} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

B = Kuat Medan Magnet (Tesla)

μ = Permeabilitas bahan

N = Jumlah lilitan

i = Arus (A)

l = Panjang penampang (m)

c. EMF

Gaya Gerak Listrik (GGL) atau yang biasa disebut dengan *Electromotive Force* (EMF) beda potensial antara ujung-ujung penghantar sebelum teraliri arus listrik. Jika sebuah konduktor listrik memotong garis medan magnet maka akan timbul EMF pada konduktor. EMF ini sendiri memiliki satuan yaitu *volt*. EMF akan terjadi pada sebuah motor listrik, generator dan rangkaian listrik dengan arah berlawanan terhadap gaya yang menimbulkannya. Faktor yang mempengaruhi timbulnya EMF seperti jumlah lilitan konduktor, kecepatan konduktor memotong garis *fluks* magnet, sudut perpotongan *fluks* magnet dengan konduktor, kekuatan garis *fluks* magnet. Besarnya EMF sendiri dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = iR + EMF \dots\dots\dots(2.4)$$

$$EMF = V - I.R \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

EMF = GGL (*volt*).

I = Arus (A).

R = Tahanan pada stator (*ohm*).

V = Tegangan terminal (*volt*).

d. *Fluks* Magnet

Fluks magnet yang melalui bidang tertentu sebanding dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut. Jumlah ini termasuk pengurangan atas medan magnet yang berlawanan. Nilai *fluks* magnet didapat dari perkalian antara medan magnet dan luas bidang yang dilaluinya. Dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\Phi = B A \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Φ = *Fluks* magnet (Wb)

B = Medan magnet (T)

A = Luas bidang (m²)

Untuk mencari luas penampang pada kumparan (*solenoid*) yang berupa lilitan dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$A = 2\pi r^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

A = Luas bidang (m²)

r = Jari-jari penampang (m)

e. Daya yang di Hasilkan Pada Motor

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan pada motor *brushless direct current* (BLDC) dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$P = E_a \times I_a \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P = Daya yang dihasilkan motor (*Watt*)

E_a = Gaya gerak listrik (GGL) induksi (*Volt*)

I_a = Arus (A)

f. Torsi Motor

Torsi (*torque*) merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Pada perancangan motor BLDC, untuk mendapatkan torsi harus mengetahui tegangan, arus, kecepatan rotor dan jumlah kutub pada motor BLDC. Untuk mengetahui nilai torsi, dapat diketahui dari persamaan berikut ini :

$$T = \frac{120}{P} \times \left(\frac{E_a}{Nr} \times \frac{I_a}{Nr} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

T = Torsi motor (N-m)

P = Jumlah kutub

Nr = Kecepatan motor (rpm)

Ea = Gaya gerak listrik (GGL) induksi (Volt)

Ia = Arus (A)



BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

Pembahasan pada kali ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, blok diagram dan perancangan sistem, serta desain rangkaian *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda). Adapun kegiatan yang dilakukan, dijelaskan dalam susunan seperti berikut :

3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan

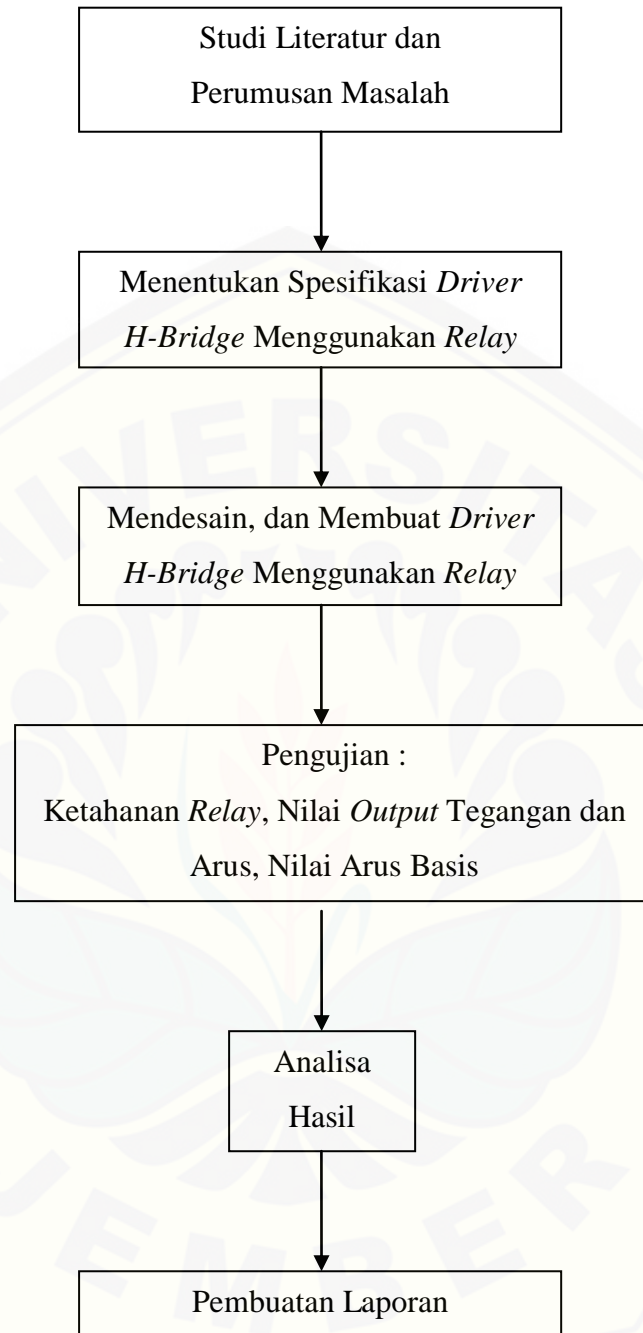
Adapun tempat perancangan, pembuatan, pengujian, penelitian dan analisis tentang *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda) akan dilaksanakan di Laboratorium Patrang, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang Jember. Waktu pembuatan dan pengambilan data dilaksanakan pada bulan Februari 2018 sampai Juni 2018.

3.2 Alat dan Bahan

Pada pembuatan alat ini ada beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan *driver H-Bridge* menggunakan *relay*. Alat dan bahan yang digunakan diantaranya yaitu :

- a. Alat
 1. Tachometer
 2. AVOMeter
 3. *Power Supply*
 4. Solder
- b. Bahan
 1. *Relay* 5V 5 terminal
 2. Transistor 2N2222
 3. Dioda 1N4004
 4. Resistor 470, 10k
 5. Sensor magnet *Hall Effect*
 6. IC *Hex Inverter* 4049

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pada penelitian yang dilakukan pada perancangan, pembuatan, dan penelitian *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda) adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dan Perumusan Masalah

Tahap awal dari penelitian ini untuk mencari sumber informasi dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik komponen, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian. Perumusan perlu dilakukan untuk menjadi acuan kemana arah yang akan dituju oleh suatu penelitian dan bahasan yang akan dicapai tidak melebar dan sesuai dengan yang diharapkan.

2. Menentukan spesifikasi dari *Driver* dan motor yang akan diuji

Pada *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* 5V 5terminal dengan IC *Hex Inverter* 4049 dan sensor magnet *Hall Effect*. Pada motor BLDC menggunakan enam kumparan, lilitan kawat *email* yang berukuran 0.3 mm sebanyak 100, 200, 300, dan 400 lilitan, serta terdapat enam magnet permanen pada rotornya.

3. Mendesain dan membuat *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* pada motor BLDC konstruksi *Axial Flux* (celah ganda).

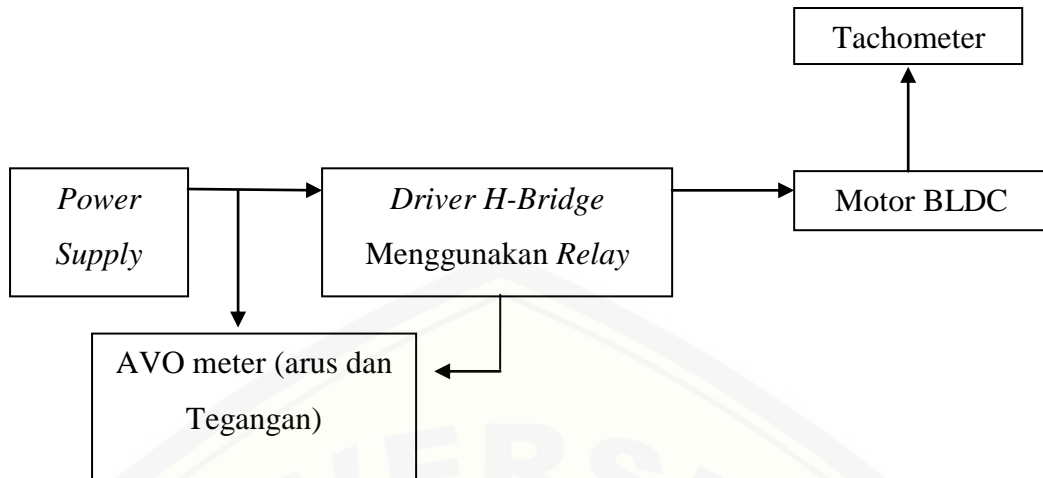
4. Melakukan pengujian terhadap *Driver* dan melakukan pengambilan data pada *Driver* yang diuji seperti ketahanan *relay*, nilai *output* tegangan dan arus, dan nilai arus basis dan kolektor.

5. Hasil data yang diperoleh saat pengujian dapat dibahas dalam pembahasan sekaligus dapat menganalisa untuk membuat kesimpulan.

6. Pembuatan Laporan

Setelah tahap pengujian dilakukan dan didapatkan data, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap data yang telah didapat. Kemudian hasil analisis tersebut dibuat laporan.

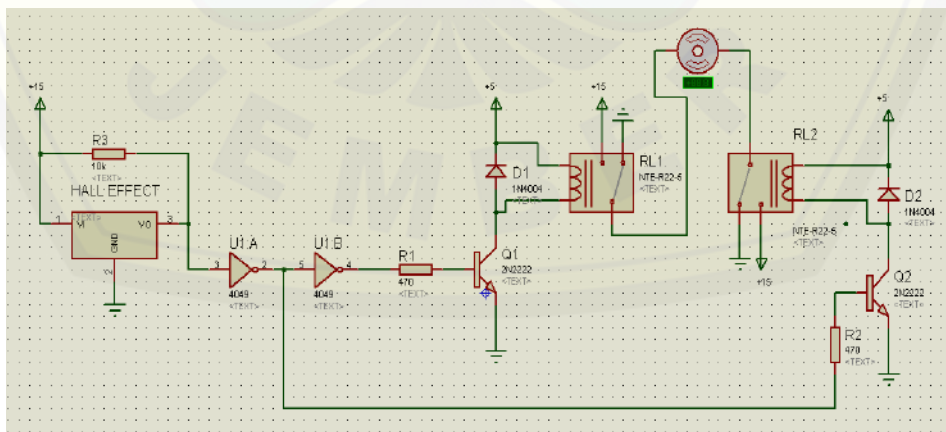
3.4 Blok Diagram dan Perancangan Sistem



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat dilihat dari blok diagram diatas. *Power Supply* disini sebagai sumber utama tegangan yang akan menggerakan motor BLDC. Dimana tegangan yang digunakan dalam pengujian sebesar 5V sampai dengan 15V. *Power Supply* tersebut akan memberikan tegangan pada *Driver H-Bridge*. *Output* dari *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* tersebut akan menggerakan motor BLDC. Pengujian pada motor *brushless direct current Axial Flux* (BLDC) ini untuk mengetahui data keluaran tegangan dan arus *driver*, tahan lama penggunaan *relay*, nilai arus basis.

3.4.1 Perancangan Desain *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay* Pada Motor



Gambar 3.3 Rangkaian *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

Sumber : <http://www.bagusprehan.com/2014/01/rangkaian-h-bridge-motor-dc-dengan-relay.html>

Pada desain *Driver H-Bridge* tersebut, sensor yang digunakan yaitu sensor magnet *Hall Effect* yang berfungsi sebagai pengubah kutub pada medan magnet stator. Sensor *Hall Effect* tersebut akan memberikan masukan positif maupun negatif sesuai dengan bagian mana dari sensor *Hall Effect* yang terhubung oleh medan magnet pada rotor. Pada *Driver H-Bridge* tersebut menggunakan IC *Hex Inverter* 4049 sebagai masukan dari sinyal yang diberikan oleh sensor magnet *Hall Effect* yang berupa sinyal positif atau sinyal negatif. Dimana fungsi dari IC *Hex Inverter* tersebut yaitu membalikan nilai masukan yang diberikan kepada IC. Jika sinyal yang diberikan oleh sensor *Hall Effect* berupa sinyal positif maka keluaran yang dihasilkan adalah sinyal negatif dan begitupun sebaliknya.

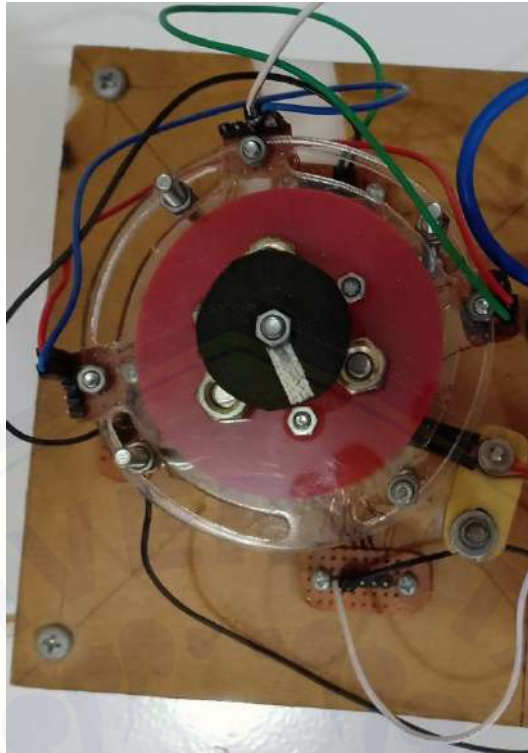
Pada desain *Driver H-Bridge* memiliki rangkaian utama yang digunakan yaitu *Relay* 5V 5terminal sebanyak dua pasang. Dimana terdapat juga dioda IN4004 dan transistor 2N2222 masing-masing sebanyak dua pasang. Dengan desain pada *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* tersebut, diharapkan konerja dari motor BLDC yang akan diuji mendapatkan hasil yang maksimal.

