

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN PUTARAN MOTOR
DC SHUNT SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR SINKRON
MENGUNAKAN DC-DC CONVERTER**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SATRIO HARY SUSILO
NIM. 125060300111076

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2016



LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN PUTARAN MOTOR
DC *SHUNT* SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR SINKRON
MENGUNAKAN *DC-DC CONVERTER*

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Satrio Hary Susilo
NIM. 125060300111076

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 22 November 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Soeprapto, M.T.

NIP. 19561020 198903 1 001

Ir. Hery Purnomo, M.T.

NIP. 19550708 198212 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 00

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



JUDUL SKRIPSI:

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN PUTARAN MOTOR
DC *SHUNT* SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR SINKRON
MENGUNAKAN *DC-DC CONVERTER*

Nama Mahasiswa : Satrio Hary Susilo
NIM : 125060300111076
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Ir. Soeprpto, M.T.

Anggota : Ir. Hery Purnomo, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Ir. Wijono, M.T., Ph.D.

Dosen Penguji II : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji III : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

Tanggal Ujian : 28 Oktober 2016

SK Penguji : 1340/UN10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 November 2016

Mahasiswa

Satrio Hary Susilo

NIM. 125060300111076





UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda Sugeng Harianto dan Ibunda Dyah Soesilowati*





RINGKASAN

Satrio Hary Susilo, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Oktober 2016. **Rancang Bangun Sistem Pengendalian Putaran Motor DC *Shunt* Sebagai Penggerak Generator Sinkron Menggunakan DC-DC *Converter***. Dosen Pembimbing : Ir. Soeprapto, M.T. dan Ir. Hery Purnomo, M.T.

Pengaturan motor yang sebelumnya dilakukan dengan cara konvensional, sekarang sudah menggunakan komponen elektronika daya. Motor dc merupakan salah satu jenis motor yang sering digunakan dan mudah untuk dikendalikan, hal ini disebabkan karena banyaknya metode pengaturan yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor dc. Dalam pengaturan kecepatan motor dc terdiri dari tiga metode yaitu dengan pengaturan tegangan terminal, fluksi, dan mengatur tahanan jangkar.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rangkaian pengaturan putaran motor dc *shunt* sebagai penggerak generator sinkron yang digunakan untuk syarat kerja paralel.

Dalam penelitian ini sistem pengaturan putaran motor dc *shunt* dilakukan tiga kali pengujian. Pengujian pertama yaitu motor dc *shunt* tidak diberi beban. Pengujian ini dilakukan untuk melihat tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian *buck converter*. Pengujian kedua yaitu motor dc *shunt* dibebani disisi generator sinkron dengan memberi beban elektrik untuk menguji sistem secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pada *duty cycle* berapa motor dc *shunt* berputar 1500rpm. Pengujian ketiga menggunakan pembebanan secara ekstrim untuk mengetahui tanggapan rangkaian sistem secara keseluruhan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa lama tanggapan sistem untuk mencapai keadaan *steady state* saat disisi beban diberikan beban secara ekstrim.

Kata kunci – motor dc *shunt*, sensor putaran, *buck converter*.



SUMMARY

Satrio Hary Susilo, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University Of Brawijaya October 2016. Design Control Rotation System of DC Motor Shunt As Prime Mover Synchronous Generator Using DC-DC Converter. Supervising Lecturer : Ir. Soeprapto, M.T. and Ir. Hery Purnomo, M.T.

Motor control that were before used conventional method, now it uses power electronics components. DC motor is one type of motor that used and easy to be controlled, because to many method that can be used to control the speed of a dc motor. In the dc motor speed control consists of three methods, armature voltage control, field control, and armature resistance control.

The purpose of this study is to make a circuit of controlled dc motor shunt rotation as prime mover a synchronous generator used for the synchronization process.

In this research the dc motor shunt rotation control system was tested for three times. The first test dc shunt motor with no load. This test was conducted to get the output voltage of buck converter circuit. The second test is a dc motor shunt with electrical load in synchronous generator to test the overall system. This test for to get duty cycle from system used dc shunt motor rotation 1500rpm. The third test using the extreme load to determine the response range of the overall system. This test to get how long the response of the system to reach a steady state when load side is extreme.

Keywords – DC motor shunt, rotary encoder, buck converter.



KATA PENGANTAR

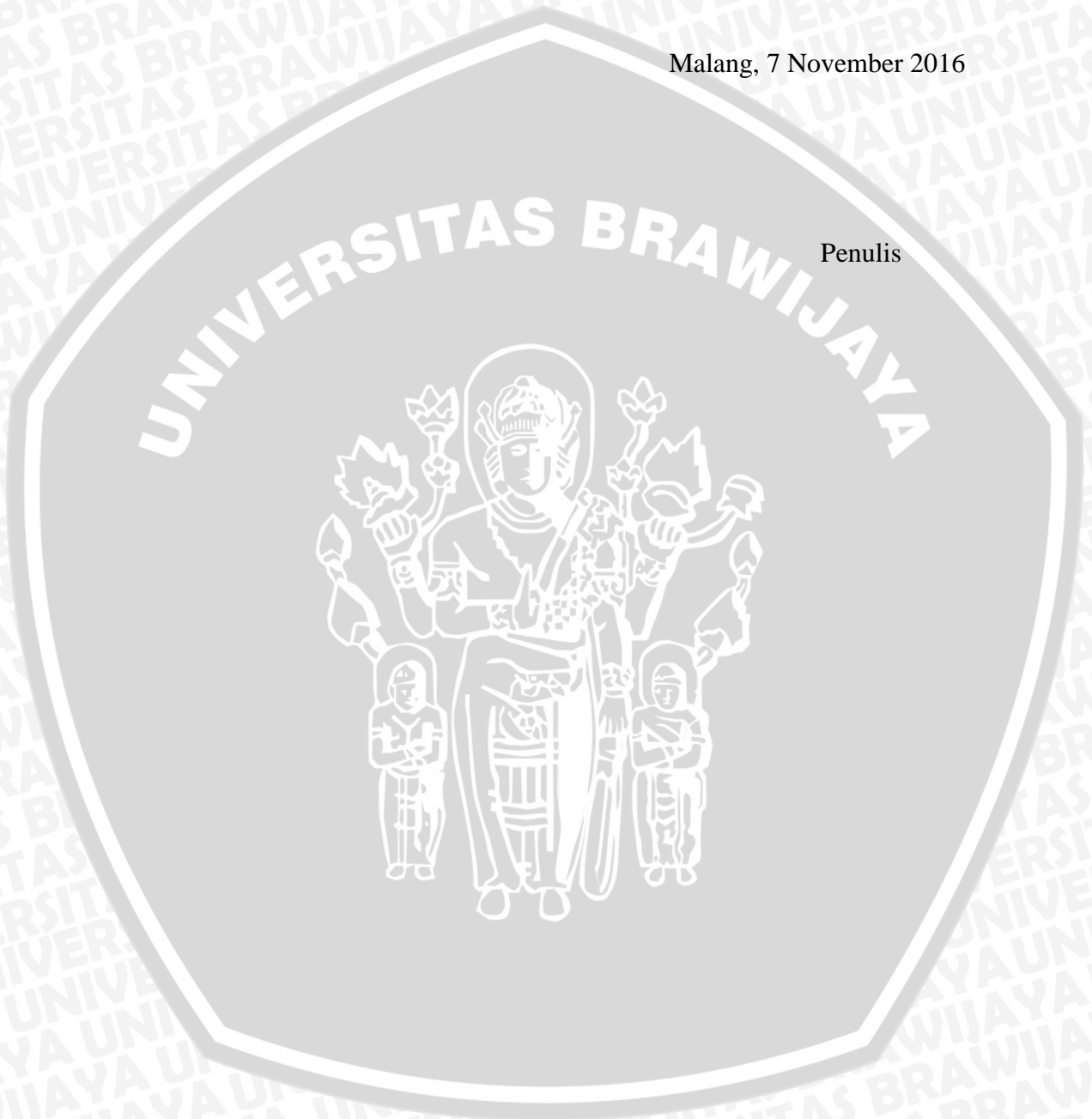
Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Putaran Motor DC *Shunt* Sebagai Penggerak Generator Sinkron Menggunakan *DC-DC Converter*” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Soeprpto, M.T. dan Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Nanang Sulistiyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta Ayah Sugeng Harianto dan Ibu Dyah Soesilowati yang selalu memberikan kasih sayang dan do'anya yang tiada akhir, adik tercinta Bintang Oktavian Rahardi dan Cindra Ariesta Hepi Niantasandhi atas segala macam dukungan yang telah diberikan.
6. Seluruh Asisten Mesin Elektrik dan Asisten Elektronika Daya yang telah turut andil memberikan memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2012 (Voltage), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2012) yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
8. Seluruh teman-teman UNPAR dan BK atas bantuan, motivasi, kerjasama, dan kebersamaan dalam proses pengerjaan skripsi
9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

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

Malang, 7 November 2016

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Arus Searah (Mesin DC)	5
2.2 <i>Buck Converter</i>	8
2.3 Mikrokontroler	12
2.4 <i>Rotary encoder</i>	14
2.5 MOSFET Daya	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Alat dan Bahan	17
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	18
3.3 Blok Diagram Sistem	18
3.4 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir)	19
3.5 Studi Literatur	19
3.6 Perancangan Alat	19
3.6.1 Penentuan Motor Arus Searah <i>Shunt</i>	20
3.6.2 Rangkaian Picu	20
3.6.3 <i>Buck Converter</i>	20
3.6.4 <i>Rotary Encoder</i>	20
3.7 Simulasi Perancangan Alat	21
3.7.1 Simulasi <i>Buck Converter</i>	21
3.8 Pengujian dan Analisis	21
3.8.1 Pengujian Rangkaian Picu	21

3.8.2	Pengujian <i>Buck Converter</i>	22
3.9	Pembuatan Alat.....	22
3.10	Kesimpulan dan Saran.....	22
BAB IV PERANCANGAN ALAT DAN SIMULASI ALAT		23
4.1	Perancangan Alat.....	23
4.1.1	Penentuan Motor Arus Searah Shunt	23
4.1.2	<i>Buck Converter</i>	23
4.1.3	Rangkaian Picu.....	26
4.1.4	Sensor Putaran.....	27
4.2	Simulasi Alat	27
4.2.1	Penentuan Komponen Simulasi	27
4.2.2	Prosedur Simulasi.....	28
4.2.3	Hasil Simulasi <i>Buck Converter</i>	28
4.2.4	Analisis Hasil Simulasi <i>Buck Converter</i>	29
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		31
5.1	Pengujian Rangkaian Picu	31
5.1.1	Prosedur Pengujian Rangkaian Picu	31
5.1.2	Hasil Pengujian Rangkaian Picu	31
5.2	Pengujian Sensor Putaran	32
5.2.1	Prosedur Pengujian Sensor Putaran.....	32
5.2.2	Hasil Pengujian Sensor Putaran	32
5.2.3	Analisis Hasil Pengujian Sensor Putaran	32
5.3	Pengujian <i>Buck Converter</i>	34
5.3.1	Prosedur Pengujian.....	34
5.3.2	Hasil Pengujian	35
5.3.3	Analisis Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i>	35
5.4	Pengujian Sistem <i>Open Loop</i>	37
5.4.1	Prosedur Pengujian.....	37
5.4.2	Hasil Pengujian	37
5.4.3	Analisis Hasil Pengujian Sistem <i>Open loop</i>	38
5.5	Pengujian Sistem <i>Close Loop</i> Perubahan Beban yang Linier	39
5.5.1	Prosedur Pengujian Perubahan Beban yang Linier	39
5.5.2	Hasil Pengujian dengan Perubahan Beban yang Linier	40
5.5.2	Analisis Hasil Pengujian Sistem <i>Close loop</i> Perubahan Beban yang Linier	40

5.6	Pengujian Sistem <i>Close Loop</i> Perubahan Beban yang Ekstrim.....	41
5.5.1	Prosedur Pengujian Perubahan Beban yang Ekstrim	41
5.5.2	Hasil Pengujian dengan Perubahan Beban yang Ekstrim.....	41
PENUTUP		45
6.1	Kesimpulan	45
6.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN		49