Pada *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* tersebut memiliki dua langkah kerja. Pertama saat diberi masukan positif maka tegangan yang semula positif menjadi sinyal keluaran yang negatif karena sinyal tersebut dibalik oleh IC *Hex Inverter* 4049. Dimana dari sinyal negatif tersebut membuat *Relay* 2 akan bekerja dan membuat motor akan bergerak ke kiri. Sedangkan saat diberi masukan negatif maka tegangan yang semula negatif menjadi sinyal keluaran positif karena sinyal tersebut dibalik oleh IC *Hex Inverter* 4049. Dimana dari sinyal positif tersebut membuat *Relay* 1 akan bekerja dan membuat motor akan bergerak ke kanan.

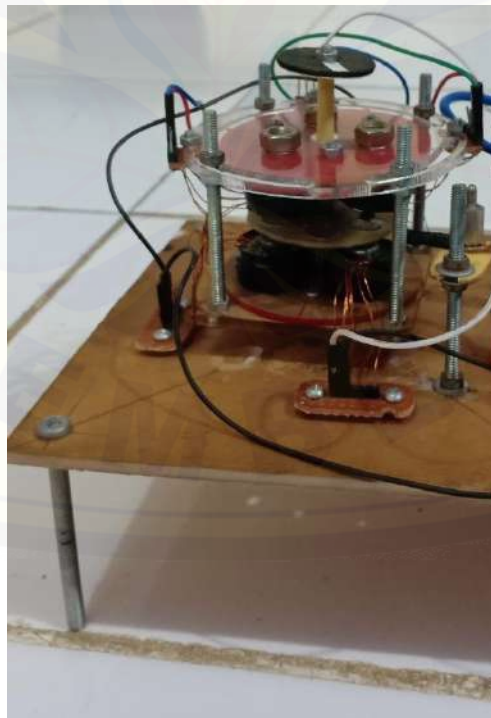
Pada rangkaian tersebut juga mengukur arus pada basis transistor. Dimana cara mengukur arus basis tersebut yaitu menghubungkan kabel avometer (arus) pada kaki basis transistor dan pada *ground* dari rangkaian tersebut.

3.5 Desain Motor BLDC Konstruksi *Axial Flux* (Celah Ganda)

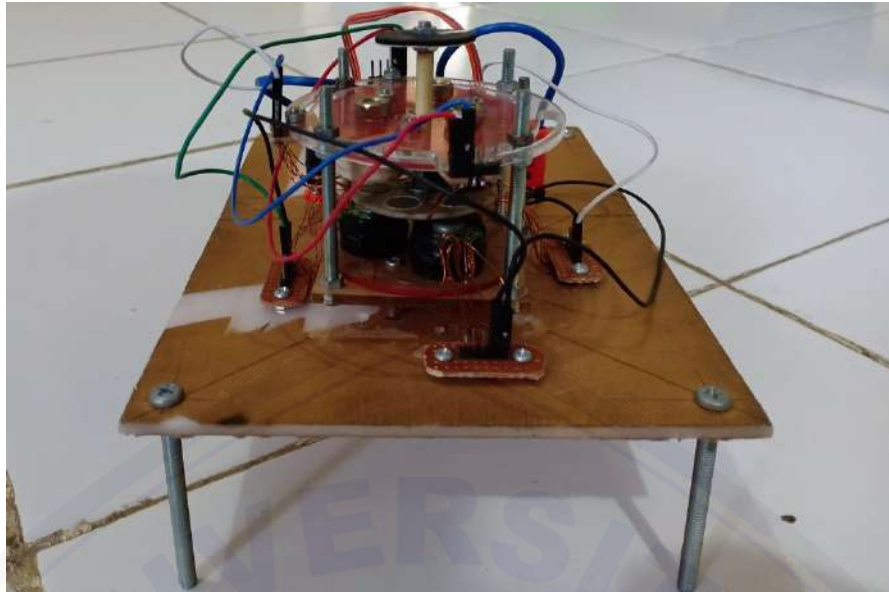
Perancangan motor *brushless direct current* (BLDC) *Axial Flux* (Celah Ganda) ini memiliki stator ganda. Motor ini menggunakan tegangan sebesar 5 sampai 15 volt. Dibawah ini adalah desain motor *brushless direct current* (BLDC) *Axial Flux* (Celah Ganda) tampak atas, tampak belakang dan tampak samping :



Gambar 3.4 Perancangan Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*
Tampak Atas



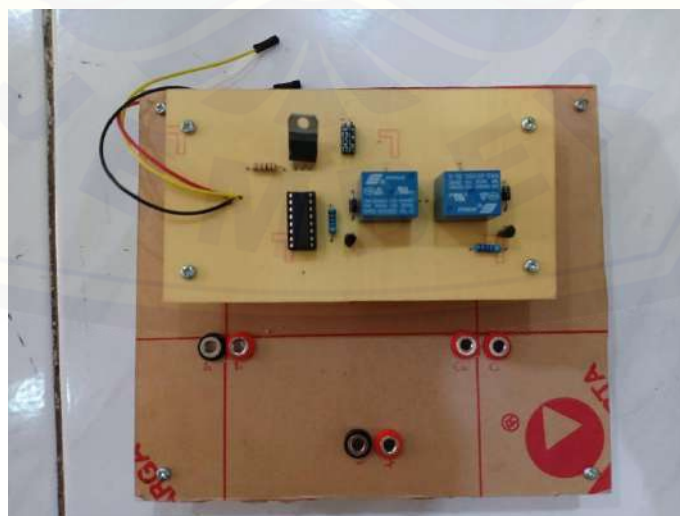
Gambar 3.5 Perancangan Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*
Tampak Samping



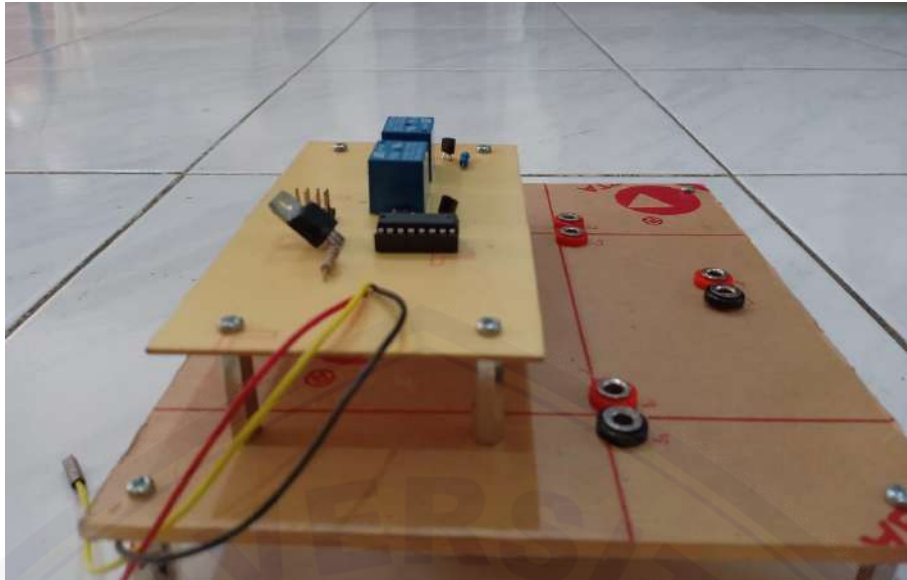
Gambar 3.6 Perancangan Motor *Brushless Direct Current Axial Flux*
Tampak Belakang

3.6 Desain *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

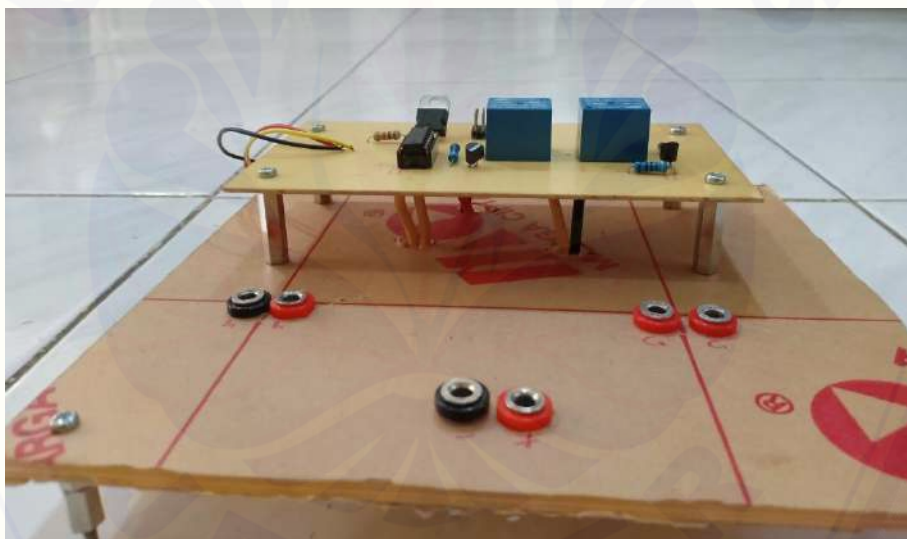
Perancangan *driver H-Bridge* menggunakan *relay* ini memiliki berbagai macam komponen seperti transistor, *inverter*, dioda, resistor, dan *relay*. *Driver* ini hanya mampu menahan tegangan sampai 15 volt. Dibawah ini adalah desain *driver H-Bridge* menggunakan *relay* tampak atas, tampak belakang dan tampak samping :



Gambar 3.7 Perancangan *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*
Tampak Atas



Gambar 3.8 Perancangan *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*
Tampak Samping



Gambar 3.9 Perancangan *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*
Tampak Depan

3.7 Pengujian Pada *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

3.7.1 Pemberian Variasi Tegangan Pada *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

Pada motor BLDC, rentang tegangan yang diberikan pada motor sebesar 5V sampai 15V. Dimana pemberian tegangan tersebut harus melalui *Driver* motor. *Driver* tersebut mengubah tegangan sumber menjadi sinyal yang dapat

membuat motor bekerja. Pada motor BLDC hanya memiliki 2 ujung kawat yaitu ujung pada belitan pertama yaitu positif dan ujung pada belitan kedua yaitu negatif. Pada motor BLDC tersebut terdapat dua penempatan kumparan yaitu diatas rotor dan dibawah rotor, maka dapat dilakukan perangkaian stator dengan seri dan paralel.

3.7.2 Pengukuran Nilai Arus Basis

Arus Basis (I_b) merupakan nilai arus yang mengalir dari IC *Hex Inverter* 4049 menuju ke basis transistor pada *Driver H-Bridge*. Arus ini merupakan arus yang menentukan hidup atau tidak hidupnya transistor pada *Driver H-Bridge*.

3.7.3 Pengukuran Keluaran Tegangan dan Arus Pada *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

Pada pengukuran tegangan dan arus keluaran pada *Driver H-Bridge* ini merupakan tegangan dan arus keluaran yang dikeluarkan dari rangkaian *Driver H-Bridge* atau bisa disebut juga dengan tegangan dan arus yang akan masuk kedalam motor BLDC. Nilai tersebut merupakan data yang penting untuk diketahui oleh peneliti.

3.7.4 Pengujian *Relay* Pada *Driver H-Bridge* Menggunakan *Relay*

Pada pengujian tersebut, mengukur daya tahan lama saat menggunakan *Relay* disaat motor BLDC di jalankan. Hal ini juga penting dilakukan untuk mengetahui berapa lama *Driver H-Bridge* menggunakan *Relay* dapat digunakan untuk menjalankan motor BLDC.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan yang sudah dilakukan pada *driver H-Bridge* menggunakan *relay* pada motor BLDC konstruksi *axial flux* (celah ganda) dapat disimpulkan bahwa :

1. Tegangan yang dapat diterima oleh *driver H-Bridge* menggunakan *relay* hanya mencapai tegangan sebesar 15V.
2. Keluaran tegangan dan arus pada *driver H-Bridge* menggunakan *relay* tidak stabil dikarenakan *switching* pada *relay* yang terus bergantian.
3. Hasil rata-rata dari ketahanan *relay* pada *driver H-Bridge* saat pengujian sebanyak 2(dua) kali yaitu 33.31 menit.