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Uno	13
Tabel 4. 1 Penentuan parameter perancangan <i>buck converter</i>	23
Tabel 4. 2 Komponen <i>buck converter</i>	25
Tabel 4. 3 Penentuan komponen simulasi <i>buck converter</i>	27
Tabel 4. 4 Hasil simulasi <i>buck converter</i>	28
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian sensor putaran.	33
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian keluaran <i>buck converter</i>	35
Tabel 5. 3 Perbandingan tegangan keluaran <i>buck converter</i> antara perhitungan, pengujian dan simulasi <i>buck converter</i>	35
Tabel 5. 4 Pengujian sistem <i>open loop</i>	37
Tabel 5. 5 Pengujian sistem <i>close loop</i> perubahan beban linier	40
Tabel 5. 6 Hasil pengujian dengan variasi pembebanan ekstrim	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Koneksi rangkaian medan mesin dc. (a) penguat (eksitasi) terpisah, (b) seri, (c) <i>shunt</i> , dan (d) kompon.	6
Gambar 2. 2 Rangkaian ekuivalen motor DC Penguatan <i>shunt</i>	6
Gambar 2. 3 Karakteristik <i>volt-ampere</i> generator dc	8
Gambar 2. 4 Karakteristik putaran-torsi motor dc.....	8
Gambar 2. 5 <i>Dc-dc converter</i> . (a) <i>basic dc-dc switching converter</i> ; (b) rangkaian ekuivalen pensaklaran; (c) tegangan keluaran	9
Gambar 2. 6 <i>Buck converter</i>	10
Gambar 2. 7 Bentuk gelombang <i>buck converter</i> . (a) Tegangan induktor; (b) Arus induktor; (c) Arus kapasitor	10
Gambar 2. 8 Arduino UNO R3.....	12
Gambar 2. 9 Pemetaan pin atmega328 pada Arduino	12
Gambar 2. 10 Peletakan piringan terhadap sensor <i>photocoupler</i>	14
Gambar 2. 11 Mosfet kanal N	15
Gambar 3. 1 Diagram alur metode penelitian.....	17
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem.....	18
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3. 4 Skematik diagram simulasi <i>buck converter</i>	21
Gambar 4. 1 Diagram skematik perancangan <i>buck converter</i>	25
Gambar 4. 2 Skematik Perancangan Rangkaian Picu IR2110.....	26
Gambar 4. 3 <i>Tacho</i> Generator (sensor putaran)	27
Gambar 4. 4 Skematik Simulasi <i>Buck Converter</i> pada MATLAB.....	28
Gambar 4. 5 Bentuk gelombang tegangan keluaran <i>buck converter</i> pada simulasi saat <i>duty cycle</i> 60%	29
Gambar 4. 6 Karakteristik <i>buck converter</i> hasil simulasi.....	29
Gambar 5. 1 Rangkaian pengujian pembangkit sinyal picu	31
Gambar 5. 2 Hasil dari rangkaian picu dengan <i>duty cyle</i> 20%	31
Gambar 5. 3 Hasil dari rangkaian picu dengan <i>duty cyle</i> 40%	32
Gambar 5. 4 Hasil dari rangkaian picu dengan <i>duty cyle</i> 60%	32
Gambar 5. 5 Hasil dari rangkaian picu dengan <i>duty cyle</i> 80%	32
Gambar 5. 6 Rangkaian pengujian sensor putaran	32

Gambar 5. 7 Grafik hubungan antara putaran dengan tegangan keluaran <i>tacho</i> generator.	33
Gambar 5. 8 Rangkaian pengujian <i>Buck Converter</i>	34
Gambar 5. 9 Grafik perbandingan antara teori, simulasi, dan pengujian tegangan keluaran <i>buck converter</i>	36
Gambar 5. 10 Rangkaian pengujian <i>Buck Converter</i> mode <i>open loop</i>	37
Gambar 5. 11 Grafik hubungan antara <i>duty cycle</i> dengan putaran motor dc <i>shunt</i> pengujian <i>open loop</i>	38
Gambar 5. 12 Rangkaian pengujian <i>Buck Converter</i> mode <i>close loop</i>	39
Gambar 5. 13 Grafik perbandingan antara arus beban dengan tegangan keluaran dari <i>buck converter</i> sistem <i>close loop</i>	40
Gambar 5. 14 Respon tegangan keluaran tachogenerator saat pembebanan 100 watt saat motor <i>shunt</i> mempertahankan putaran 1500 rpm.	42
Gambar 5. 15 Respon tegangan keluaran generator saat pembebanan 100 watt saat motor <i>shunt</i> mempertahankan tegangan keluaran 380 volt	42
Gambar 5. 16 Respon tegangan keluaran tachogenerator saat pembebanan 200 watt saat motor <i>shunt</i> mempertahankan putaran 1500 rpm.	43
Gambar 5. 17 Respon tegangan keluaran generator saat pembebanan 200 watt saat motor <i>shunt</i> mempertahankan tegangan keluaran 380 volt	43





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, kemajuan teknologi di bidang elektronika daya begitu pesatnya, sehingga pengaturan motor yang sebelumnya dilakukan dengan cara konvensional, sekarang telah dilakukan menggunakan komponen elektronika daya. Motor dc merupakan salah satu jenis motor yang sering digunakan dan mudah untuk dikendalikan, hal ini disebabkan karena banyaknya metode pengaturan yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor dc. Dalam pengaturan kecepatan motor *dc* terdiri dari tiga metode yaitu dengan pengaturan tegangan terminal, fluksi, dan mengatur tahanan jangkar. (Sen, 1997)

Motor dc (motor arus searah) terdiri dari dua jenis, yaitu motor dc penguat terpisah dan motor dc penguat sendiri. Motor dc penguat terpisah membutuhkan dua suplai daya, sedangkan motor dc penguat sendiri hanya membutuhkan satu suplai daya. Motor dc penguat sendiri juga dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: motor dc seri, motor dc *shunt*, dan motor dc kompon. Motor dc *shunt* adalah motor dc yang lilitan jangkar dan lilitan medannya dipasang secara paralel. Motor dc *shunt* mempunyai karakteristik pada putarannya yakni tidak mudah terpengaruh saat torsi beban besar. (Fitzgerald, 2003)

DC Chopper terdiri dari banyak jenis, beberapa jenisnya adalah *buck converter* dan *boost converter*. *Buck converter* berfungsi sebagai penurun level tegangan dc, sedangkan *boost converter* berfungsi sebagai penaik level tegangan dc. Pada penelitian ini menggunakan *buck converter*, dengan pertimbangan tegangan keluarannya yang mendekati dc murni agar tidak terlalu berdampak terhadap catu daya.

Pengaturan kecepatan motor *shunt* di Laboratorium Mesin Elektrik saat ini menggunakan metode pengaturan tegangan terminal dengan bantuan regulator tegangan yang diatur secara manual. Dengan kemajuan elektronika daya menggunakan *DC-DC Converter* dapat mengatur tegangan yang sesuai secara otomatis.

Berdasarkan kondisi diatas penulis menyusun skripsi dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN PUTARAN MOTOR DC SHUNT SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR SINKRON MENGGUNAKAN DC-DC CONVERTER”**. Diharapkan dengan berakhirnya penelitian ini nanti dapat merubah sistem

syarat kerja paralel generator dengan penggerak utamanya motor *shunt* tidak lagi menggunakan pengaturan yang konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini disusun dalam rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai *error* tegangan keluaran *buck converter* antara simulasi dan pengujian.
2. Berapa besar *duty cycle* yang dibutuhkan motor *shunt* untuk menghasilkan putaran 1500 rpm.
3. Berapa lama waktu yang dibutuhkan alat untuk menuju keadaan *steady state* pada pembebanan ekstrim.

1.3 Batasan Masalah

1. Dalam proses sinkronisasi yang digunakan adalah 1 buah generator sinkron dan motor *dc shunt* berkapasitas 300 watt.
2. Rancangan sistem ini yang dikendalikan adalah kecepatan motor *shunt* menggunakan *dc chooper* khususnya *buck converter*.
3. Pengaturan eksitasi generator sinkron diabaikan.
4. Menggunakan beban resistif 3 fasa disisi generator sinkron 3 fasa.
5. Digunakan untuk sistem syarat kerja paralel dengan jala-jala PLN.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sistem pengendalian putaran motor *shunt* sebagai penggerak utama generator sinkron 3 fasa menggunakan rangkaian *buck converter*, serta proses sistem sinkronisasi kerja paralel generator dengan jala –jala PLN.

1.5 Manfaat

Terdapat beberapa manfaat dari rancang bangun ini, yaitu bagi penulis dan bagi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Manfaat bagi penulis adalah memberikan pengalaman merancang dan membangun sebuah sistem pengendalian motor *shunt* sebagai penggerak generator sinkron untuk syarat sinkronisasi generator sinkron dengan jala – jala PLN dan menyelesaikan syarat kelulusan berupa skripsi. Manfaat bagi Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya adalah proses sinkronisasi yang awalnya dilakukan secara konvensional dengan menggunakan *DC-DC Converter* sistem sinkronisasi yang akan secara otomatis.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terdiri dari tujuh bab, yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian dan untuk mendukung permasalahan yang diungkap

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tahapan penyelesaian skripsi ini yang meliputi studi literatur, perancangan dan pengujian, pengambilan data, perhitungan dan analisis data.

BAB IV : PERANCANGAN ALAT

Berisi data-data perancangan termasuk model perancangan yang akan disimulasikan dan dibangun.

BAB V : SIMULASI PERANCANGAN ALAT

Berisi hasil simulasi dengan data-data masukan dari perancangan alat.

BAB VI : PENGUJIAN DAN ANALISIS

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

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

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





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Arus Searah (Mesin DC)

Motor arus searah (motor dc) ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah energi listrik arus searah (listrik dc) menjadi energi gerak atau tenaga mekanik, dimana tenaga gerak tersebut berupa putaran dari pada rotor. Antara motor dc dan generator dc tak ada perbedaan konstruksi. Pada prinsipnya, motor dc bisa dipakai sebagai generator dc, sebaliknya generator dc dapat dipakai sebagai motor dc (Sumanto, 1991).

Pada mesin arus searah terdapat kumparan medan yang berbentuk kutub sepatu merupakan stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar yang merupakan rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah bekerja berdasarkan prinsip yang menyatakan bahwa ketika kumparan yang membawa arus ditempatkan dalam medan magnet, maka kumparan mengalami gaya mekanik. Gaya mekanik ini akan menimbulkan torsi yang akan membuat jangkar berputar (Mehta, 2000).

Motor dc bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara dua fluksi magnetik. Ketika kumparan medan dan kumparan jangkar dihubungkan dengan suatu sumber tegangan dc maka pada kumparan medan akan mengalir arus medan (I_f) sehingga menghasilkan fluksi magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan. Sedangkan pada kumparan jangkar menghasilkan arus jangkar (I_a), sehingga pada konduktor jangkar timbul fluksi magnet yang melingkar. Fluksi jangkar ini akan memotong fluksi dari kumparan medan sehingga menyebabkan perubahan kerapatan fluksi dari medan utama. Sesuai dengan hukum Lorentz, interaksi antara kedua fluksi magnet ini akan menimbulkan suatu gaya mekanik pada konduktor jangkar yang disebut gaya *Lorentz*. Besar gaya ini sesuai dengan persamaan 2.1.

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{L} \quad (2.1)$$

dengan :

F = Gaya yang bekerja pada konduktor (N)

B = Kerapatan *fluks magnetic* (Wb/m²)

I = Arus yang mengalir pada konduktor (A)

L = Panjang konduktor (m)

Arah gaya ini dapat ditentukan dengan kaidah tangan kiri *Flemming*. Kaidah tangan kiri menyatakan, jika jari telunjuk menyatakan arah dari vektor kerapatan fluks B dan jari tengah menyatakan arah dari vektor arus i, maka ibu jari akan menyatakan arah gaya F yang bekerja pada konduktor tersebut.

Gaya yang timbul pada konduktor tersebut akan menghasilkan momen putar atau torsi. Torsi yang dihasilkan oleh motor dapat ditentukan dengan persamaan 2.2.

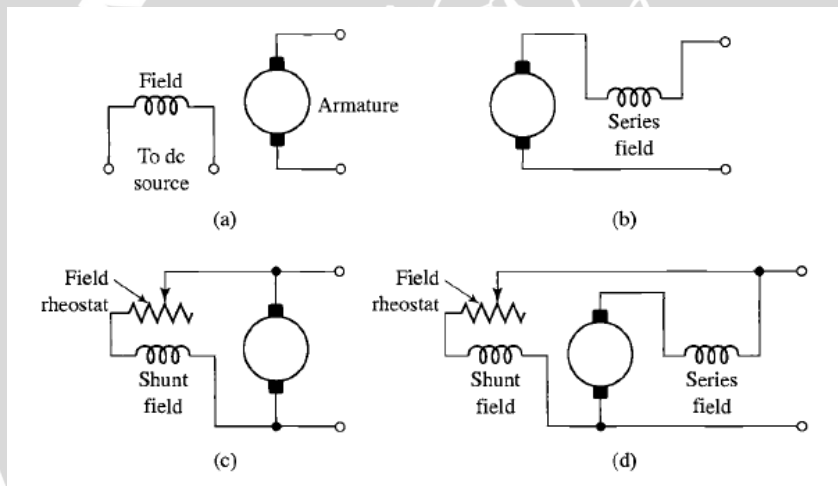
$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{r} \tag{2.2}$$

dengan :

T = torsi jangkar (*Newton-meter*)

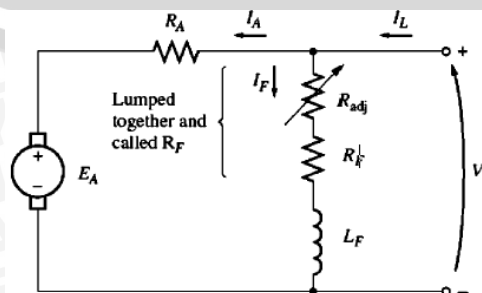
r = jari-jari rotor (meter)

Berdasarkan sumber tegangan penguatannya, motor dc dapat dibagi menjadi dua, yaitu motor dc penguatan bebas (penguatan luar) dan motor dc penguatan sendiri. Salah satu jenis motor dc penguatan sendiri adalah motor dc penguatan *shunt*. (Sumanto, 1991)



Gambar 2. 1 Koneksi rangkaian medan mesin dc. (a) penguat (eksitasi) terpisah, (b) seri, (c) *shunt*, dan (d) kompon. (Sumber : Fitzgerald, 2003)

Rangkaian ekuivalen motor dc penguatan *shunt* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Rangkaian ekuivalen motor DC Penguatan *shunt* (Sumber : Chapman, 2005)

Dari Gambar 2.2 diatas, diperoleh persamaan tegangan terminal motor DC penguatan *shunt* seperti ditunjukkan oleh persamaan 2.3

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \quad (2.3)$$

$$V_{sh} = V_t = I_{sh} \cdot R_{sh} \quad (2.4)$$

$$I_L = I_a + I_{sh} \quad (2.5)$$

dengan :

I_{sh} = Arus kumparan medan shunt (*ohm*)

V_{sh} = Tegangan kumparan medan shunt (*volt*)

R_{sh} = Tahanan medan shunt (*ohm*)

I_L = Arus beban (*amp*)

Pengaturan kecepatan memegang peranan penting dalam motor arus searah karena motor arus searah mempunyai karakteristik kopel-kecepatan yang menguntungkan dibandingkan dengan motor lainnya.

Kecepatan putaran motor dc dapat diturunkan dengan persamaan 2.6.

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{K\Phi} \quad (2.6)$$

dengan :

n = Jumlah putaran

K = Konstanta (bergantung pada ukuran fisik motor)

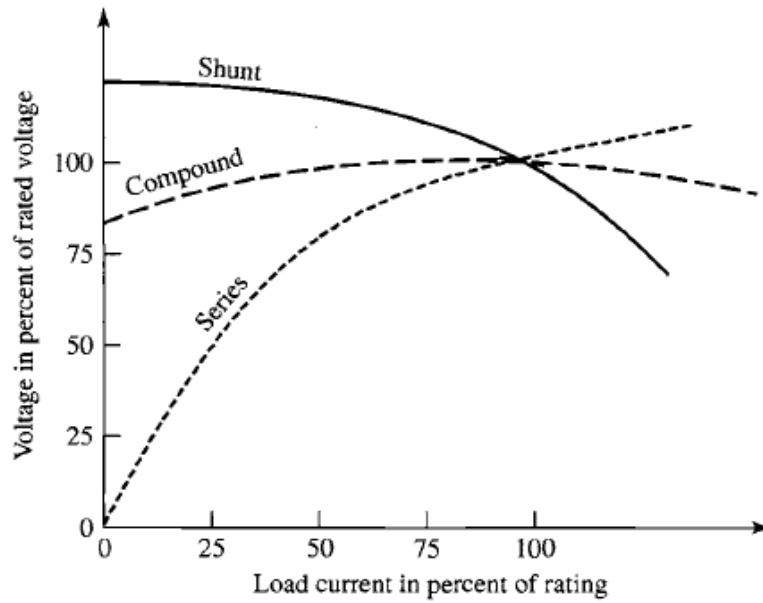
V_t = Tegangan terminal, R_a adalah tahanan jangkar

I_a = Arus jangkar

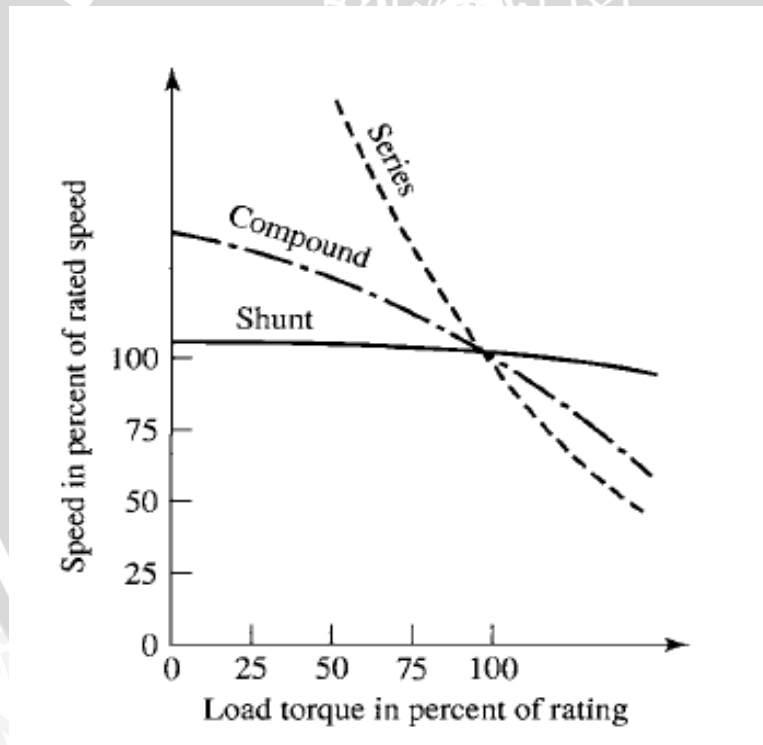
Φ = *Fluks magnetic*.

Dengan persamaan diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan putaran motor dapat diatur dengan cara mengubah tahanan jangkar (R_a), fluks magnetik (Φ), dan tegangan terminal (V_t).

Setiap metode koneksi medan, menghasilkan karakteristik volt-ampere yang berbeda untuk setiap mesin dc yang dioperasikan sebagai generator, maupun karakteristik putaran torsi untuk setiap mesin dc yang dioperasikan sebagai motor. Bila kita melihat pada Gambar 2.3, terdapat perbedaan yang sangat besar untuk karakteristik dc *shunt*, dc seri dan *compound*. Pada karakteristik putaran-torsi yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, putaran motor dc *shunt* relatif lebih stabil dari pada motor dc jenis lainnya. Dari beberapa pernyataan sebelumnya, maka pada penelitian ini menggunakan motor dc *shunt* sebagai penggerak utama.



Gambar 2. 3 Karakteristik *volt-ampere* generator dc (Sumber : Fitzgerald, 2003)

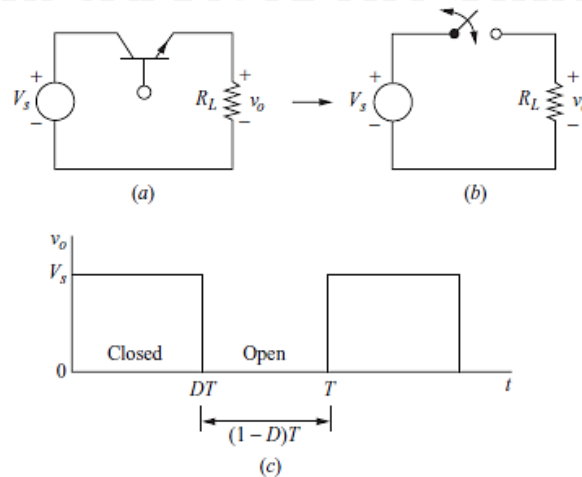


Gambar 2. 4 Karakteristik putaran-torsi motor dc (Sumber : Fitzgerald, 2003)

2.2 Buck Converter

Buck converter termasuk salah satu perangkat *dc-dc converter* (*dc chopper*). *dc chopper* mempunyai masukan dan keluaran dc (Rashid, 2006). Salah satu alternatif yang efisien untuk konfigurasi tersebut adalah dengan menggunakan *switching converter*

(konverter pensaklaran). Diasumsikan bahwa *switch* (saklar) ideal pada Gambar 2.5 (a), keluaran sama dengan masukan ketika saklar tertutup, dan keluaran sama dengan nol ketika saklar terbuka. Pembukaan dan penutupan saklar secara periodik menghasilkan keluaran pulsa seperti pada Gambar 2.5 (b). Komponen dc tegangan keluaran dikontrol dengan mengatur *duty cycle* D .



Gambar 2.5 Dc-dc converter. (a) basic dc-dc switching converter; (b) rangkaian ekuivalen pensaklaran; (c) tegangan keluaran (Sumber : Hart, 2011)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on}f \quad (2.7)$$

dengan :

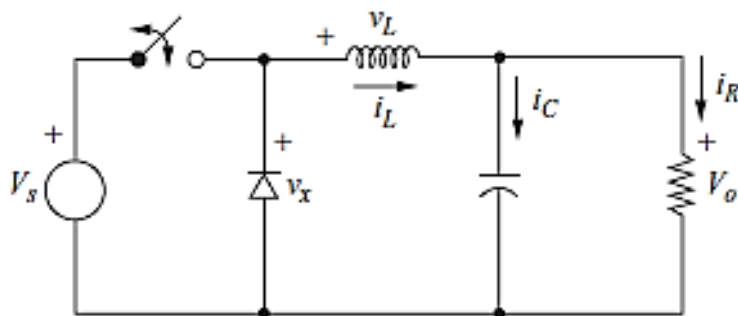
D = *duty cycle*

t_{on} = waktu ketika saklar tertutup pada satu periode

t_{off} = waktu ketika saklar terbuka pada satu periode

T = periode pensaklaran, dan f adalah frekuensi pensaklaran.

Pengontrolan komponen dc tegangan keluaran pulsa dengan tipe yang sama pada Gambar 2.5 mencukupi untuk beberapa aplikasi, seperti pengontrolan kecepatan motor dc, akan tetapi sering kali tujuannya adalah untuk menghasilkan keluaran yang murni dc. Salah satu cara untuk mendapatkan keluaran dc dari rangkaian pada Gambar 2.5 (a) adalah dengan menambahkan *low-pass filter* setelah saklar. Gambar 2.6 memperlihatkan penambahan *LC low-pass filter* ke *basic converter*. Dioda menyediakan lintasan untuk arus induktor ketika saklar terbuka dan dibias mundur ketika saklar tertutup.



Gambar 2. 6 *Buck converter*
(Sumber : Hart, 2011)

Rangkaian pada Gambar 2.6 disebut *buck converter* atau *dc step down converter* karena memiliki tegangan keluaran yang lebih kecil atau sama dengan tegangan masukan. Bentuk gelombang keluaran *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 2.7 (a). Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan tegangan keluaran dan masukan pada Persamaan 2.8.

$$V_o = V_s D \tag{2.8}$$

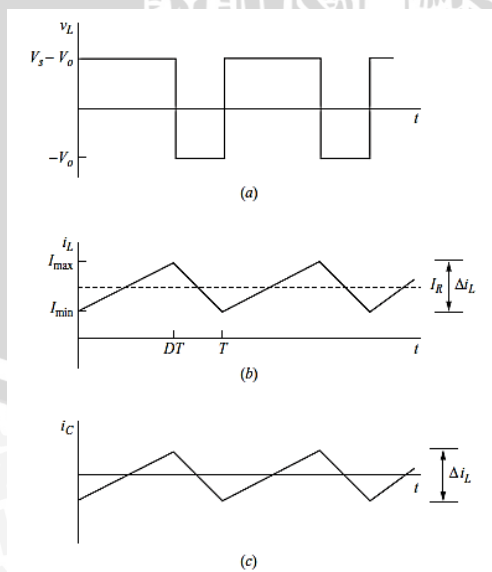
dengan :

D = *duty cycle*

V_o = tegangan keluaran

V_s = tegangan masukan

Karena nilai *duty cycle* berada di antara nol sampai satu, maka nilai tegangan keluaran tidak akan pernah melebihi nilai tegangan masukan pada konverter ini.



Gambar 2. 7 Bentuk gelombang *buck converter*. (a) Tegangan induktor; (b) Arus induktor; (c) Arus kapasitor
(Sumber : Hart, 2011)

Dalam perancangan *buck converter*, selisih nilai arus induktor puncak ke puncak sering digunakan sebagai kriteria perancangan seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 (b). Nilai induktansi untuk selisih nilai arus puncak ke puncak tertentu dapat dicari menggunakan Persamaan 2.9 di bawah ini.

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta i_L f} \quad (2.9)$$

dengan :

Δi_L = selisih nilai arus induktor puncak ke puncak.

Sedangkan, nilai induktansi minimum untuk mendapatkan arus yang kontinyu dapat dicari dengan Persamaan 2.10 :

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.10)$$

dengan :

R = besar resistansi beban.

Untuk mendapatkan arus yang kontinyu nilai induktansi L harus lebih besar dari L_{\min} . Beberapa perancang memilih nilai induktansi sebesar 25% lebih besar dari L_{\min} . Perancang lainnya menggunakan kriteria lain seperti 40% dari nilai rata-rata arus induktor. Nilai Δi_L yang lebih kecil menghasilkan nilai arus puncak dan rms induktor yang lebih kecil dan semakin kecil arus rms kapasitor, akan tetapi hal tersebut membutuhkan induktor yang lebih besar.

Kapasitor digunakan untuk menjaga tegangan keluaran agar tetap konstan. Namun dalam praktiknya, tegangan keluaran tidak dapat dijaga benar-benar konstan dengan kapasitansi yang terbatas. Nilai kapasitansi dapat dicari melalui Persamaan 2.11 dengan $\Delta V_o/V_o$ merupakan besar *ripple* yang terjadi per tegangan keluaran.

$$C = \frac{1-D}{8L \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) f^2} \quad (2.11)$$

Kapasitor sesungguhnya dapat dimodelkan sebagai kapasitansi dengan sebuah *equivalent series resistance* (ESR) dan sebuah *equivalent series inductance* (ESL). ESR memiliki efek yang lebih signifikan pada *ripple* tegangan keluaran dibandingkan ESL (Hart, 2011). ESR sering menghasilkan *ripple* yang sangat lebih besar dari pada kapasitor ideal. Terdapat berbagai cara untuk mengurangi ESR, dengan memparalelkan beberapa kapasitor atau dengan menggunakan *low-ESR capacitor*.

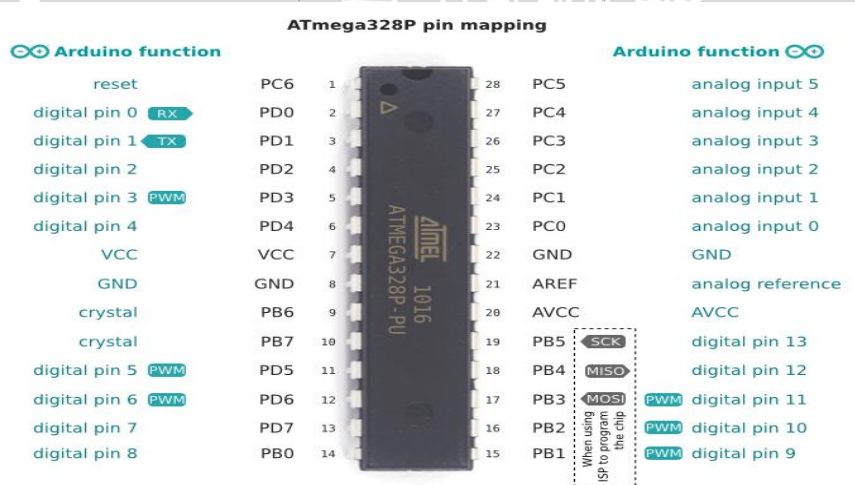
2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*integrated circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program). Dalam sebuah struktur mikrokontroler akan kita temukan juga komponen-komponen seperti *processor, memory, clock*, dll.