5.2 Saran

Pada *driver H-Bridge* menggunakan *relay* pada motor BLDC konstruksi *axial flux* (celah ganda) ini terdapat saran untuk dilanjutkan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut :

1. Perlu mengganti regulator pada rangkaian tersebut agar tegangan yang dapat diterima melebihi dari 15V.
2. Tidak dianjurkan menggunakan *relay* sebagai pengganti transistor pada *driver H-Bridge* dikarenakan keluaran tegangan dan arus yang tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Margana. 2013. *Kajian Motor Arus Searah Tanpa Sikat 1600W 48V Sebagai Penggerak Mobil Listrik*. Fakultas Teknik Mesin. Politeknik Negeri Semarang.
- Suharyanto, Agung, Sasongko. 2015. *Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) Menggunakan Metode Logika Fuzzy*. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nasir, Heru. 2016. *Perancangan dan Implementasi Relay Arus Lebih Sesaat Berbasis Microcontroller*. Fakultas Teknik Elektro. Universitas Andalas Padang, Sumatera Barat.
- Syamsul, Edi. 2013. *Analisis Efisiensi Motor DC Seri Akibat Pergeseran Sikat*. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara (USU).
- Heri, Sjamsjul, Nanda. 2016. *Desain Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Berbasis Power Factor Correction (PFC) Menggunakan Single Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)*. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Eka, Rushdianto, Agung. 2016. *Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontroler Pi Berbasis Neural-Fuzzy Hibrida Adaptif*. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Agus, Noer, Ahmad. 2014. *Otomatisasi Pengereman Motor DC Secara Elektris Sebagai Referensi Sistem Keamanan Mobil Listrik*. Fakultas Teknik Elektro. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Suprianto. 2015. <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/motor-listrik/> . [13 Maret 2018]
- Dickson Kho. 2018. <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/> . [15 Maret 2018]
- Agus Purnama. 2012. <http://elektronika-dasar.web.id/definisi-dan-fungsi-sensor-efek-hall/> .[15 Maret 2018]
- Wanda Saputra. 2015. <https://wandasaputra93.wordpress.com/2015/01/10/motor-ac/> .[15 Maret 2018]
- Agus Purnama. 2012. <http://elektronika-dasar.web.id/driver-motor-dc-h-bridge-transistor/> .[15 Maret 2018]
- Husaini. 2015. <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-brushless-dc-bldc-motor/3/> . [17 Maret 2018]

Henny, Suryono, Petrus. 2011. *Motor Listrik Arus Searah*. Klaten:Penerbit Saka Mitra Kompetensi.

dr.Malcolm Plant, 2009. *Elektronika*. Bandung:Penerbit Hodder Headline

Henny, Teguh, Wardoyo. 2011. *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*. Klaten:Penerbit Saka Mitra Kompetensi.

Untung Suprpto. 2011. *Dasar-Dasar Bengkel Elektronika*. Klaten:Penerbit Saka Mitra Kompetensi.

Eko, Taufiq, Wardoyo. 2011. *Elektronika Terapan*. Klaten:Penerbit Saka Mitra Kompetensi.





LAMPIRAN

A. Pengujian Kecepatan Motor, Tegangan dan Arus *Output*, Arus Basis



Gambar A.1 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 5v



Gambar A.2 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 6v



Gambar A.3 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 7v



Gambar A.4 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 8v



Gambar A.5 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 9v



Gambar A.6 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 10v



Gambar A.7 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 11v



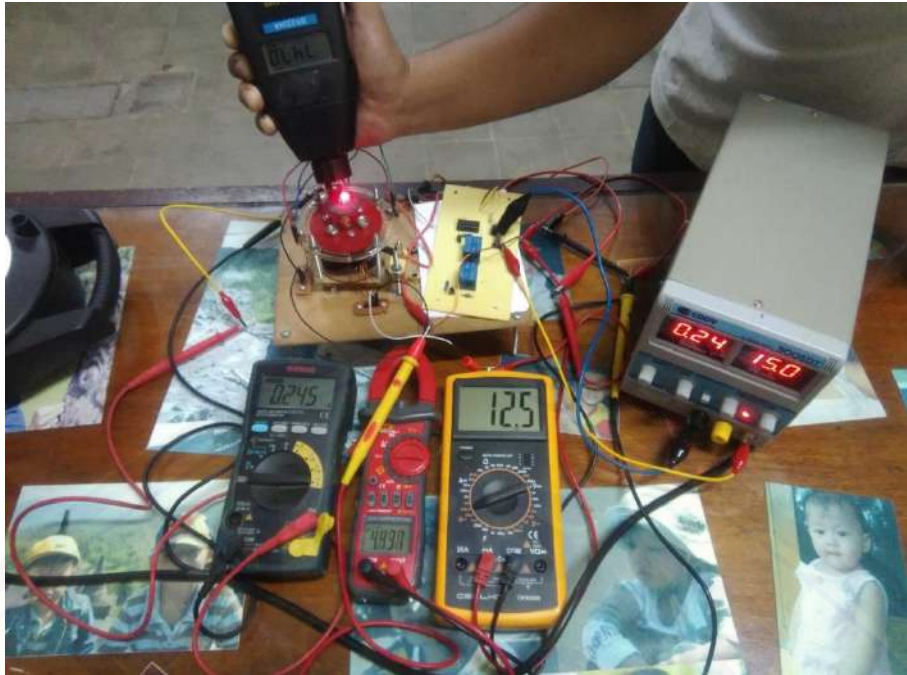
Gambar A.8 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 12v



Gambar A.9 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 13v



Gambar A.10 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 14v



Gambar A.11 Pengujian pada lilitan 100 tegangan 15v



Gambar A.12 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 5v



Gambar A.13 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 6v



Gambar A.14 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 7v



Gambar A.15 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 8v



Gambar A.16 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 9v



Gambar A.17 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 10v



Gambar A.18 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 11v



Gambar A.19 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 12v



Gambar A.20 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 13v



Gambar A.21 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 14v



Gambar A.22 Pengujian pada lilitan 200 tegangan 15v



Gambar A.23 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 5v



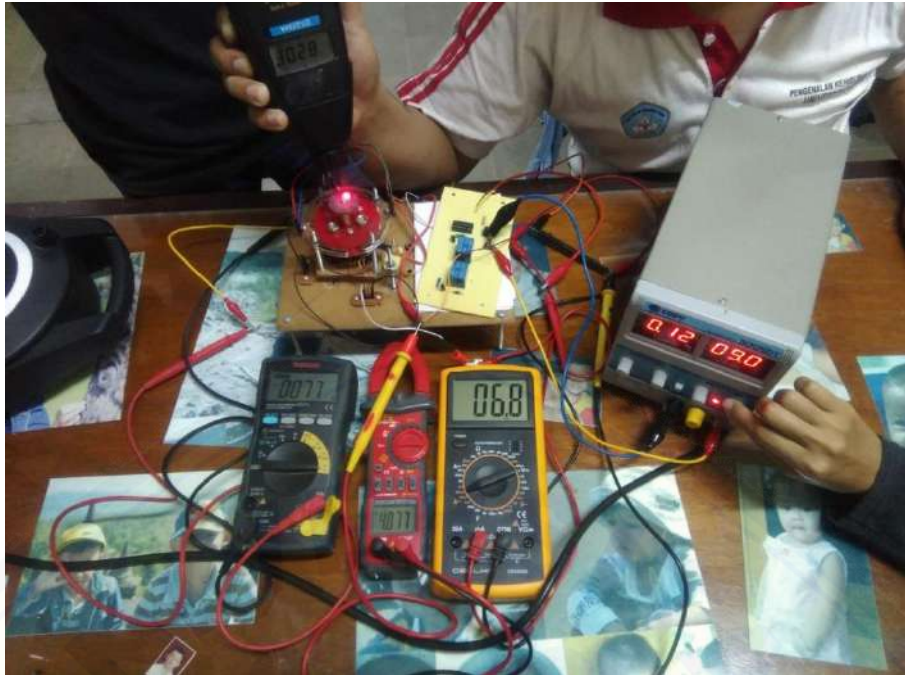
Gambar A.24 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 6v



Gambar A.25 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 7v



Gambar A.26 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 8v



Gambar A.27 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 9v



Gambar A.28 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 10v



Gambar A.29 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 11v



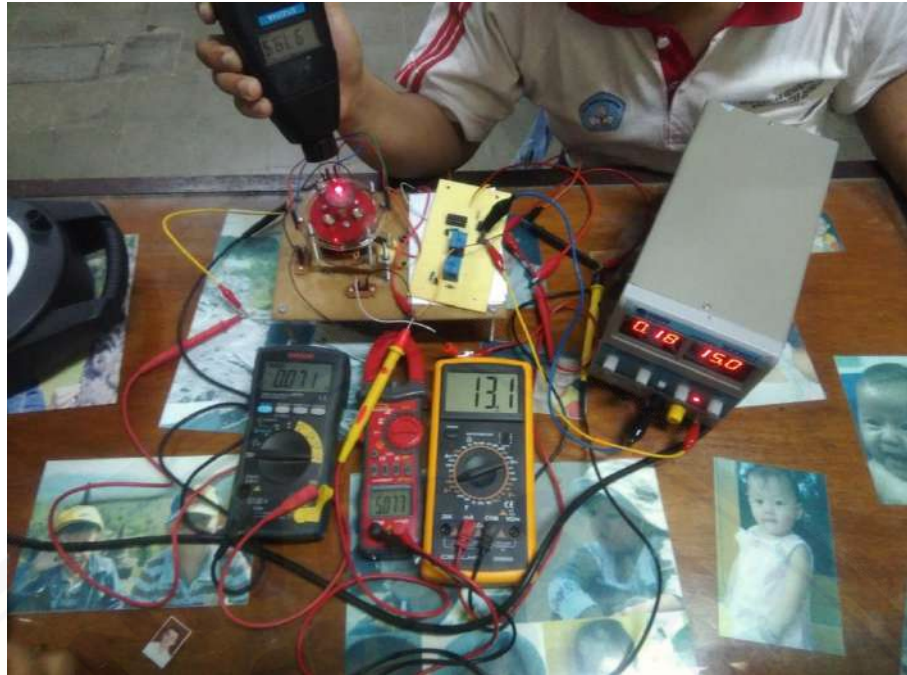
Gambar A.30 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 12v



Gambar A.31 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 13v



Gambar A.32 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 14v



Gambar A.33 Pengujian pada lilitan 300 tegangan 15v



Gambar A.34 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 5v



Gambar A.35 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 6v



Gambar A.36 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 7v



Gambar A.37 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 8v



Gambar A.38 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 9v



Gambar A.39 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 10v



Gambar A.40 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 11v



Gambar A.41 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 12v



Gambar A.42 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 13v



Gambar A.43 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 14v



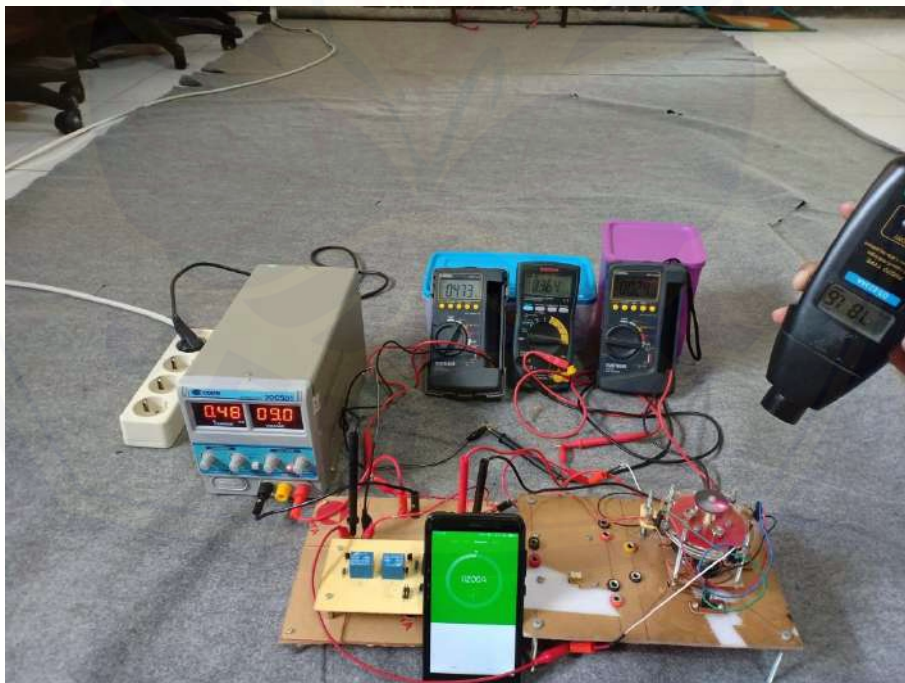
Gambar A.44 Pengujian pada lilitan 400 tegangan 15v

B. Ketahanan *Relay*

Pengujian 1



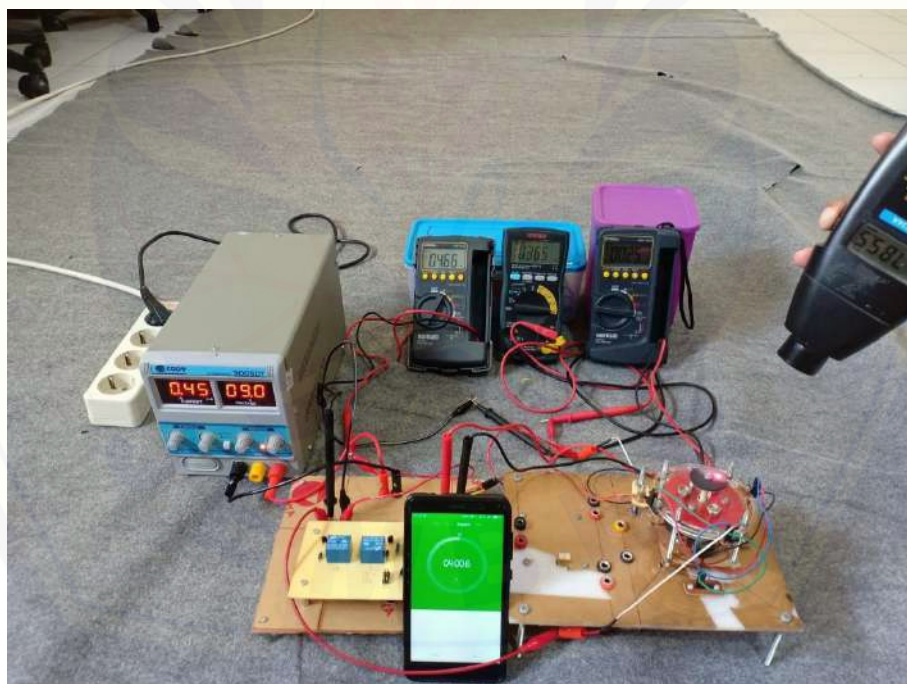
Gambar B.1 Pengujian ketahanan *relay* selama 1 menit



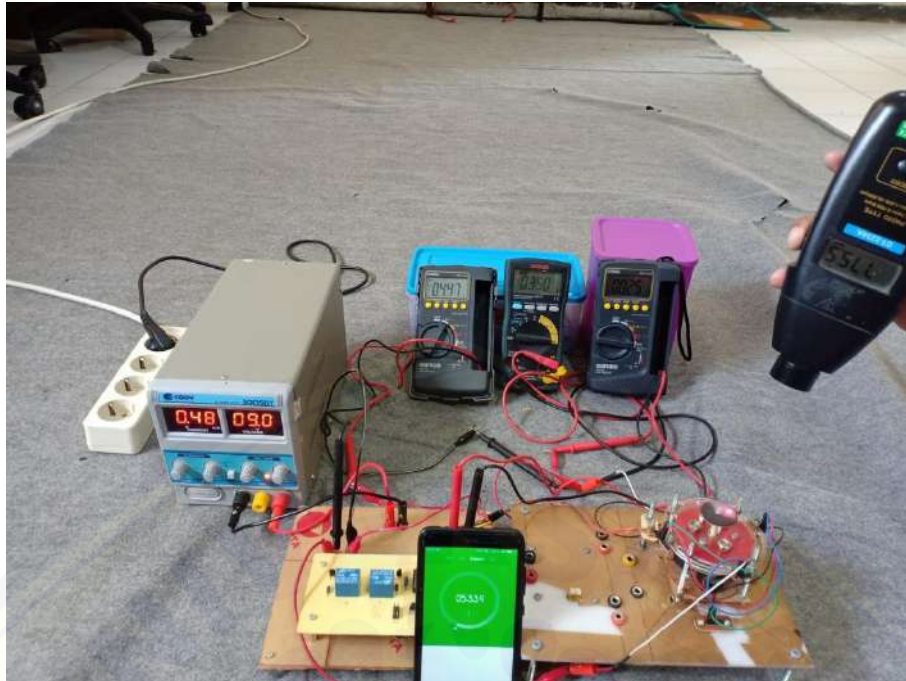
Gambar B.2 Pengujian ketahanan *relay* selama 2 menit



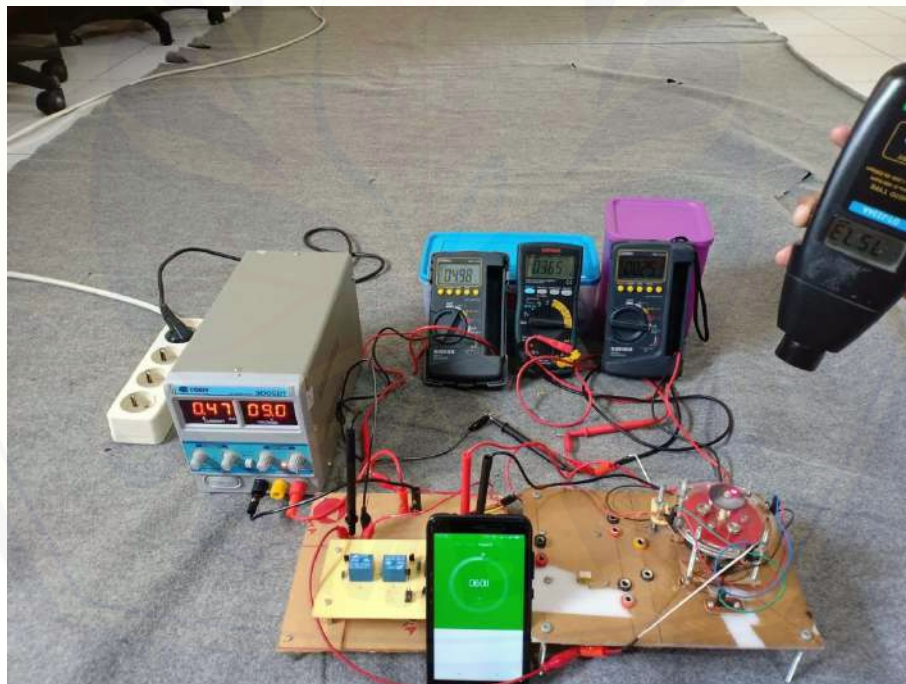
Gambar B.3 Pengujian ketahanan *relay* selama 3 menit



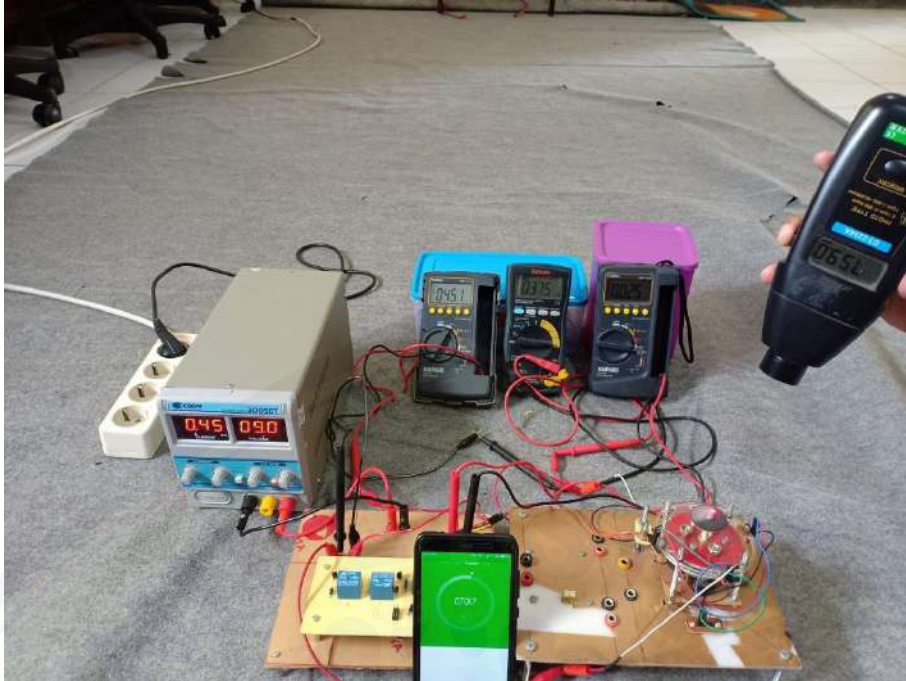
Gambar B.4 Pengujian ketahanan *relay* selama 4 menit



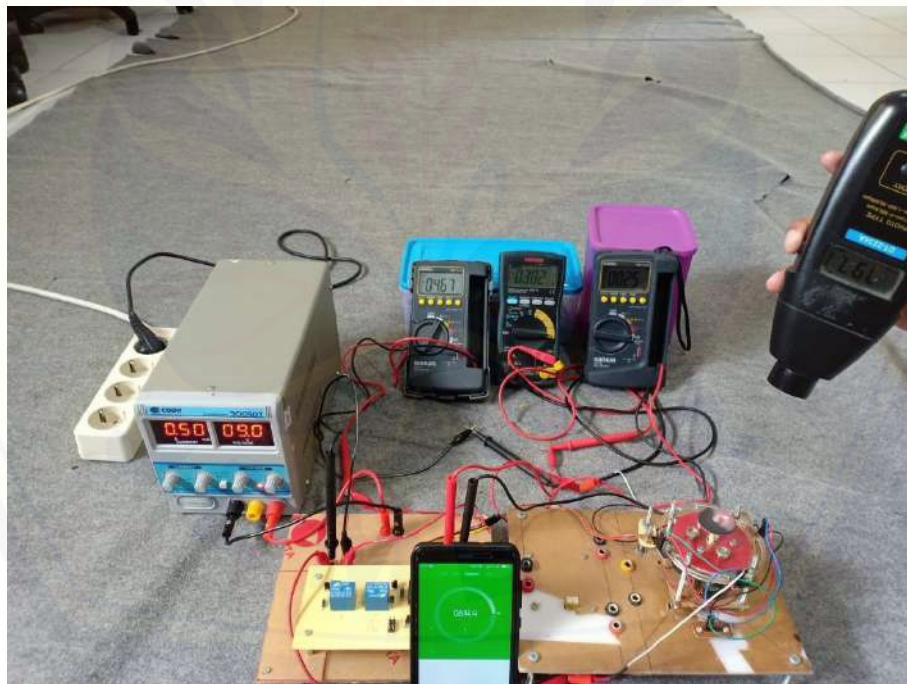
Gambar B.5 Pengujian ketahanan *relay* selama 5 menit



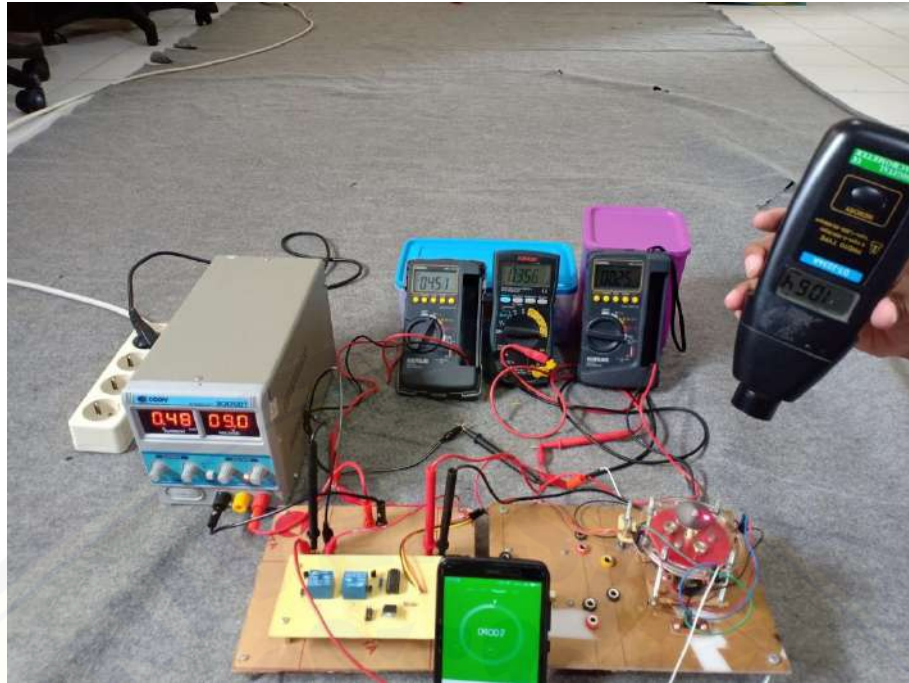
Gambar B.6 Pengujian ketahanan *relay* selama 6 menit



Gambar B.7 Pengujian ketahanan *relay* selama 7 menit



Gambar B.8 Pengujian ketahanan *relay* selama 8 menit



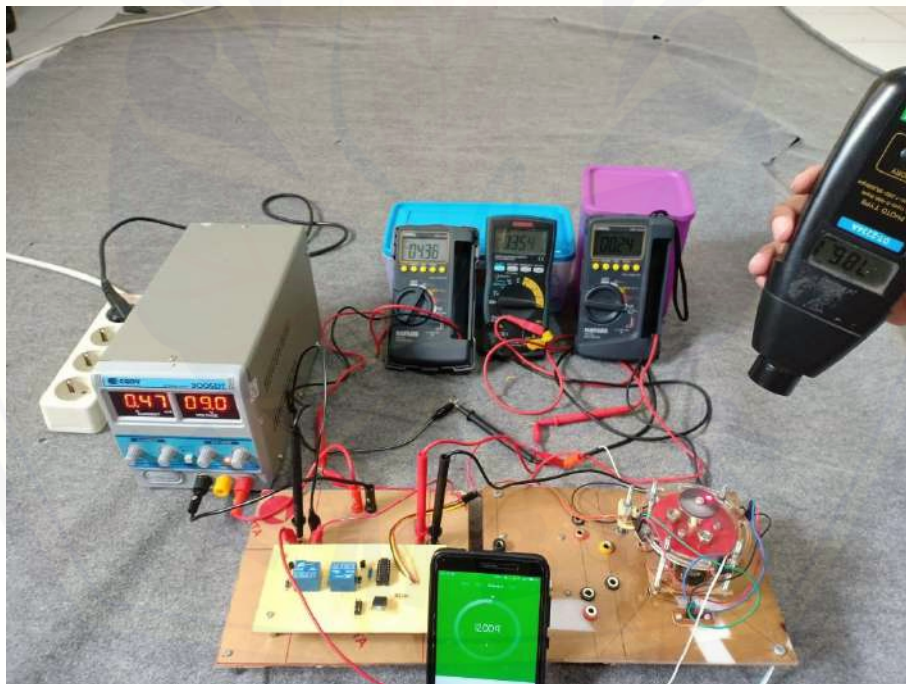
Gambar B.9 Pengujian ketahanan *relay* selama 9 menit