Dalam penelitian ini mikrokontroler digunakan sebagai pengatur *Duty cycle* pada rangkaian *buck converter*. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Mikrokontroler Arduino Uno R3. Arduino atau Genuino adalah papan mikrokontroler yang menggunakan IC ATmega328P yang mempunyai 14 digital pin input atau output (yang mana 6 pin bisa digunakan sebagai PWM outputs), 6 analog input, 16 MHz quartz crystal (clock), fasilitas USB connection, sebuah power jack (DC), sebuah ICSP header dan tombol reset. Arduino Uno R3 berisi segala hal yang dibutuhkan sebagai mikrokontroler, contoh menghubungkan board dengan computer dengan kabel USB atau mencatunya dengan AC ke DC adapter atau baterai untuk menghidupkannya. Berikut merupakan gambar fisik dari Arduino Uno R3.



Gambar 2. 8 Arduino UNO R3
(Sumber: Arduino, 2009)



Gambar 2. 9 Pemetaan pin atmega328 pada Arduino

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Uno

Chip mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

Sumber tegangan Arduino UNO dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan daya eksternal. Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari adaptor maupun baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat positif ukuran 2.1 mm konektor power. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor power. Arduino dapat beroperasi dengan catu daya eksternal 6 V sampai 20 V. Namun jika menggunakan lebih dari 12 V, regulator tegangan bisa panas dan merusak papan. Kisaran yang disarankan adalah 7 V sampai 12 V.

Arduino UNO R3 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. Arduino UNO R3 menyediakan 4 UART TTL (5V) untuk komunikasi serial. Sebuah Arduino UNO R3 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver

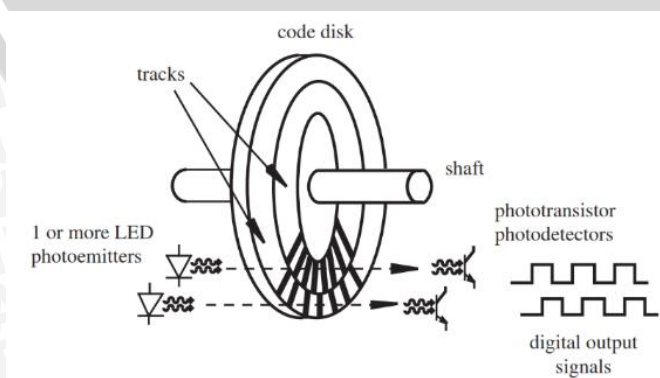
eksternal yang diperlukan. Namun pada Windows diperlukan sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari papan Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *Software Serial Library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada board Arduino UNO R3. Arduino UNO R3 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C.

2.4 Rotary encoder

Rotary encoder adalah divais elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan ke rangkaian kendali.

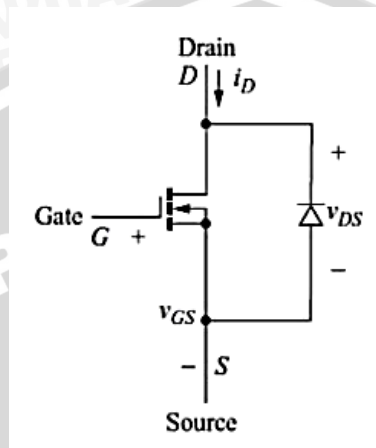
Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED *infrared* ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu photo-transistor diletakkan sehingga photo-transistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED *infrared* yang berseberangan. Piringan tipis tadi dikopel dengan poros motor, atau divais berputar lainnya yang ingin diketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai *photo-transistor* melalui lubang-lubang yang ada, maka *photo-transistor* akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi.



Gambar 2. 10 Peletakan piringan terhadap sensor *photocoupler*.
(Sumber : Alciatore, 2012)

2.5 MOSFET Daya

MOSFET (*metal oxide semiconductor field effect transistor*) adalah transistor *switching* yang sangat cepat dan sering digunakan untuk aplikasi yang melibatkan frekuensi tinggi sampai 1 MHz dan daya hingga beberapa kilowatt (Sen, 1997). Ada beberapa nama dagang mosfet lainnya seperti HEXFET (International Rectifier), SIMMOS (Siemens) dan TIMOS (Motorola). Lambang MOSFET ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Mosfet kanal N
(Sumber: Hart, 2011)

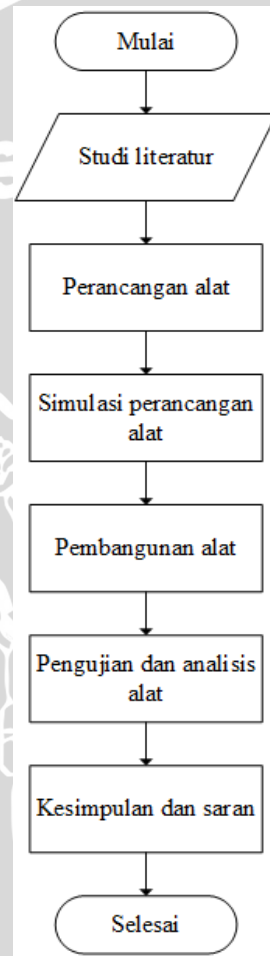
MOSFET memiliki dua tipe, yakni tipe depleksi dan tipe *enhancement*. MOSFET tipe depleksi kanal-n dibentuk dari substrat silikon tipe-p dengan dua silikon yang didoping n^+ agar memiliki resistansi hubungan yang rendah. Gerbang diisolasi dengan lapisan oksida. Tiga terminal disebut *gate*, *drain*, dan *source*. Tegangan gerbang ke sumber dapat bernilai positif maupun negatif. Jika V_{GS} negatif, banyak dari elektron pada daerah kanal n akan tersingkir dan suatu daerah depleksi akan terbentuk di bawah lapisan oksida yang menghasilkan kanal efektif lebih lebar dan resistansi yang tinggi dari *drain* ke *source*, R_{DS} . Jika V_{GS} dibuat cukup negatif, kanal akan terdepleksi penuh yang menghasilkan R_{DS} tinggi dan tidak ada arus yang mengalir dari *drain* ke *source* atau $I_{DS} = 0$. Pada kondisi tersebut nilai V_{GS} disebut tegangan *pinch-off*. Ketika V_{GS} dibuat positif, kanal menjadi lebih lebar dan I_{DS} akan meningkat karena reduksi dari R_{DS} .

MOSFET tipe *enhancement* tidak memiliki kanal-n secara fisik. Jika V_{GS} positif, suatu tegangan induksi akan menarik elektron dari substrat p dan mengumpulkannya di permukaan bawah lapisan oksida. Jika V_{GS} lebih besar atau sama dengan nilai yang dikenal sebagai tegangan *threshold* maka jumlah elektron yang terakumulasi akan cukup untuk membentuk kanal-n virtual dan arus mengalir *drain* ke *source*.



BAB III METODE PENELITIAN

Secara umum metode penelitian dalam rancang bangun sistem pengendalian motor *dc shunt* menggunakan *dc chopper* ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alur metode penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan pengendalian motor *shunt* laboratorium yaitu:

1. Motor *shunt*
2. Kawat tembaga
3. *Buck Converter*
4. Mikrokontroler

5. Sensor putaran (*tachogenerator*)
6. Solder
7. Penyedot solder
8. Multimeter
9. Kabel penghubung
11. *Relay*

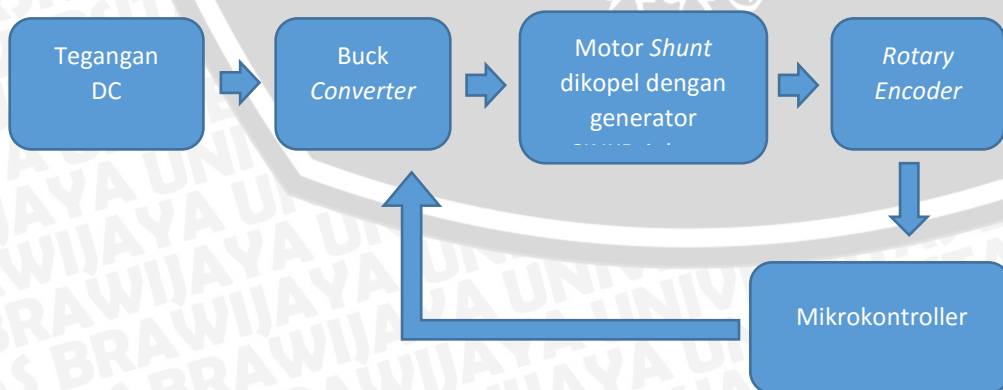
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat sistem pengendalian motor dc *shunt* dengan memanfaatkan barang bekas yang masih layak digunakan. Penelitian akan dilakukan di lingkungan gedung Laboratorium Mesin Elektrik Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penelitian akan direncanakan selama 3 bulan dengan menggunakan metode studi literatur yaitu dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun jurnal/artikel dari perpustakaan dan internet agar mengetahui prinsip kerja, karakteristik komponen, serta teori yang menunjang.

3.3 Blok Diagram Sistem

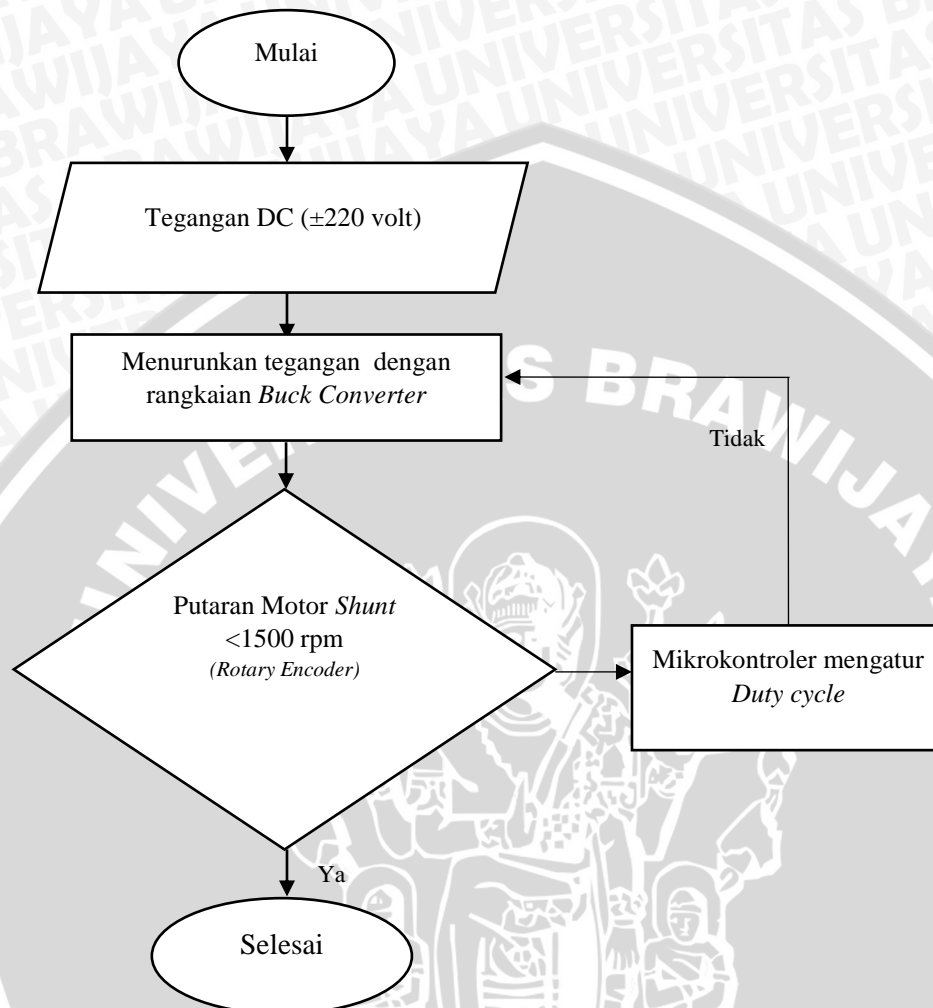
Pada pengerjaan tugas akhir ini dibagi menjadi 2 yaitu yang pertama adalah hardware dimana akan difokuskan pada pembuatan rangkaian *buck converter* sebagai pengatur putaran motor dc *shunt*. Dan yang kedua adalah software yang difokuskan pada pemrograman penyulutan mosfet melalui mikrokontroler dan pengaturan sinyal PWM. Berikut ini adalah perencanaan dari sistem pengerjaan.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem

3.4 Flowchart (Diagram Alir)

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

3.5 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun jurnal/artikel dari perpustakaan dan internet agar mengetahui prinsip kerja, karakteristik komponen, serta teori yang menunjang.

3.6 Perancangan Alat

Terdapat enam tahap perancangan alat. Tahap pertama adalah perancangan sistem, yang meliputi perancangan blok diagram dan sistem secara keseluruhan. Tahap kedua adalah pengujian motor dc *shunt* yang akan digunakan sebagai penggerak utama generator. Tahap ketiga adalah perancangan *buck converter*, Tahap keempat adalah perancangan *rotary*

encoder umpan balik untuk *buck converter*. Tahap kelima adalah perancangan rangkaian picu, yang terdiri dari perancangan minimum sistem mikrokontroler dan pemrogramannya.