Gambar B.10 Pengujian ketahanan *relay* selama 10 menit



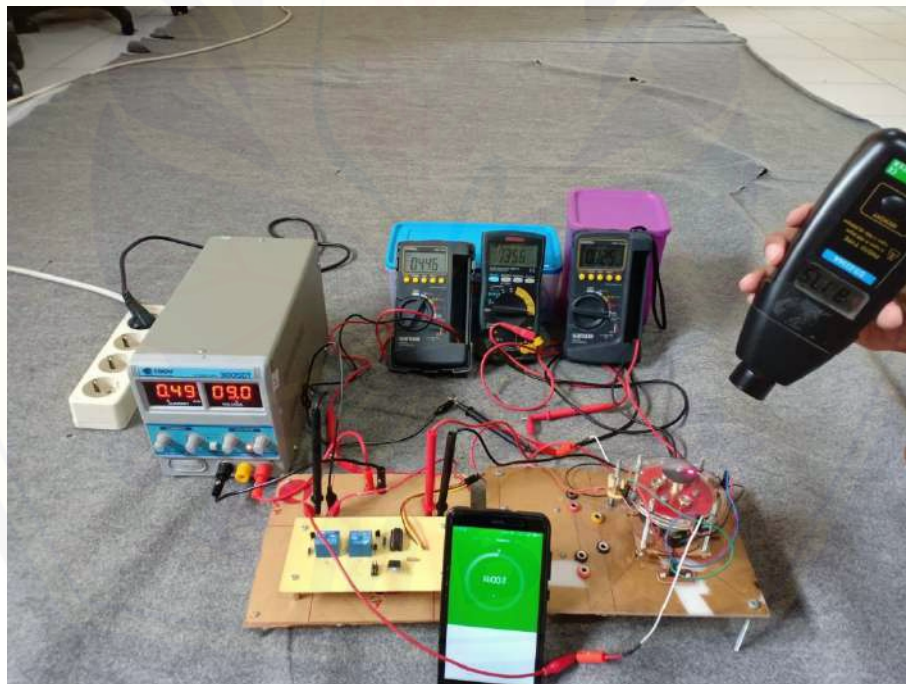
Gambar B.11 Pengujian ketahanan *relay* selama 11 menit



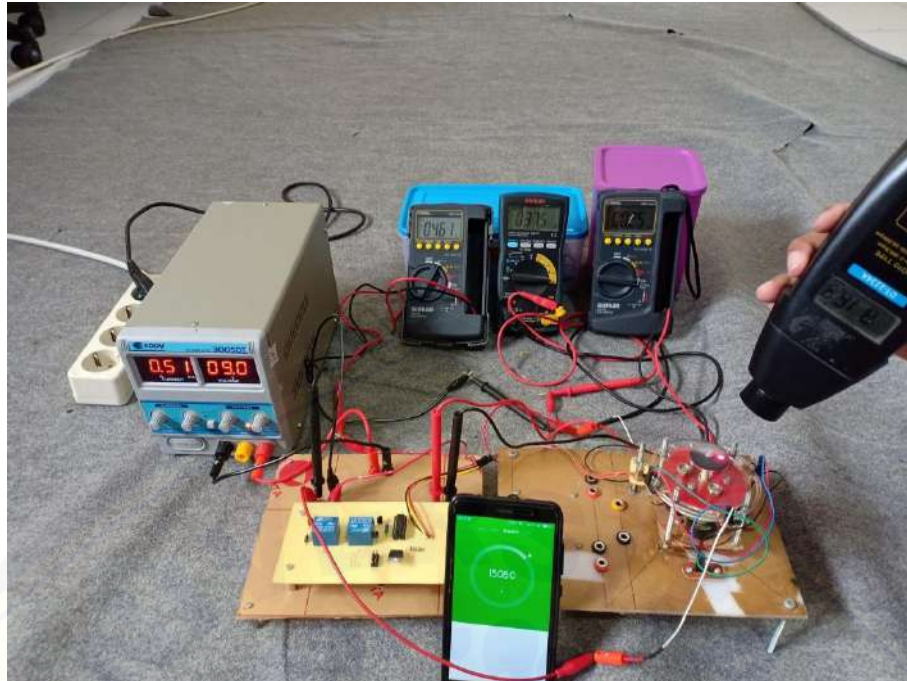
Gambar B.12 Pengujian ketahanan *relay* selama 12 menit



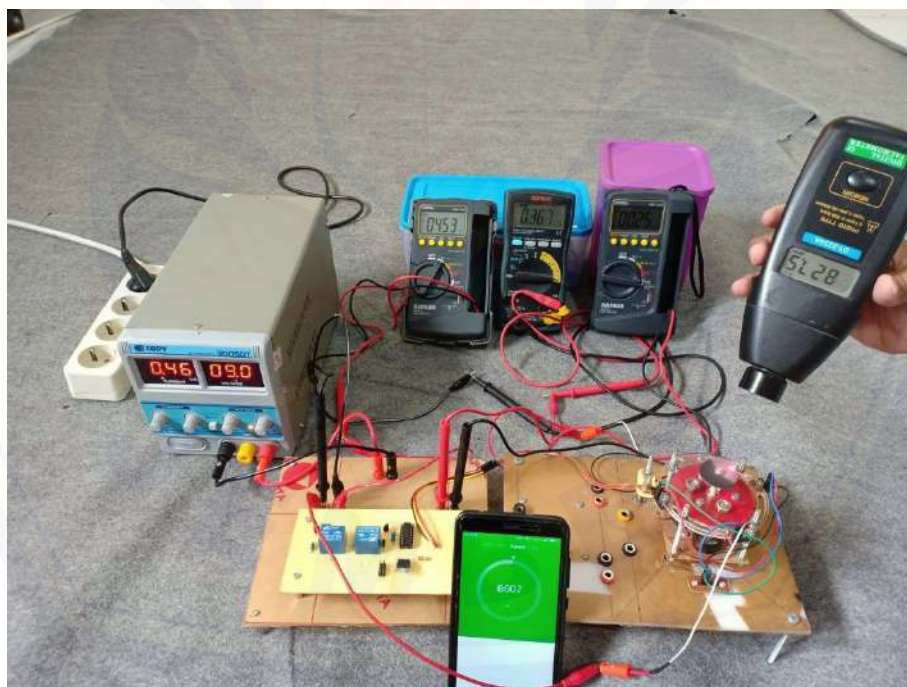
Gambar B.13 Pengujian ketahanan *relay* selama 13 menit



Gambar B.14 Pengujian ketahanan *relay* selama 14 menit



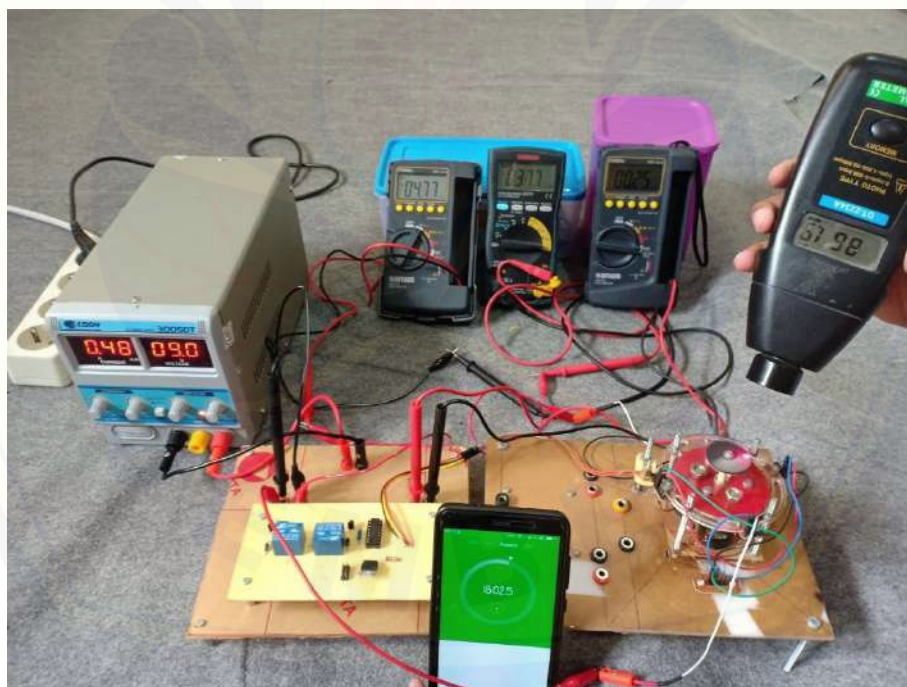
Gambar B.15 Pengujian ketahanan *relay* selama 15 menit



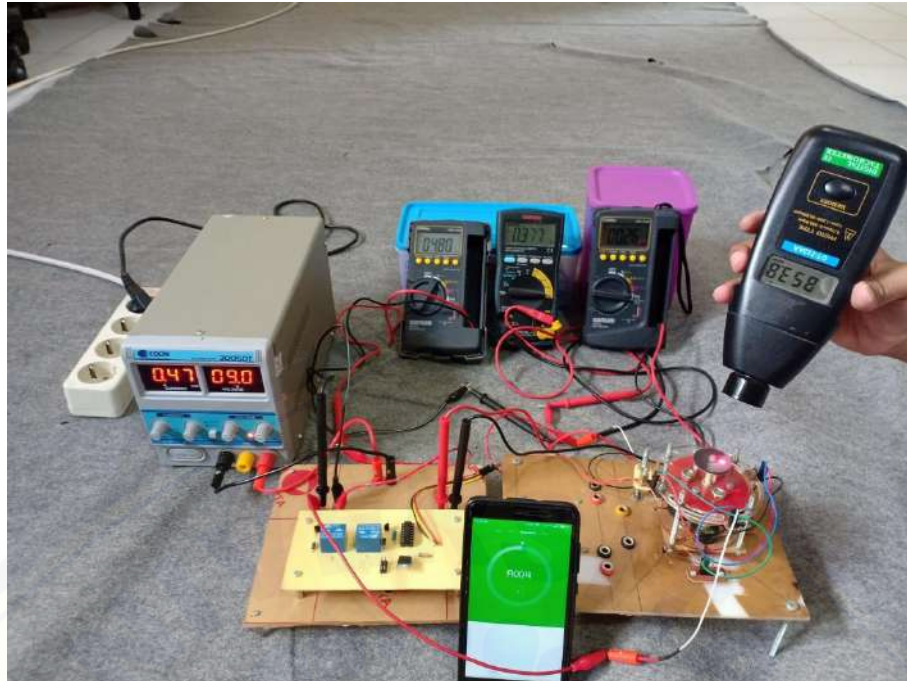
Gambar B.16 Pengujian ketahanan *relay* selama 16 menit



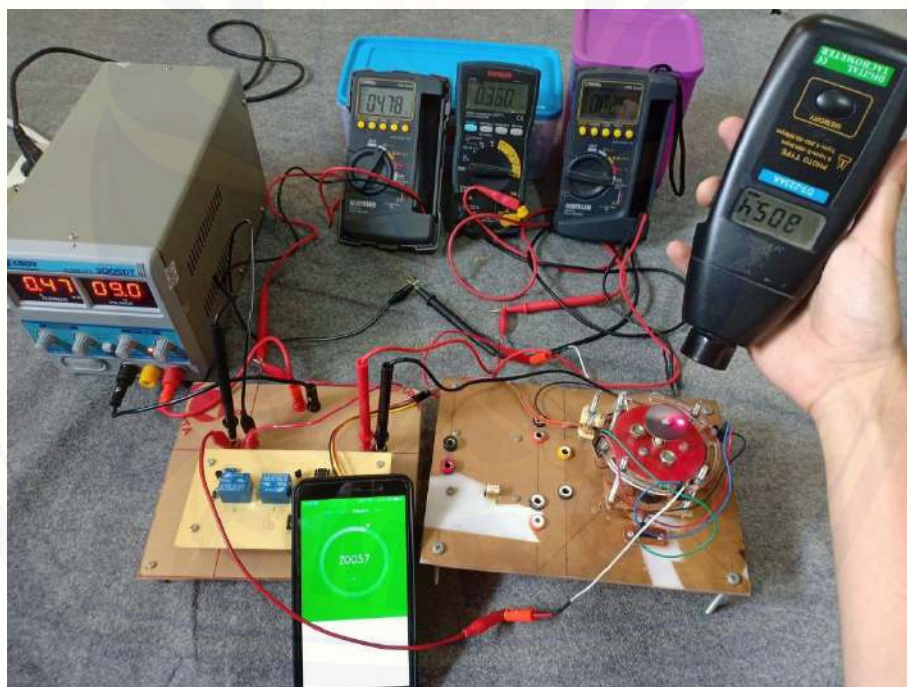
Gambar B.17 Pengujian ketahanan *relay* selama 17 menit



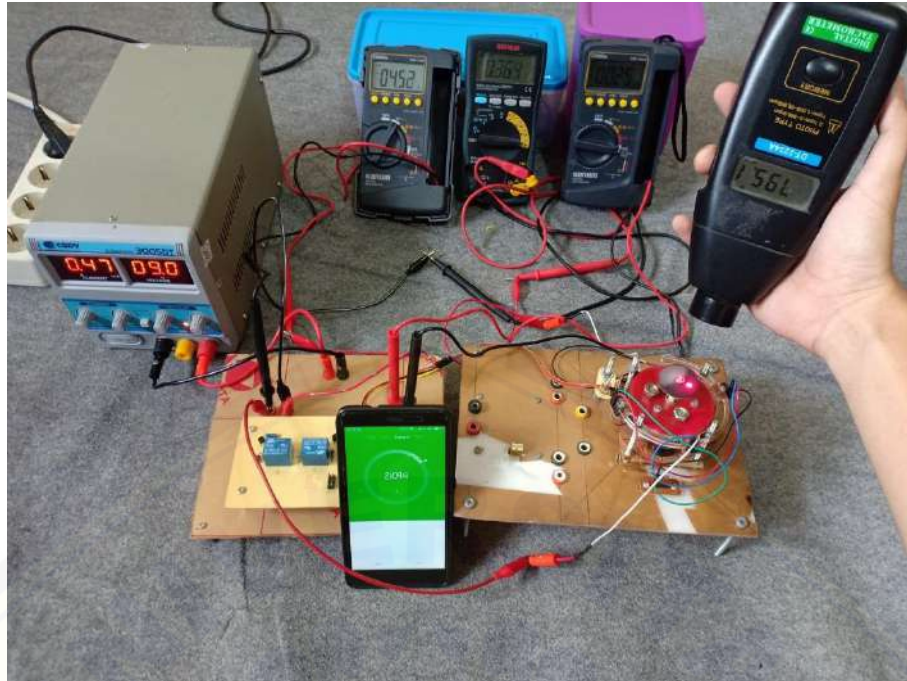
Gambar B.18 Pengujian ketahanan *relay* selama 18 menit



Gambar B.19 Pengujian ketahanan *relay* selama 19 menit



Gambar B.20 Pengujian ketahanan *relay* selama 20 menit



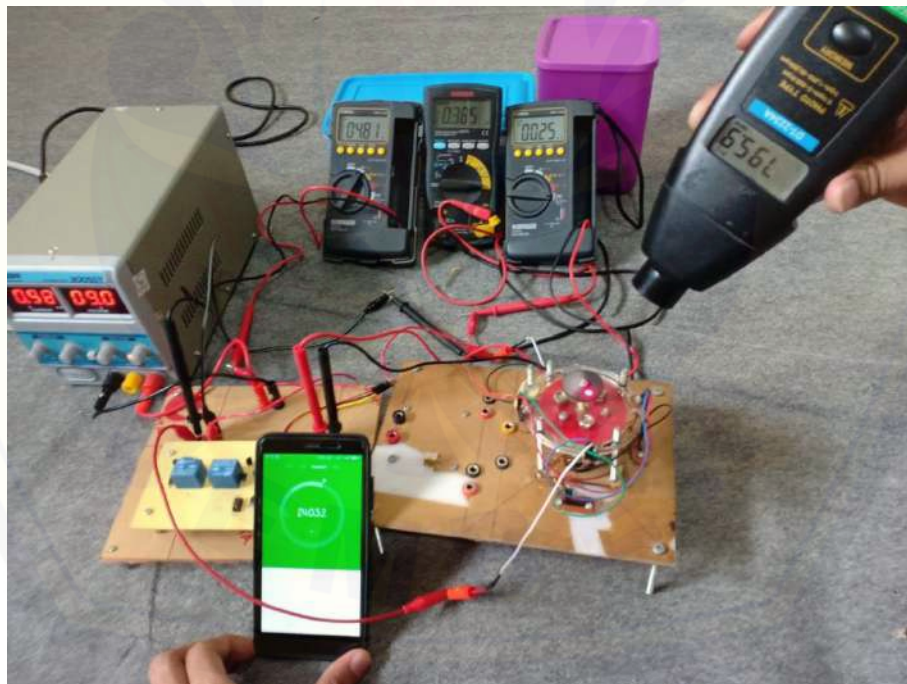
Gambar B.21 Pengujian ketahanan *relay* selama 21 menit



Gambar B.22 Pengujian ketahanan *relay* selama 22 menit



Gambar B.23 Pengujian ketahanan *relay* selama 23 menit



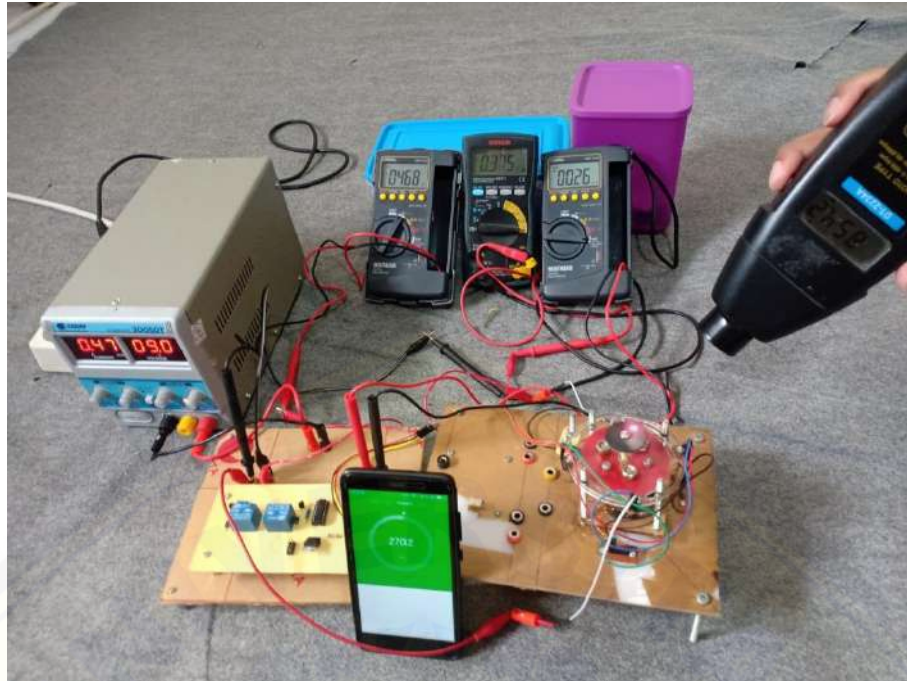
Gambar B.24 Pengujian ketahanan *relay* selama 24 menit



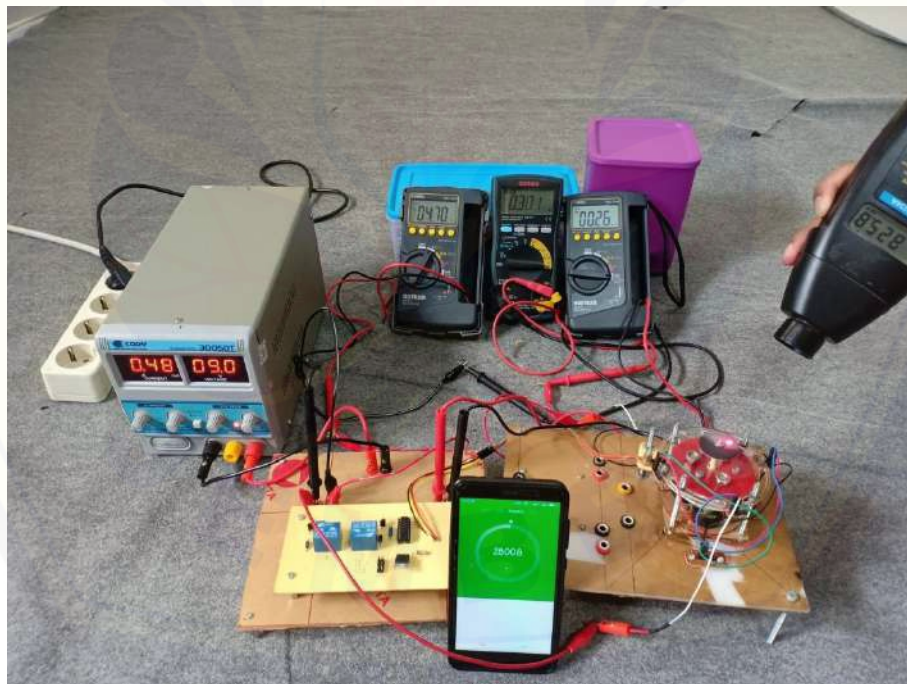
Gambar B.25 Pengujian ketahanan *relay* selama 25 menit



Gambar B.26 Pengujian ketahanan *relay* selama 26 menit



Gambar B.27 Pengujian ketahanan *relay* selama 27 menit



Gambar B.28 Pengujian ketahanan *relay* selama 28 menit



Gambar B.29 Pengujian ketahanan *relay* selama 29 menit



Gambar B.30 Pengujian ketahanan *relay* selama 30 menit

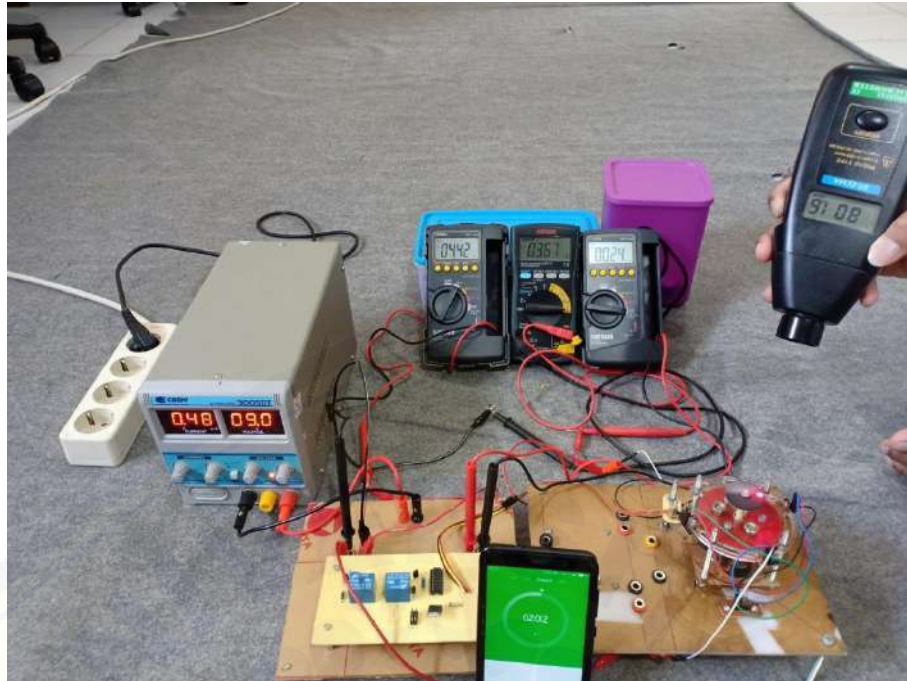


Gambar B.31 Pengujian ketahanan *relay* saat mati

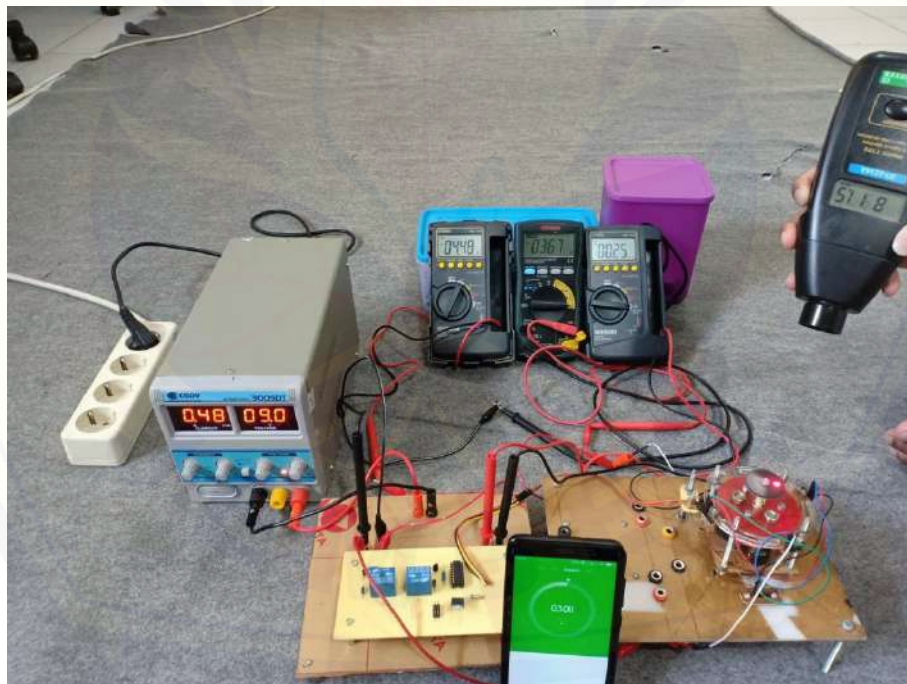
Pengujian 2



Gambar B.32 Pengujian ketahanan *relay* selama 1 menit



Gambar B.33 Pengujian ketahanan *relay* selama 2 menit



Gambar B.34 Pengujian ketahanan *relay* selama 3 menit



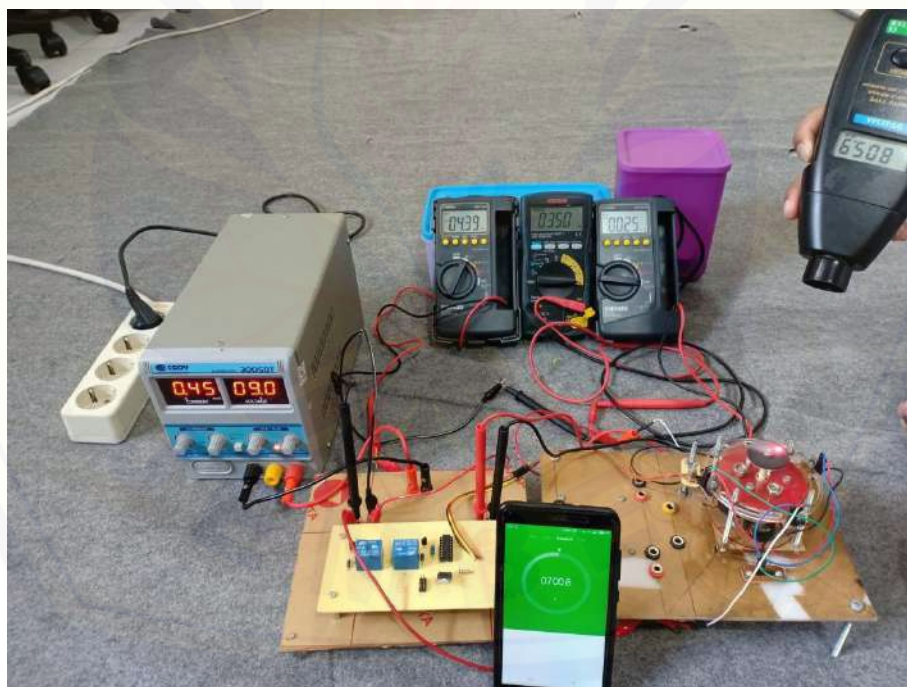
Gambar B.35 Pengujian ketahanan *relay* selama 4 menit