Tujuan dari terdapatnya pengujian motor arus searah *shunt* pada perancangan ini adalah untuk mengetahui parameter-parameter dari motor itu sendiri. Parameter-parameter ini sendiri berguna untuk perancangan dan simulasi ke depannya.

Sistem pengendalian putaran motor *shunt* ini dirancang dengan menggunakan satu buah konverter daya *dc chopper*, yaitu *buck converter*. *Buck converter* digunakan pada saat motor starting sampai keadaan putaran mencapai kurang lebih 1500 rpm.

3.6.1 Penentuan Motor Arus Searah *Shunt*

Disini akan dibahas tentang penentuan kapasitas dari motor arus searah *shunt*. Kapasitas dari motor digunakan untuk menentukan putaran motor *dc shunt*.

3.6.2 Rangkaian Picu

Disini akan dibahas tentang sistem minimum mikrokontroler serta perangkat lunaknya. Mikrokontroler ini akan mengontrol antara lain pergantian mode sistem pada *duty cycle* pada *buck converter*, serta pembacaan *rotary encoder*.

3.6.3 *Buck Converter*

Buck converter ini dirancang untuk menurunkan tegangan yang sebelumnya dikeluarkan oleh rangkaian penyearah dan akan digunakan untuk catu tegangan jangkar motor *shunt* sebagai penggerak generator sinkron. Menurunkan tegangan pada percobaan ini dengan mengatur *duty cycle* pada *MOSFET* yang berada di rangkaian *buck converter*.

3.6.4 *Rotary Encoder*

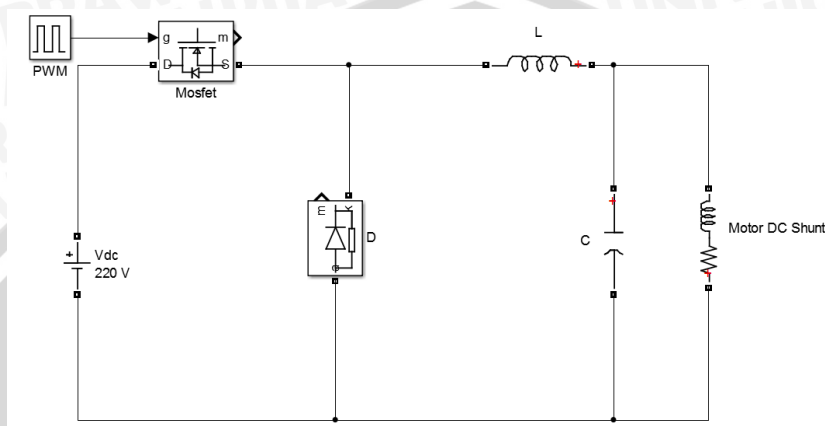
Sensor putaran ini berfungsi untuk membaca putaran pada motor *shunt* yang kemudian akan dikirimkan berupa data analog ke pembacaan ADC mikrokontroler.

3.7 Simulasi Perancangan Alat

Tujuan dari simulasi pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja rangkaian konverter daya, yaitu *buck converter* sebelum dibuat. Data dari simulasi ini juga akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan *error* hasil pengujian. Simulasi ini menggunakan *freeware Matlab*.

3.7.1 Simulasi *Buck Converter*

Tujuan dari simulasi ini bertujuan untuk memprediksi kinerja dari *buck converter* sebelum pembuatan dan kesesuaian perancangannya. Skematik diagram simulasi *buck converter* ini dapat dilihat pada Gambar 3.4. Nilai-nilai komponen aktif dan pasif akan ditentukan sesuai perhitungan pada perancangan.



Gambar 3. 4 Skematik diagram simulasi *buck converter*

3.8 Pengujian dan Analisis

Pengujian dan analisis diperlukan untuk menentukan kinerja dari sistem pengendalian putaran dua kuadran ini. Pada penelitian ini, pengujian terdiri tiga pengujian, yaitu pengujian *buck converter*, pengujian rangkaian picu, dan pengujian sistem secara keseluruhan.

3.8.1 Pengujian Rangkaian Picu

Pengujian rangkaian picu ini dilakukan untuk mengetahui gambar grafik *duty cycle* yang akan dipakai untuk pengujian, tampilan ini dapat dilihat di layar osiloskop.

3.8.2 Pengujian *Buck Converter*

3.8.2.1 Pengujian *Buck Converter* Tanpa Umpan Balik

Tujuan dari pengujian *buck converter* tanpa umpan balik ini adalah untuk mengetahui kinerja dari *buck converter* serta karakteristiknya. Data dari pengujian ini juga menunjukkan data efisiensi *buck converter*, serta mengetahui *error* antara nilai *buck converter* saat simulasi dan pengujian.

3.8.2.2 Pengujian *Buck Converter* Dengan Umpan Balik

Tujuan dari pengujian *buck converter* dengan umpan balik adalah untuk mengetahui efek dari perubahan tegangan masukan terhadap tegangan keluaran *buck converter* pada saat *buck converter* ini dioperasikan.

3.9 Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan dengan mengacu pada hasil perancangan dan simulasi alat. Pembuatan alat ini hanya akan dilakukan pada sistem pengendalian. *Rotary encoder* adalah sensor putaran yang akan mendeteksi putaran motor *shunt*.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan teori, hasil perhitungan dan analisis, terutama hasil saat pengujian sistem. Kesimpulan ini ditarik berdasarkan kinerja bagian-bagian dari alat. Saran diberikan untuk memberikan masukan kepada pembaca yang akan meneliti lebih lanjut mengenai topik skripsi ini. Saran diberikan berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang perlu dikaji lebih mendalam.



BAB IV

PERANCANGAN ALAT DAN SIMULASI ALAT

4.1 Perancangan Alat

4.1.1 Penentuan Motor Arus Searah Shunt

Pada penelitian ini, motor *shunt* digunakan sebagai penggerak utama generator sinkron. Pada penelitian ini, motor dc *shunt* yang digunakan adalah motor arus searah berkapasitas 300 watt. Motor *shunt* ini akan dikopel dengan mesin sinkron yang nantinya akan menjadi generator sinkron yang akan digunakan untuk sinkronisasi dengan jala-jala PLN

4.1.1.1 Nameplate Motor

Daya	: 300 Watt
Tegangan	: 220 Volt
Arus Jangkar	: 2,2 A
Arus Medan	: 0,45 A
Putaran	: 2000 rpm

4.1.1.2 Pengukuran Resistansi dan Induktansi Motor

Pada pengukuran langsung dengan menggunakan rlcmeter didapatkan nilai resistansi *shunt* sebesar 19,3641 Ω dan nilai induktansi *shunt* sebesar 2,2 mH.

4.1.2 Buck Converter

Tabel 4. 1 Penentuan parameter perancangan *buck converter*.

No.	Penentuan Parameter	Nilai	Keterangan
1.	V_s (Tegangan masukan)	220 V	
2.	V_o (Tegangan keluaran)	22-200V	
3.	D (<i>Duty cycle</i>)	10% – 90%	
4.	$f_{switching}$	40 kHz	
5.	$(\Delta V_o/V_o)$	$\leq 10\%$	Untuk meningkatkan jangkauan nilai putaran motor
6.	(L/L_{min})	$\approx 125\%$	Kebanyakan perancang memilih induktansi 25% lebih

No.	Penentuan Parameter	Nilai	Keterangan
			besar dari nilai induktansi minimal (Hart, 2011)

Sebelum mencari nilai-nilai komponen *buck converter* ini, perlu dicari nilai resistansi pengganti dari beban ini. Nilai resistansi pengganti dapat dicari dari membagi tegangan nominal motor dengan arus nominalnya, karena beban konverter ini adalah motor dc *shunt*. Jadi nilai resistansi pengganti beban adalah:

$$R = \frac{V_{nom}}{I_{nom}} = \frac{220}{2,2} = 100\Omega$$

Pertama, nilai induktor dicari dengan mencari nilai L_{min} (induktansi minimal) terlebih dahulu. Nilai induktansi minimal dan induktansi *buck converter* pada *duty cycle* 10% dapat dicari dengan:

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0,1)100}{2 \times 40000} = 1125 \mu H$$

$$L = 125\% \times L_{min} = 1,25 \times 1125 = 1,406 mH$$

Sedangkan, induktansi minimal dan induktansi *buck converter* pada *duty cycle* 90% dapat dicari dengan:

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0,9)100}{2 \times 40000} = 125 \mu H$$

$$L = 125\% \times L_{min} = 1,25 \times 125 = 156,25 \mu H$$

Sehingga, pada perancangan *buck converter* ini nilai L dipilih mendekati 1,406 mH

Untuk menentukan rating induktor, terlebih dahulu dicari nilai I_L (arus yang melewati induktor). Nilai I_L pada *duty cycle* 10% adalah :

$$I_L = \frac{V_s \times D}{R} = \frac{220 \times 0,1}{100} = 0,22 A$$

Sedangkan, nilai I_L pada *duty cycle* 90% adalah:

$$I_L = \frac{V_s \times D}{R} = \frac{220 \times 0,9}{100} = 1,98 A$$

Sehingga, pada perancangan ini dipilih nilai induktor dengan rating arus lebih dari 1,98 A.

Langkah kedua adalah menentukan nilai kapasitor. Nilai kapasitor pada *duty cycle* 10% adalah:

$$C = \frac{1-D}{8L \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) f^2} = \frac{1-0,1}{8 \times 1,406 \times 10^{-3} \times 0,01 \times 40000^2} = 5 \mu F$$

Sedangkan, nilai kapasitor pada *duty cycle* 90% adalah

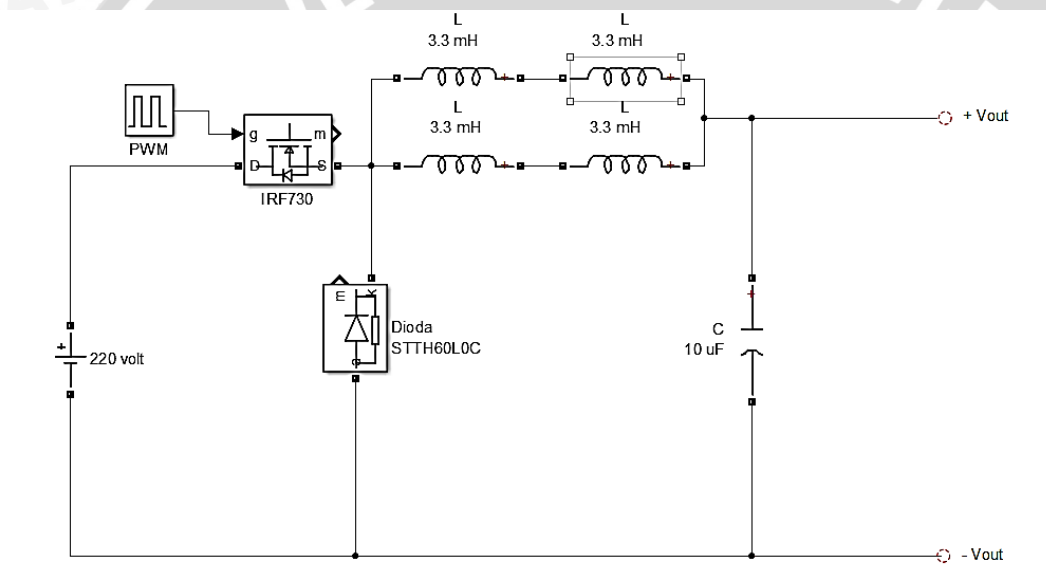
$$C = \frac{1-D}{8L\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)^2 f^2} = \frac{1-0,9}{8 \times 1,406 \times 10^{-3} \times 0,01 \times 40000^2} = 0,55 \mu F$$

Jadi nilai kapasitor dipilih lebih besar dari 5 μF .

Tabel 4. 2 Komponen *buck converter*

No.	Nama komponen	Jumlah	Keterangan
1.	Induktor daya 3,3 mH	4	
2.	Kapasitor elektrolit 10 μF 250V	1	
3.	MOSFET IRF730	1	
4.	Dioda STTH60L0C	1	

Diagram perancangan *buck converter* dapat dilihat seperti Gambar 4.1. dibawah ini :



Gambar 4. 1 Diagram skematik perancangan *buck converter*

Pada perancangan ini MOSFET yang digunakan adalah MOSFET kanal n. MOSFET kanal n memerlukan tegangan *gate-source* (V_{GS}) positif untuk menyalakannya, tegangan *gate-source* nol untuk memadamkannya. Sehingga, *port* pulsa dari rangkaian picu dihubungkan ke *gate* MOSFET, sedangkan *ground* rangkaian picu dihubungkan ke *source* MOSFET. MOSFET yang dipakai adalah IRF730 karena memiliki parameter tegangan *drain-source* (V_{DS}) mencapai 400V, sedangkan tegangan *gate-source* (V_{GS}) mencapai $\pm 20V$.

Dioda sebagai *free wheeling* adalah *fast switching diode*. Dioda *fast switching* mempunyai *reverse recovery time* yang kecil sehingga dapat digunakan pada frekuensi pensaklaran yang tinggi. Pada perancangan ini dioda yang dipilih adalah STTH60L0C.

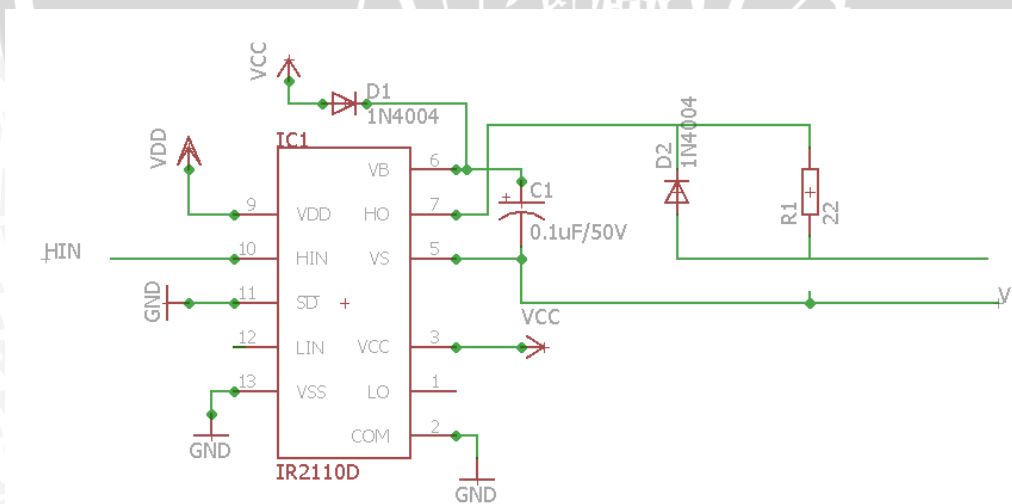
4.1.3 Rangkaian Picu

Komponen utama rangkaian picu ini adalah mikrokontroler dan IR2110 sebagai driver MOSFET. Mikrokontroler digunakan untuk mengontrol *duty cycle* pada *buck converter*. Dalam perancangan ini pengendalian yang digunakan adalah *open loop* dan *closed loop*. Pengendalian *closed loop* digunakan pada saat proses kerja paralel generator sinkron.

Duty cycle pada saat mode *open loop* motor ditentukan sendiri besarnya dimulai dengan *duty cycle* mulai dari 10% hingga 90%. Tegangan yang keluar dari rangkaian *buck converter* menjadi tegangan masukan motor. Tegangan masukan rangkaian *buck converter* ini berasal dari regulator tegangan yang dapat diatur besarnya, karena besar dari tegangan nominal motor shunt ini adalah 220 volt maka regulator tegangan diatur sebesar 220 volt.

Duty cycle pada saat *close loop* dikendalikan oleh sensor putaran yang akan dibaca oleh ADC mikrokontroler ini. Bila pembacaan nilai sensor putaran lebih rendah dari *set point*, maka *duty cycle* akan tetap pada nilai yang sudah diatur sebelumnya. Bila pembacaan nilai sensor putaran lebih besar dari *set point*, maka *duty cycle* akan berkurang.

Pada perancangan ini dirancang bahwa mikrokontroler dapat menghasilkan sinyal picu dengan nilai *duty cycle* berubah-ubah agar tegangan keluaran *buck converter* konstan. Mikrokontroler yang digunakan pada perancangan ini adalah mikrokontroler ARDUINO UNO R3.



Gambar 4. 2 Skematik Perancangan Rangkaian Picu IR2110

4.1.4 Sensor Putaran

Sensor putaran yang digunakan menggunakan *tacho* generator Gambar 4.2 yang sudah berada di Laboratorium Mesin Elektrik. Sensor ini bekerja saat dikopel dengan motor dan menghasilkan tegangan keluaran yakni ± 1 V/1000 rpm. Digunakan untuk motor dengan kapasitas 100 Watt dan 300 Watt.



Gambar 4. 3 Tacho Generator (sensor putaran)

4.2 Simulasi Alat

4.2.1 Penentuan Komponen Simulasi

Skematik simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 3.4. Dari gambar tersebut dapat ditentukan jenis dan nilai komponen simulasi yang sesuai dengan perancangan. Penentuan jenis dan nilai komponen simulasi ini ditunjukkan pada Tabel 4.3.

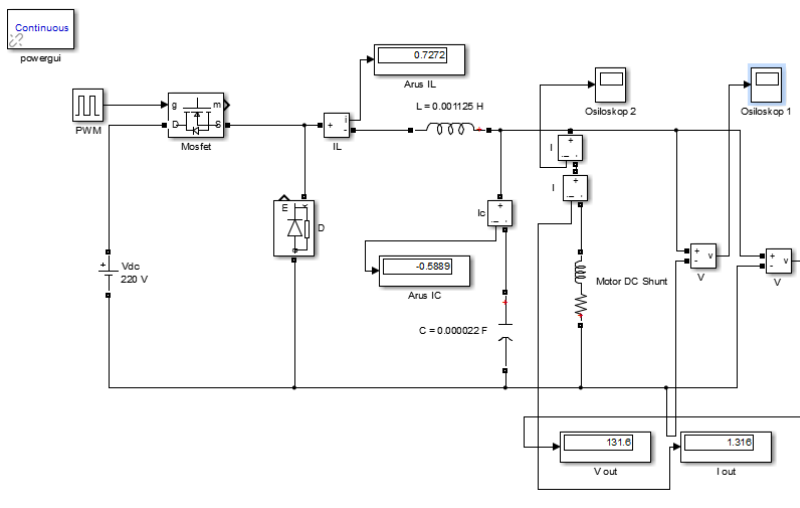
Tabel 4. 3 Penentuan komponen simulasi *buck converter*.

No.	Komponen	Jenis	Nilai	Keterangan
1.	Vs	DC	220 V	
2.	PWM	Pulsa kotak	$T_{\text{period}} = 20 \mu\text{s}$	$f = 40 \text{ kHz}$
3.	MOSFET			
4.	D			
5.	L	-	500 μH	
6.	C	-	22 μF	

4.2.2 Prosedur Simulasi

Prosedur simulasi *buck converter* adalah sebagai berikut:

1. Membuat skematik simulasi *buck converter*



Gambar 4. 4 Skematik Simulasi *Buck Converter* pada MATLAB

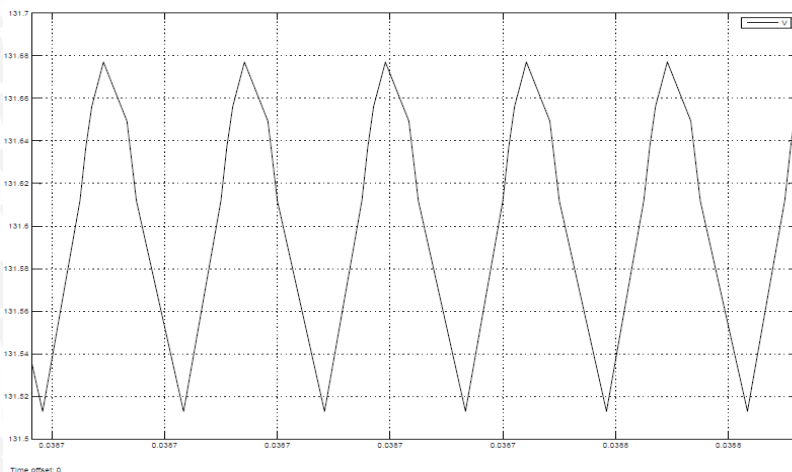
2. Atur *duty cycle* menjadi 10%.
3. Ukur tegangan masukan (V_s), arus masukan (I_s), tegangan keluaran (V_o), dan arus keluaran (I_o).
4. Catat hasil pengukuran.
5. Ulangi langkah 2 sampai 4 dengan kenaikan 10% *duty cycle* sampai dengan *duty cycle* 90%.
6. Simpan tampilan tegangan dan arus keluaran *buck converter* pada *duty cycle* 60%.

4.2.3 Hasil Simulasi *Buck Converter*

Hasil simulasi *buck converter* dapat dilihat di Tabel 4.4.

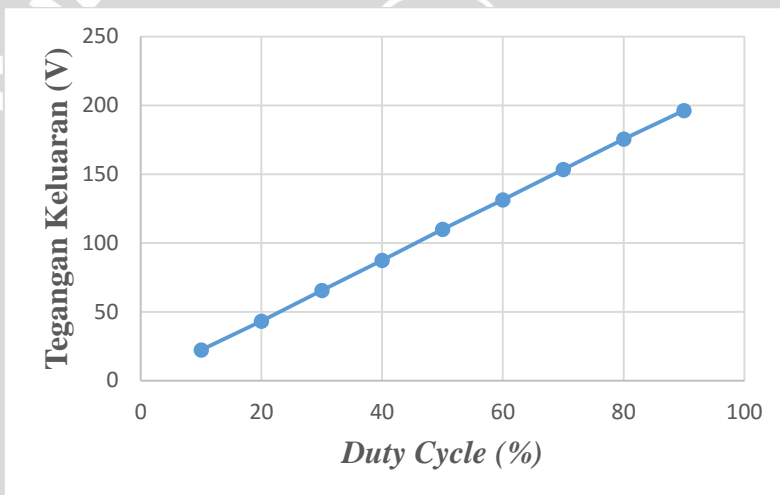
Tabel 4. 4 Hasil simulasi *buck converter*.

Duty Cycle (%)	Tegangan Masukan (V)	Arus Masukan (mA)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Keluaran (mA)
10	220	2,175	22,27	222,3
20	220	2,208	43,27	433,2
30	220	2,208	65,41	653,9
40	220	2,208	87,29	874,6
50	220	2,208	109,90	1095,0
60	220	2,208	131,30	1316,0
70	220	2,208	153,40	1537,0
80	220	2,208	175,60	1757,0
90	220	2,208	196,20	1978,0



Gambar 4. 5 Bentuk gelombang tegangan keluaran *buck converter* pada simulasi saat *duty cycle* 60%

4.2.4 Analisis Hasil Simulasi *Buck Converter*



Gambar 4. 6 Karakteristik *buck converter* hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi gelombang keluaran *buck converter*, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *duty cycle* maka tegangan keluaran dari *buck converter* akan semakin besar. Dan pada saat *duty cycle* 60% tegangan keluaran *buck converter* sebesar 131,6 volt dengan *ripple* tegangan 0,1 volt.



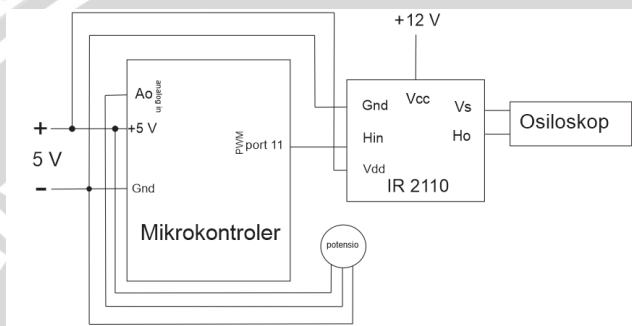
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Rangkaian Picu

5.1.1 Prosedur Pengujian Rangkaian Picu

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam Gambar 5.1

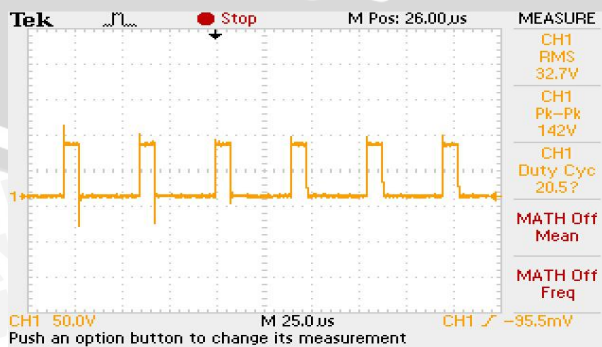


Gambar 5. 1 Rangkaian pengujian pembangkit sinyal picu

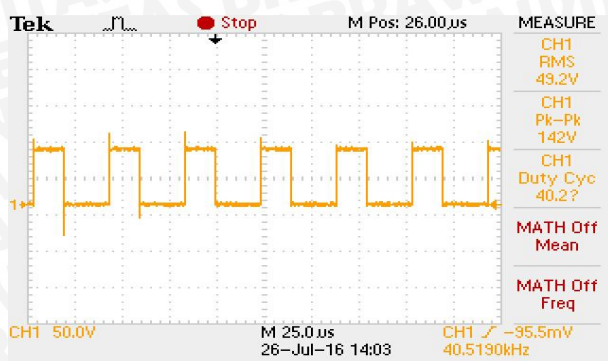
2. Atur mode menjadi mode *open loop*.
3. Atur *measurement* osiloskop untuk mengukur *duty cycle*.
4. Atur *duty cycle* menjadi 20% pada rangkaian picu.
5. Cetak hasil gelombang yang dihasilkan rangkaian picu.
6. Ulangi langkah 3 sampai 5 dengan kenaikan 20% *duty cycle* sampai dengan *duty cycle* 80%.