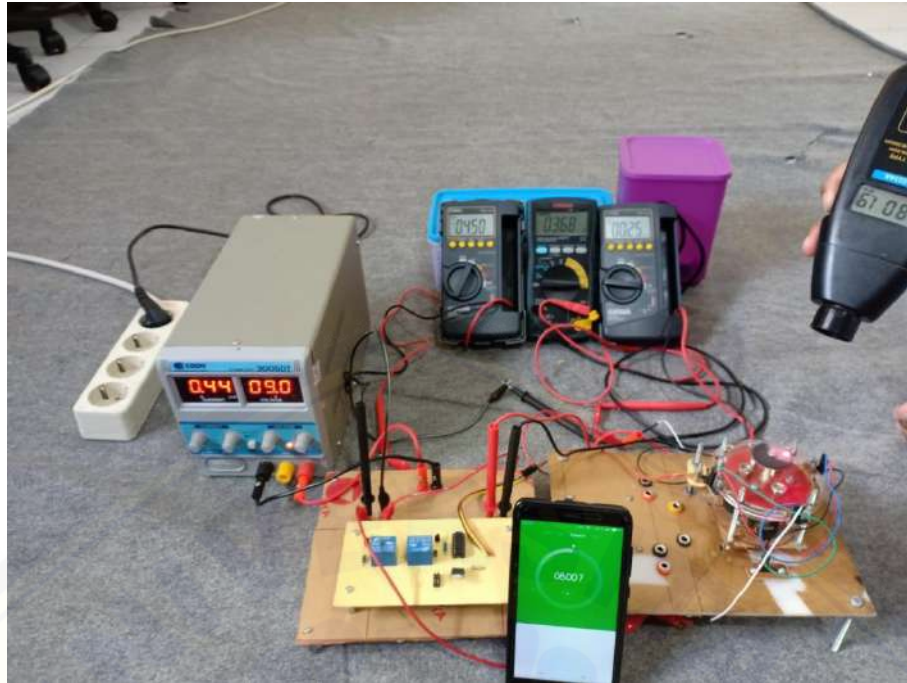
Gambar B.36 Pengujian ketahanan *relay* selama 5 menit



Gambar B.37 Pengujian ketahanan *relay* selama 6 menit



Gambar B.38 Pengujian ketahanan *relay* selama 7 menit



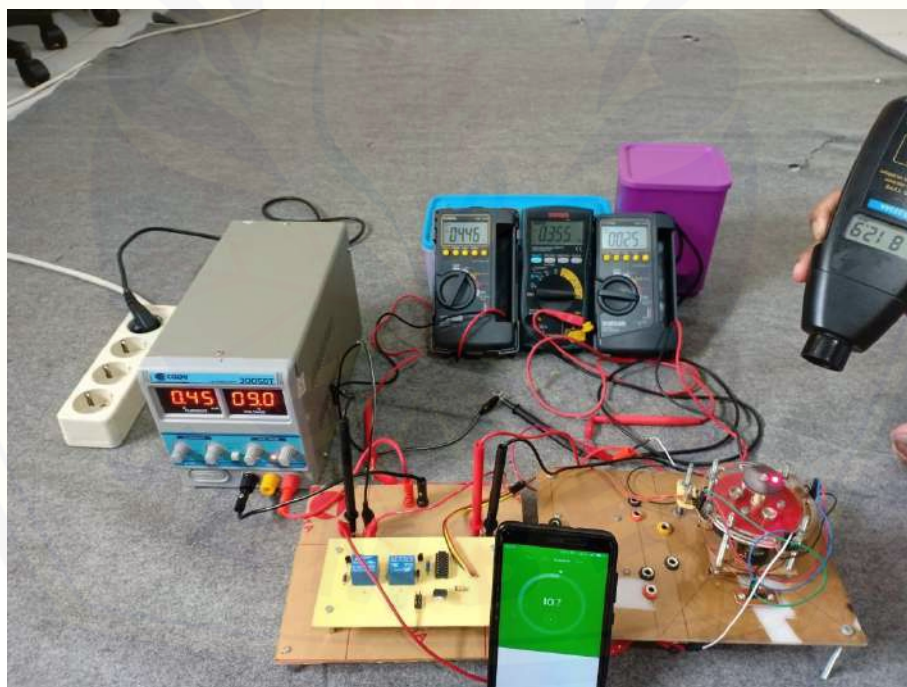
Gambar B.39 Pengujian ketahanan *relay* selama 8 menit



Gambar B.40 Pengujian ketahanan *relay* selama 9 menit



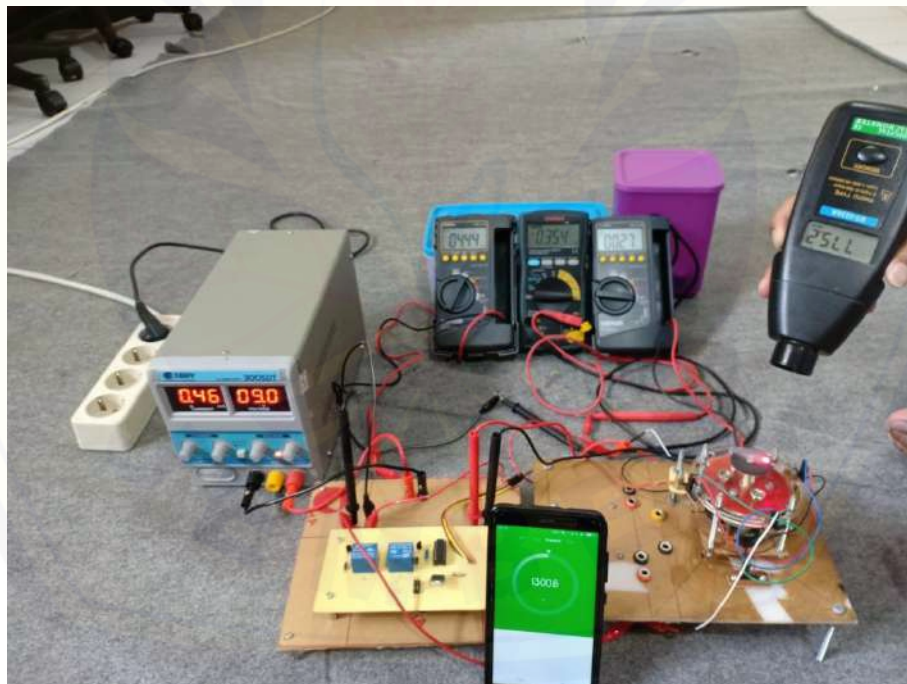
Gambar B.41 Pengujian ketahanan *relay* selama 10 menit



Gambar B.42 Pengujian ketahanan *relay* selama 11 menit



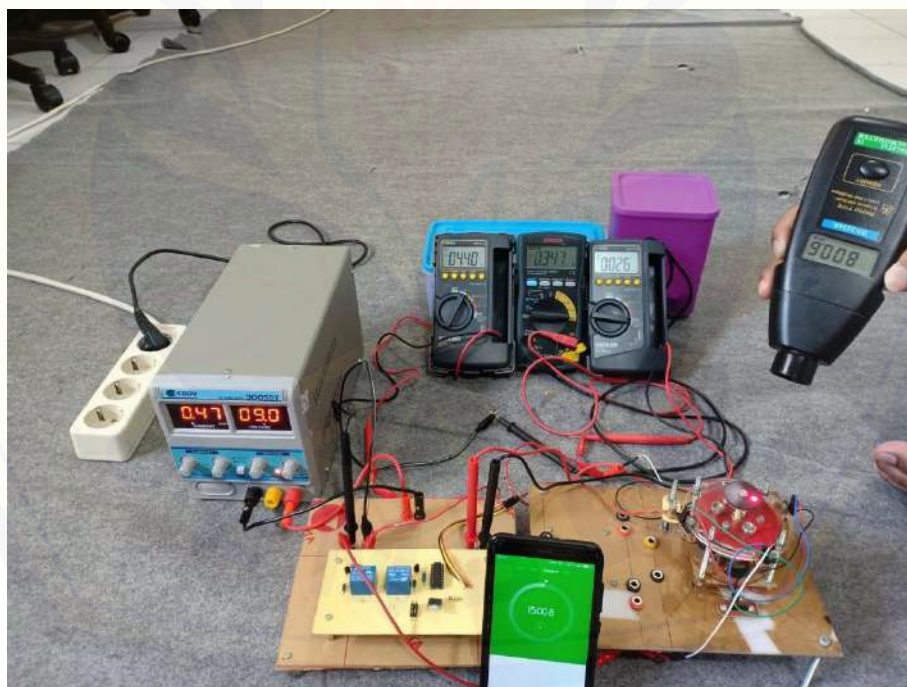
Gambar B.43 Pengujian ketahanan *relay* selama 12 menit



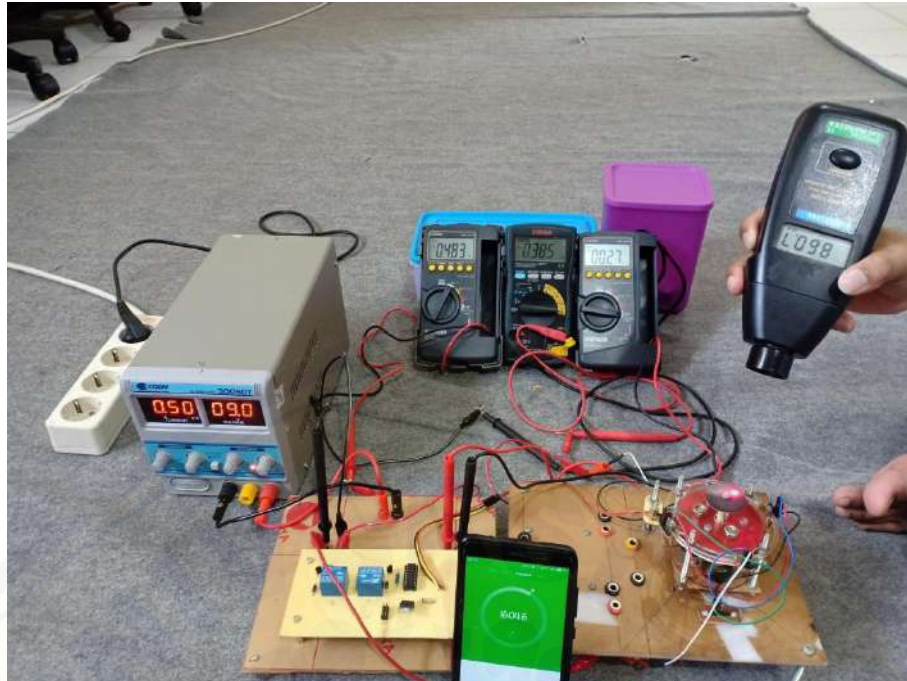
Gambar B.44 Pengujian ketahanan *relay* selama 13 menit



Gambar B.45 Pengujian ketahanan *relay* selama 14 menit



Gambar B.46 Pengujian ketahanan *relay* selama 15 menit



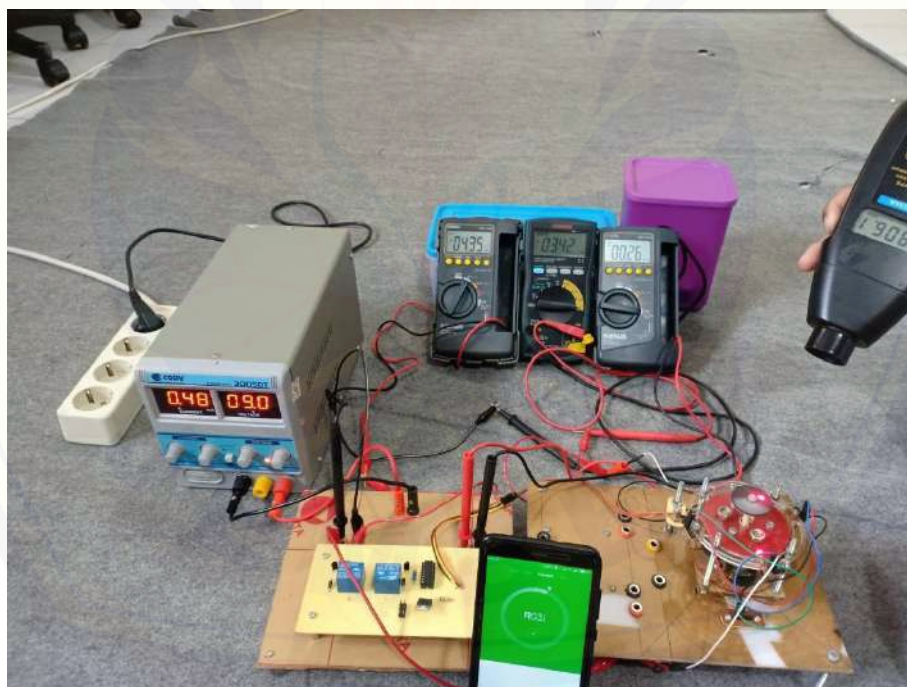
Gambar B.47 Pengujian ketahanan *relay* selama 16 menit