5.1.2 Hasil Pengujian Rangkaian Picu

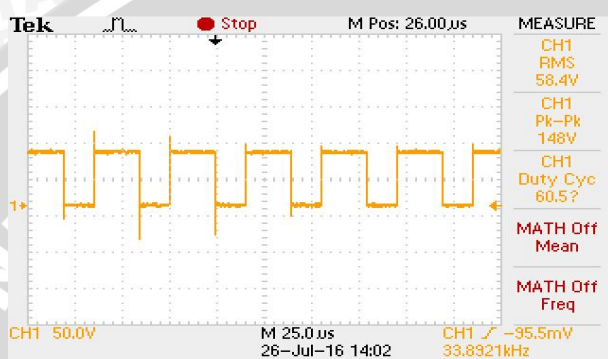
Hasil pengujian rangkaian picu dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



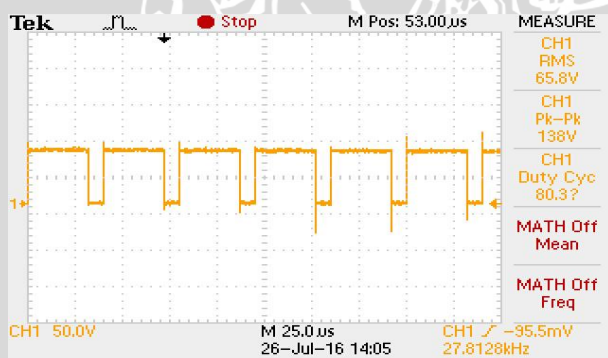
Gambar 5. 2 Hasil dari rangkaian picu dengan duty cyle 20%



Gambar 5. 3 Hasil dari rangkaian picu dengan duty cycle 40%



Gambar 5. 4 Hasil dari rangkaian picu dengan duty cycle 60%



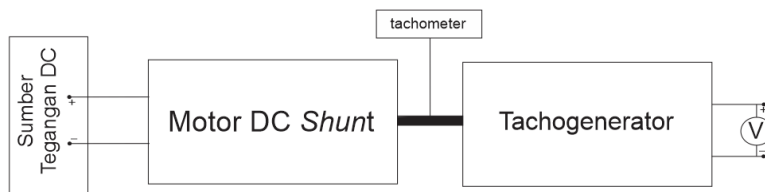
Gambar 5. 5 Hasil dari rangkaian picu dengan duty cycle 80%

5.2 Pengujian Sensor Putaran

5.2.1 Prosedur Pengujian Sensor Putaran

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam Gambar 5.6



Gambar 5. 6 Rangkaian pengujian sensor putaran

2. Kopel *tacho* generator dengan motor.
3. Berikan alat ukur (*voltmeter*) di keluaran *tacho* generator
4. Putar motor dari kecepatan yang paling rendah hingga putaran nominal motor.
5. Catat tegangan keluaran *tacho* generator
6. Ulangi langkah 3 dengan kenaikan 100 rpm

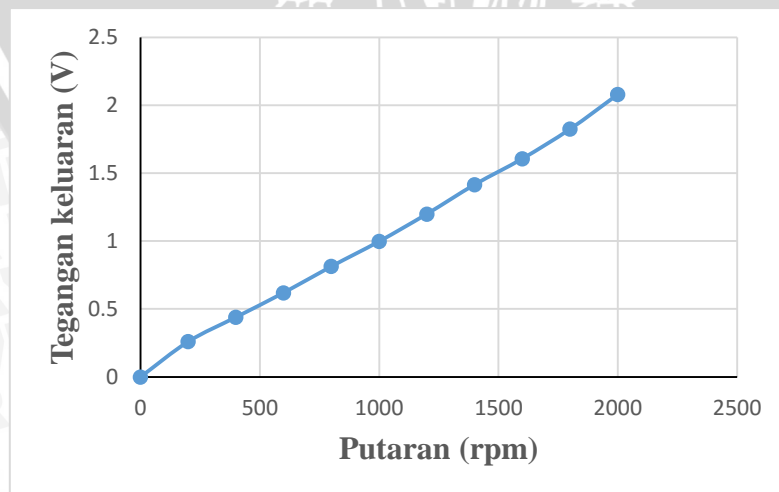
5.2.2 Hasil Pengujian Sensor Putaran

Hasil pengujian sensor putaran dapat dilihat di Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian sensor putaran.

Putaran (rpm)	Tegangan Keluaran (Volt)
0	0
200	0,26
400	0,44
600	0,62
800	0,81
1000	0,99
1200	1,20
1400	1,42
1600	1,61
1800	1,83
2000	2,08

5.2.3 Analisis Hasil Pengujian Sensor Putaran



Gambar 5. 7 Grafik hubungan antara putaran dengan tegangan keluaran *tacho* generator.

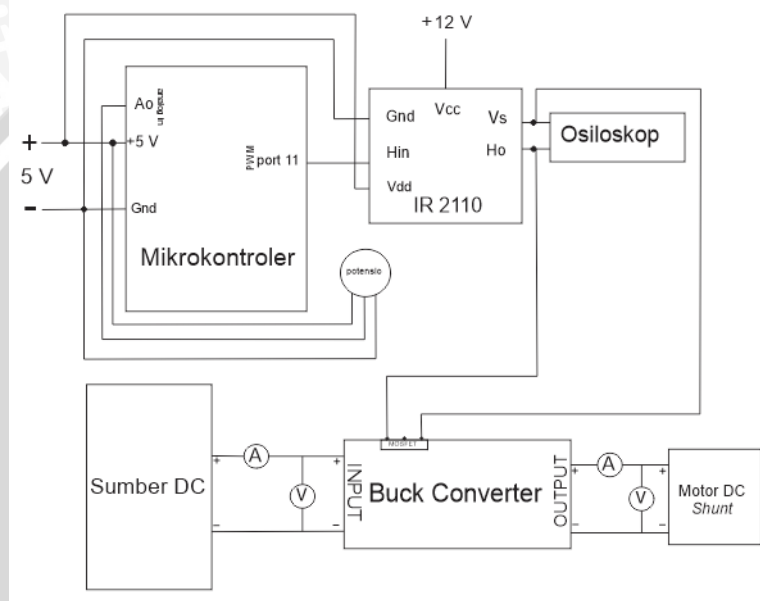
Berdasarkan grafik hubungan antara putaran dengan tegangan keluaran untuk sensor putaran ini berbanding lurus (linier) apabila putaran bertambah besar maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar.

5.3 Pengujian *Buck Converter*

5.3.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Rangkaian pengujian *Buck Converter*

2. Atur alat menjadi mode *open loop*.
3. Berikan tegangan dc 220 V.
4. Atur *duty cycle* menjadi 10%.
5. Ukur tegangan masukan (V_s), arus masukan (I_s), dan tegangan keluaran (V_o).
6. Catat hasil pengukuran.
7. Ulangi langkah 3 sampai 5 dengan kenaikan 10% *duty cycle* sampai dengan *duty cycle* 90%.

5.3.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian keluaran *buck converter* dengan merubah *duty cycle* dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian keluaran *buck converter*.

<i>Duty Cycle</i> (%)	Tegangan Masukan (Volt)	Tegangan Keluaran Teori (Volt)	Tegangan Keluaran Pengujian (Volt)
10	220	22	20,19
20	220	44	42,84
30	220	66	64,93
40	220	88	85,33
50	220	110	106,80
60	220	132	129,00
70	220	154	148,93
80	220	176	170,13
90	220	198	195,86

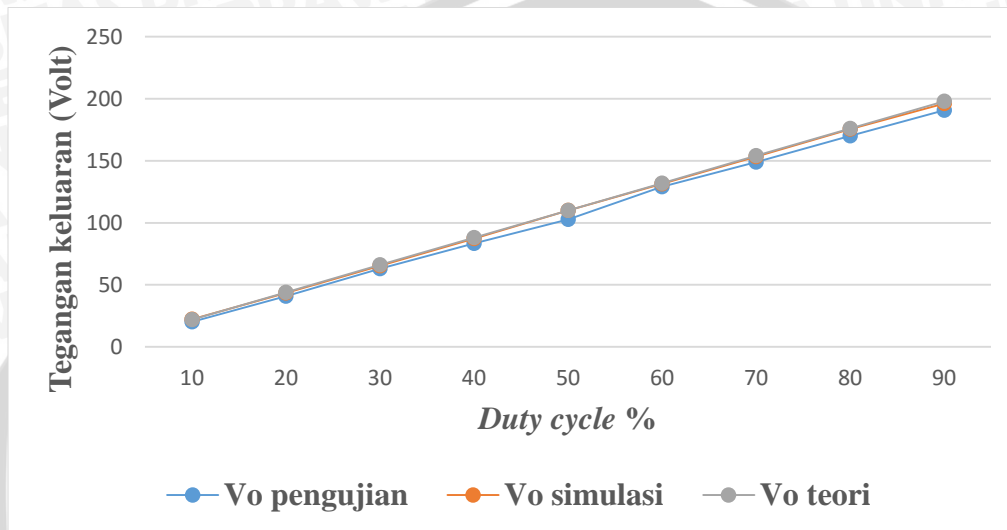
5.3.3 Analisis Hasil Pengujian *Buck Converter*

Perbandingan antara simulasi dan pengujian *buck converter* untuk melihat eror ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan untuk melihat grafik perbandingan pengujian *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 5.9.

Tabel 5. 3 Perbandingan tegangan keluaran *buck converter* antara perhitungan, pengujian dan simulasi *buck converter*.

D (%)	$V_{o,teori}$ (V)	$V_{o,pengujian}$ (V)	$V_{o,simulasi}$ (V)	Eror teori dan pengujian (%)	Eror pengujian dan simulasi (%)
10	22	20,19	22,27	8,23	9,34
20	44	40,84	43,27	7,18	5,61
30	66	62,93	65,41	6,12	3,79
40	88	83,33	87,29	5,31	4,53
50	110	102,8	109,90	6,54	6,46
60	132	129,00	131,30	2,23	1,75
70	154	148,93	153,40	3,29	2,91

D (%)	$V_{o,teori}$ (V)	$V_{o,pengujian}$ (V)	$V_{o,simulasi}$ (V)	Eror teori dan pengujian (%)	Eror pengujian dan simulasi (%)
80	176	170,13	175,6	3,33	3,12
90	198	190,86	196,2	3,61	2,72
Rata-rata				5,10	4,47



Gambar 5. 9 Grafik perbandingan antara teori, simulasi, dan pengujian tegangan keluaran *buck converter*.

Error tegangan keluaran *buck converter* antara perhitungan teori dengan pengujian ini adalah 5,10% dengan data teori sebagai data acuan. Data error ini ditunjukkan pada Tabel 5.3 Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor minor pada rangkaian pengujian *buck converter* contohnya adanya jatuh tagangan pada dioda saat konduksi karena pada teori komponen dioda dianggap ideal.

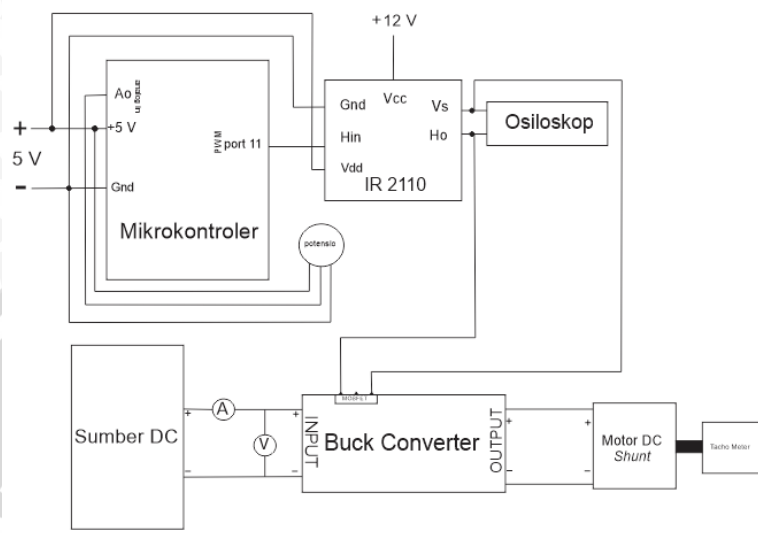
Error tegangan keluaran *buck converter* antara simulasi dengan pengujian ini adalah 4,47% dengan data simulasi sebagai data acuan. Data error ini ditunjukkan pada Tabel 5.3 Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor minor pada rangkaian daya yang belum dideklarasikan secara detail pada simulasi seperti resistansi parasitik pada kapasitor. Kemampuan rangkaian picu juga mempengaruhi error ini. Namun, karena error tegangan keluaran ini di bawah 10%, maka *buck converter* ini dianggap berhasil.

5.4 Pengujian Sistem *Open Loop*

6.4.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Rangkaian pengujian *Buck Converter* mode *open loop*

2. Atur alat menjadi mode *open loop*.
3. Berikan sumber tegangan dc 220 V.
4. Atur *duty cycle* menjadi 10%.
5. Ukur tegangan masukan (V_s), tegangan keluaran (V_o), dan arus keluaran (I_o), serta ukur putaran motor (n) menggunakan tachometer.
6. Catat hasil pengukuran.
7. Ulangi langkah 4 sampai 5 dengan kenaikan 10% *duty cycle* sampai dengan *duty cycle* 90%.

5.4.2 Hasil Pengujian

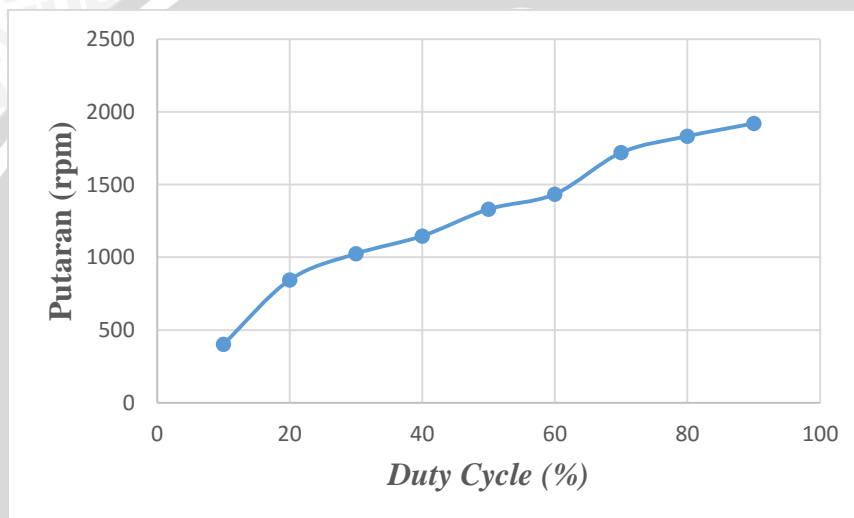
Hasil pengujian sistem *open loop* ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Pengujian sistem *open loop*.