Gambar B.48 Pengujian ketahanan *relay* selama 17 menit



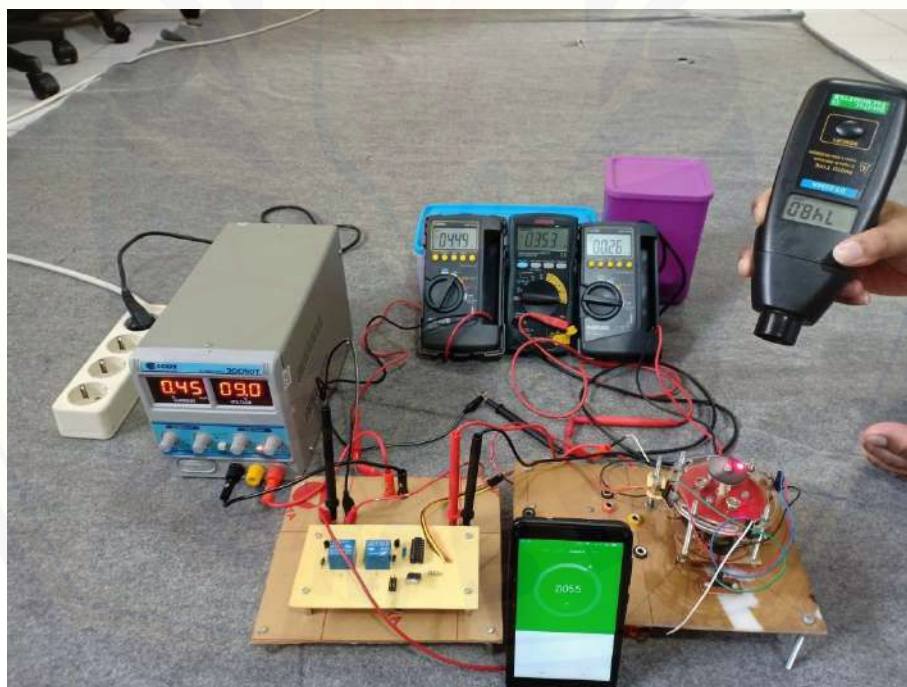
Gambar B.49 Pengujian ketahanan *relay* selama 18 menit



Gambar B.50 Pengujian ketahanan *relay* selama 19 menit



Gambar B.51 Pengujian ketahanan *relay* selama 20 menit



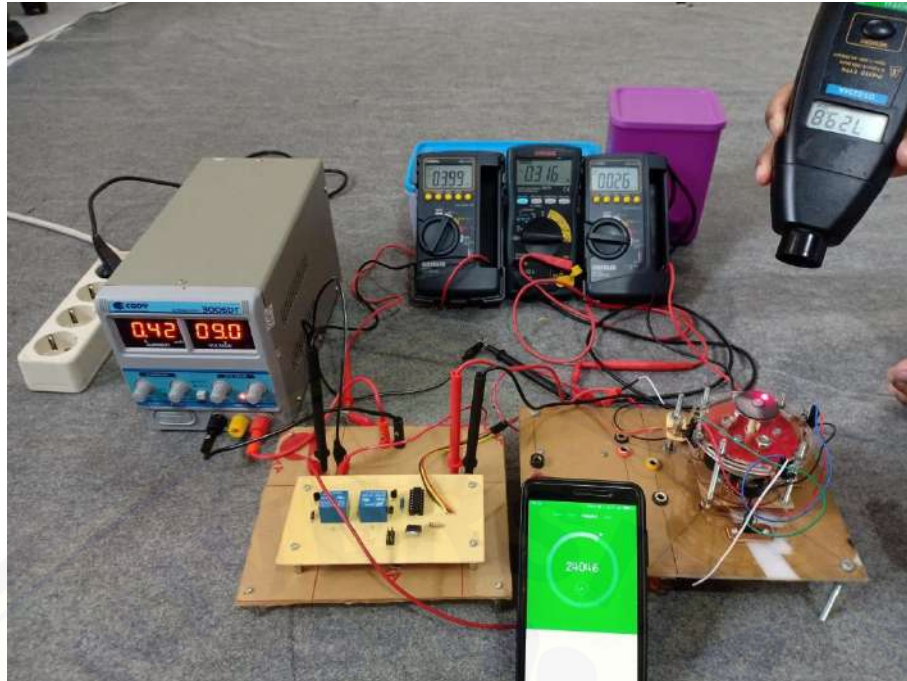
Gambar B.52 Pengujian ketahanan *relay* selama 21 menit



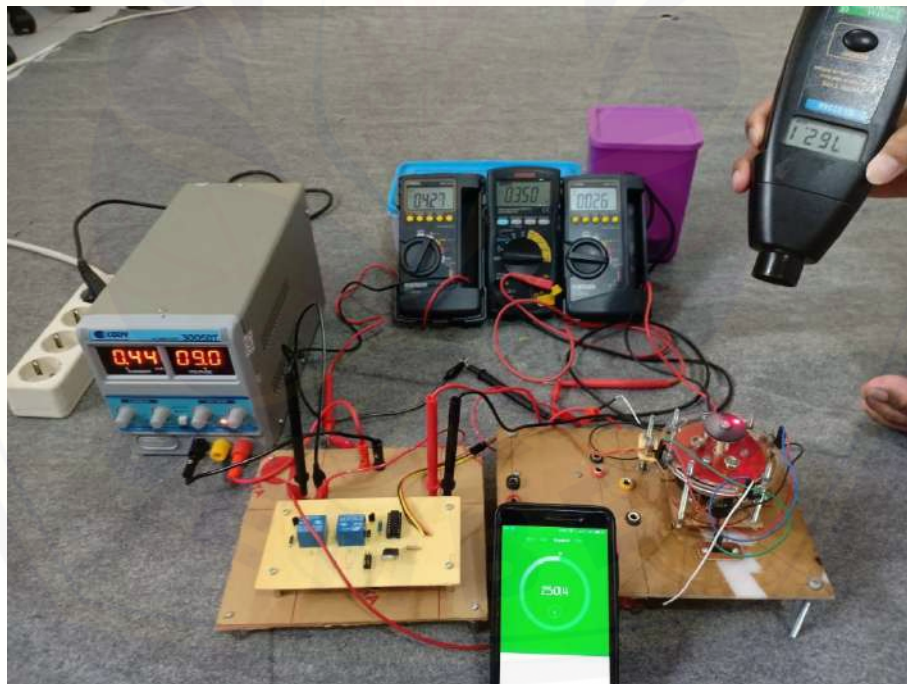
Gambar B.53 Pengujian ketahanan *relay* selama 22 menit



Gambar B.54 Pengujian ketahanan *relay* selama 23 menit



Gambar B.55 Pengujian ketahanan *relay* selama 24 menit



Gambar B.56 Pengujian ketahanan *relay* selama 25 menit



Gambar B.57 Pengujian ketahanan *relay* selama 26 menit



Gambar B.58 Pengujian ketahanan *relay* selama 27 menit



Gambar B.59 Pengujian ketahanan *relay* selama 28 menit



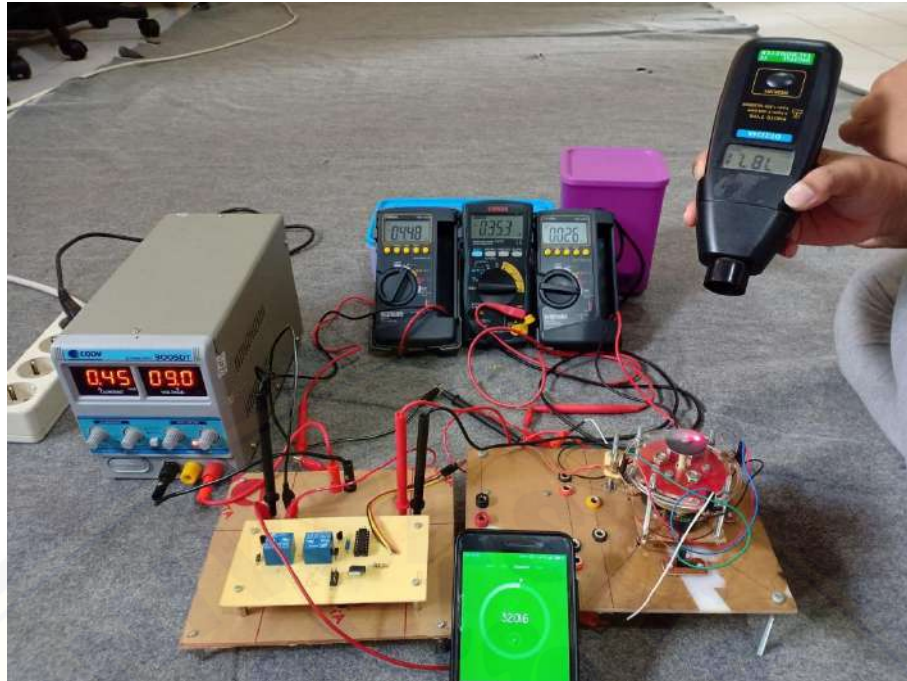
Gambar B.60 Pengujian ketahanan *relay* selama 29 menit



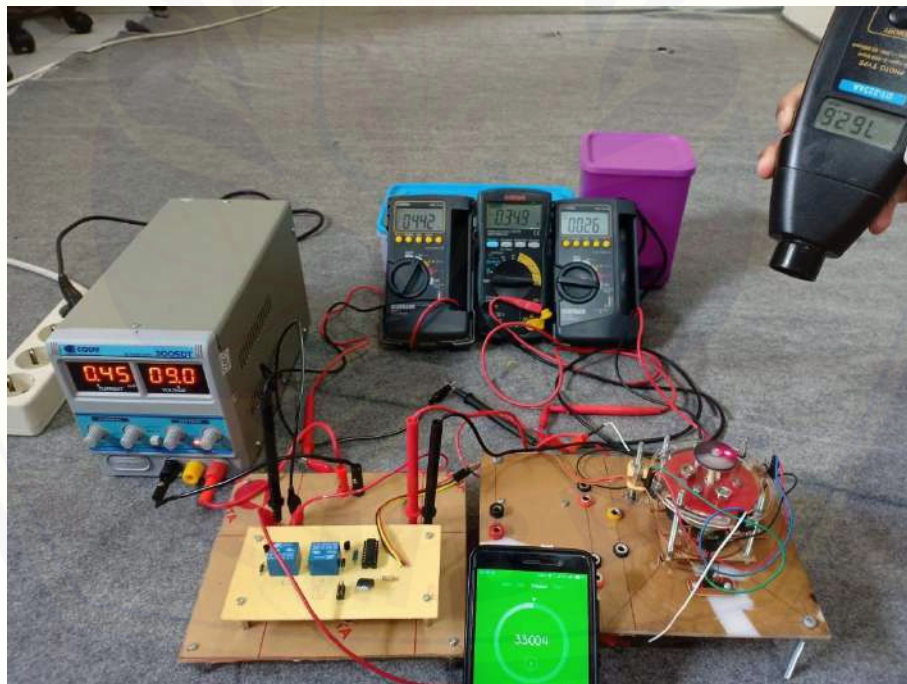
Gambar B.61 Pengujian ketahanan *relay* selama 30 menit



Gambar B.62 Pengujian ketahanan *relay* selama 31 menit



Gambar B.63 Pengujian ketahanan *relay* selama 32 menit



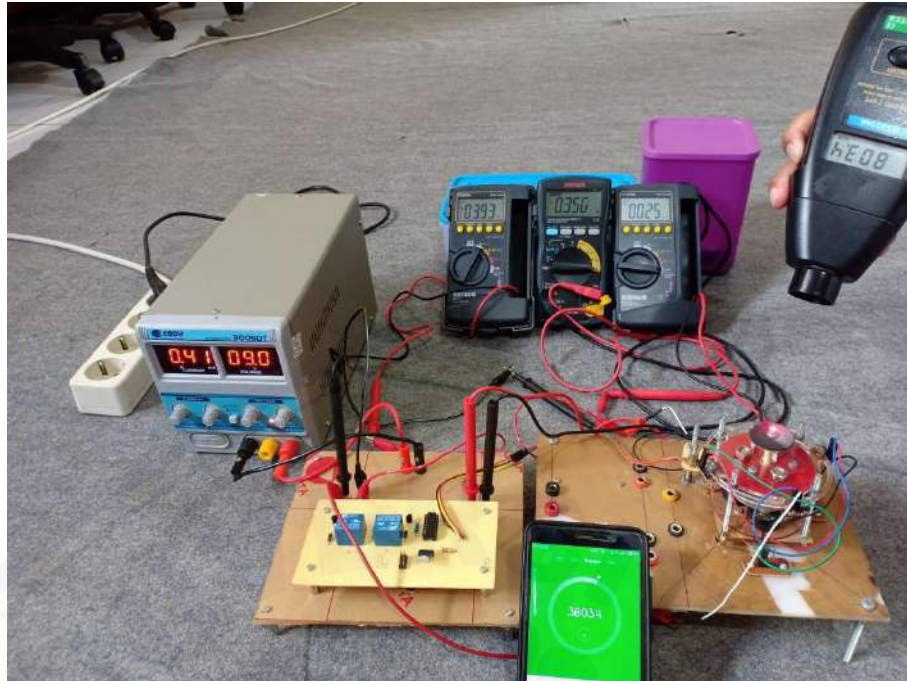
Gambar B.64 Pengujian ketahanan *relay* selama 33 menit



Gambar B.65 Pengujian ketahanan *relay* selama 34 menit



Gambar B.66 Pengujian ketahanan *relay* selama 35 menit



Gambar B.67 Pengujian ketahanan *relay* selama 36 menit



Gambar B.68 Pengujian ketahanan *relay* saat mati