<i>Duty Cycle</i> (%)	Tegangan Masukan (Volt)	Tegangan Keluaran (Volt)	Arus Keluaran (A)	Putaran (rpm)
10	220	20,19	0,21	402
20	220	40,84	0,45	845
30	220	62,93	0,67	1025
40	220	83,33	0,87	1147

Duty Cycle (%)	Tegangan Masukan (Volt)	Tegangan Keluaran (Volt)	Arus Keluaran (A)	Putaran (rpm)
50	220	102,80	1,02	1331
60	220	129,00	1,30	1435
70	220	148,93	1,54	1720
80	220	170,13	1,72	1833
90	220	190,86	2,07	1921

5.4.3 Analisis Hasil Pengujian Sistem *Open loop*



Gambar 5. 11 Grafik hubungan antara *duty cycle* dengan putaran motor dc *shunt* pengujian *open loop*.

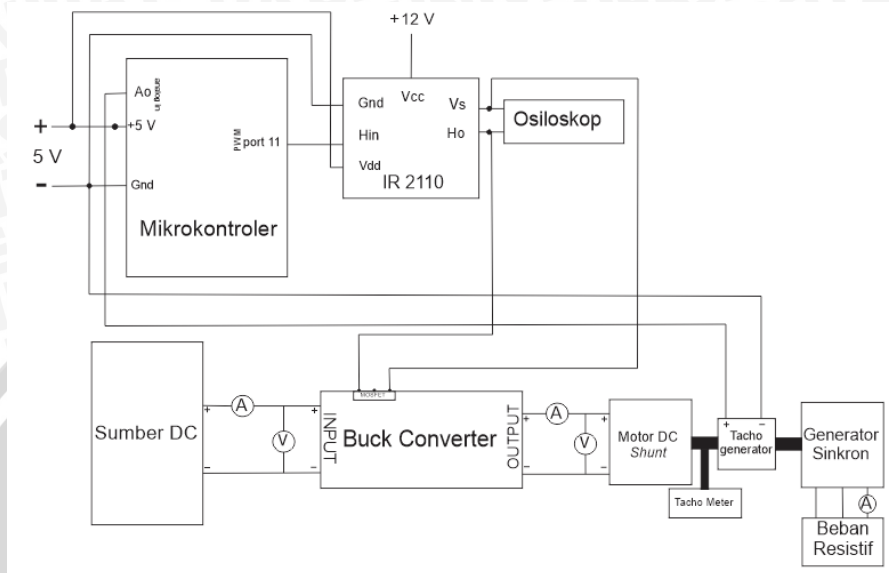
Dari hasil Gambar 5.11 terlihat bahwa perubahan *duty cycle* dengan putaran motor dc *shunt* naik secara linier, apabila *duty cycle* naik maka putaran motor juga akan naik. Tabel 5.4 menunjukkan sistem ini mempertahankan keadaan putaran 1500 rpm pada *duty cycle* 64,3%, sehingga dapat menghasilkan frekuensi 50Hz.

5.5 Pengujian Sistem *Close Loop* Perubahan Beban yang Linier

5.5.1 Prosedur Pengujian Perubahan Beban yang Linier

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti dalam Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Rangkaian pengujian *Buck Converter* mode *close loop*

2. Atur alat menjadi mode *close loop*.
3. Berikan sumber tegangan dc 220 V.
4. Ukur tegangan keluaran *buck converter* (V_o), *duty cycle*, serta ukur putaran motor (n) menggunakan tachometer.
5. Rubah beban secara linier dengan melihat arus pada beban generator.
6. Catat hasil pengukuran.
7. Ulangi langkah 4 dan 5 dengan kenaikan arus beban 50 mA

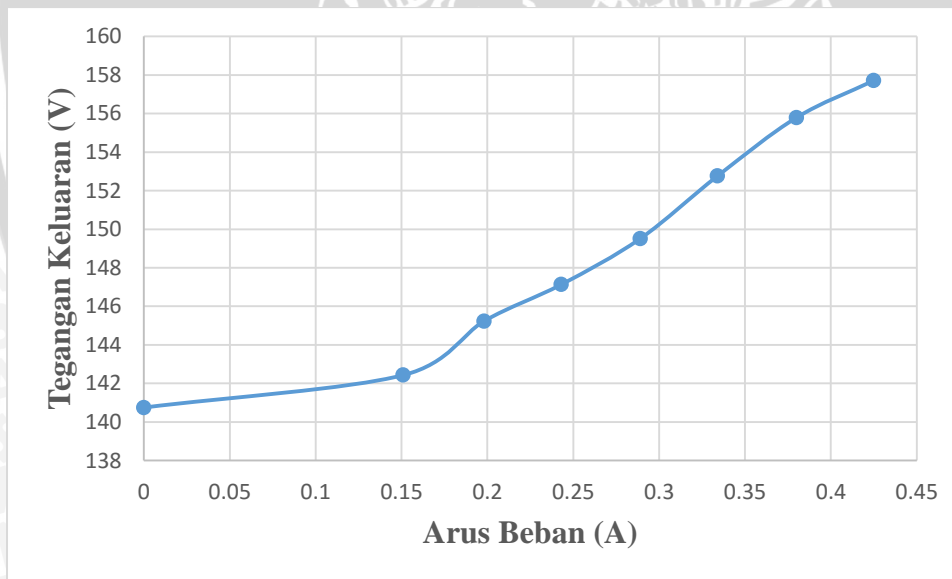
5.5.2 Hasil Pengujian dengan Perubahan Beban yang Linier

Hasil Pengujian sistem *close loop* dengan perubahan pembebanan yang linier ditunjukkan Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Pengujian sistem *close loop* perubahan beban linier

Besar Beban R (kΩ)	Arus Beban (A)	Duty Cycle (%)	Tegangan Keluaran Teori (V)	Tegangan Keluaran Pengujian (V)	Error (%)	Putaran (rpm)
-	0	64,3	142,30	140,75	1,09	1500
1,46	0,151	66,2	149,20	142,43	4,53	
1,11	0,198	66,5	151,28	145,23	3,99	
0,91	0,243	67,2	153,27	147,13	4,01	
0,76	0,289	68,1	155,31	149,51	3,73	
0,66	0,334	69,5	157,31	152,76	2,89	
0,58	0,380	71,4	159,35	155,79	2,23	
0,52	0,425	73,5	161,34	157,71	2,25	

5.5.2 Analisis Hasil Pengujian Sistem *Close loop* Perubahan Beban yang Linier



Gambar 5. 13 Grafik perbandingan antara arus beban dengan tegangan keluaran dari *buck converter* sistem *close loop*

Pada pembebanan disisi generator yang dirubah secara linier terlihat bahwa setiap perubahan beban maka diikuti dengan perubahan tegangan masukan motor dan *duty cycle*, sehingga mencapai *set point* pada sistem yakni kecepatan motor 1500 rpm yang menghasilkan frekuensi 50Hz. Dari Tabel 5.5 juga terdapat rata-rata nilai eror antara

perhitungan secara teori nilai tegangan keluaran dengan pengujian tegangan keluaran *buck converter* yakni sebesar 3,09%. Error ini terjadi karena terdapat jatuh tegangan pada rangkaian pengujian contohnya terjadi jatuh tegangan pada komponen diode, selain itu pada pengkabelan terdapat rugi-rugi. Namun, karena error tegangan keluaran ini di bawah 10%, maka *buck converter* ini dianggap berhasil.

5.6 Pengujian Sistem *Close Loop* Perubahan Beban yang Ekstrim

5.5.1 Prosedur Pengujian Perubahan Beban yang Ekstrim

Prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

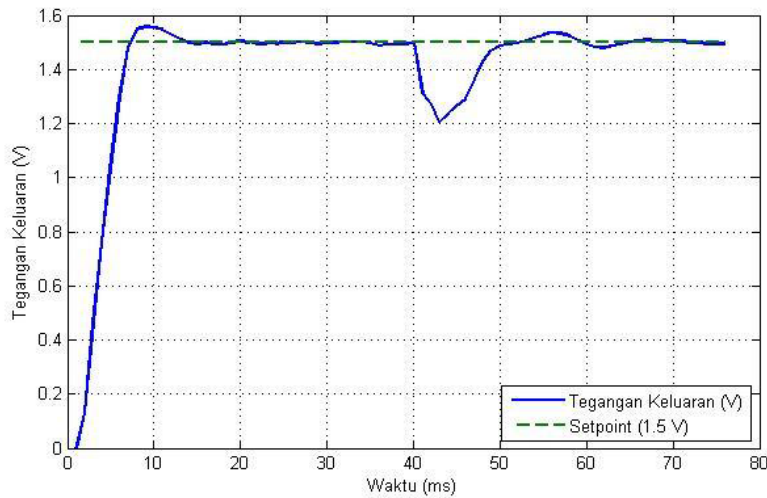
1. Atur alat menjadi mode *close loop*.
2. Berikan sumber tegangan dc 220 V.
3. Lihat gelombang keluaran dari sistem.
4. Masukkan beban secara langsung ke sistem dengan melihat gelombang keluaran dari sistem.
5. Catat hasil pengukuran.
6. Ulangi langkah 4 dan 5 dengan kenaikan beban 100 watt dan 200 watt.

5.5.2 Hasil Pengujian dengan Perubahan Beban yang Ekstrim

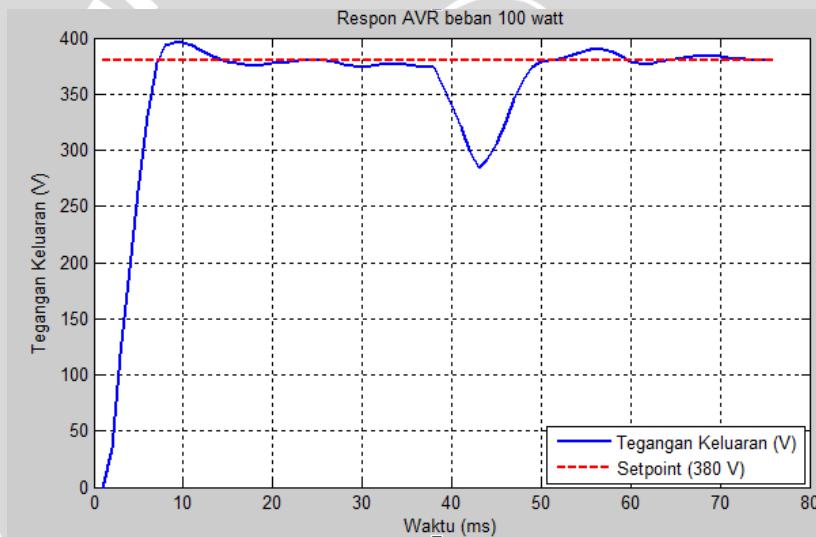
Tabel 5. 6 Hasil pengujian dengan variasi pembebanan ekstrim

Arus Beban (mA)	Tegangan Keluaran Generator (V)	Daya Beban (W)	D (%)	Tegangan Keluaran (V)	Arus Keluaran (A)	Putaran (rpm)
0	380	0	64,0	140,75	1,47	1500
152		100	66,7	142,43	1,51	
304		200	70,1	152,76	1,62	
365		240	70,7	154,30	1,66	
0		0	64,1	141,41	1,46	
365		240	70,8	154,71	1,67	

5.5.2.1 Pengujian Sistem Beban 100 watt



Gambar 5. 14 Respon tegangan keluaran tachogenerator saat pembebanan 100 watt saat motor *shunt* mempertahankan putaran 1500 rpm.



Gambar 5. 15 Respon tegangng keluaran generator saat pembebanan 100 watt saat motor *shunt* mempertahankan tegangan keluaran 380 volt

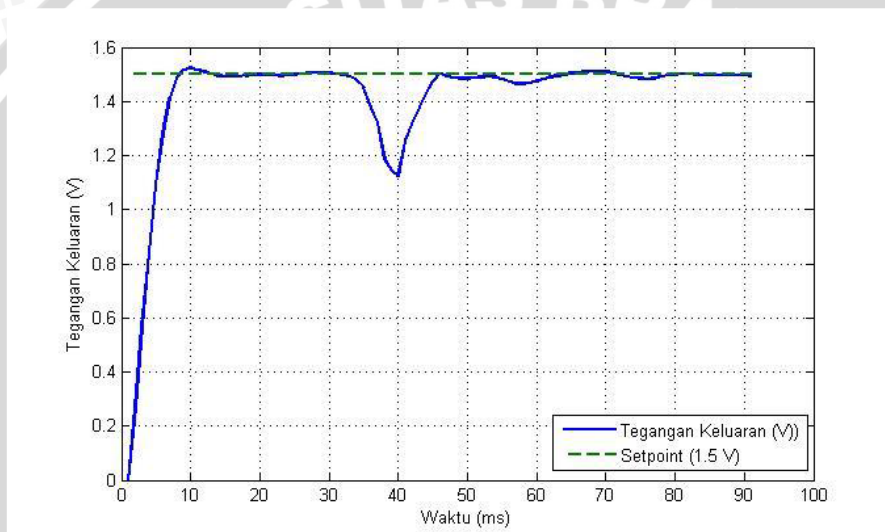
Dari Gambar 5.14 dapat disimpulkan bahwa saat waktu menunjukkan 40ms beban dimasukkan sebesar 100 watt atau 33.33% dari beban nominal motor, maka tegangan keluaran dari tachogenerator akan berkurang yang awalnya 1,5 volt akan menjadi 1,20 volt dalam hal ini berarti putaran motor *shunt* yang telah dikopel dengan generator sinkron akan berkurang karena konversi tachogenerator dari tegangan ke putaran adalah 1 volt berbanding 1000 rpm. Sehingga yang awalnya putaran 1500 rpm menjadi 1200 rpm.

Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 menunjukkan bahwa sistem telah melakukan penyesuaaian yang sebelumnya tachogenerator menghasilkan tegangan 1,20 volt atau 1200 rpm dan tegangan keluaran generator sebesar 260 volt akibat adanya beban sebesar 100 watt

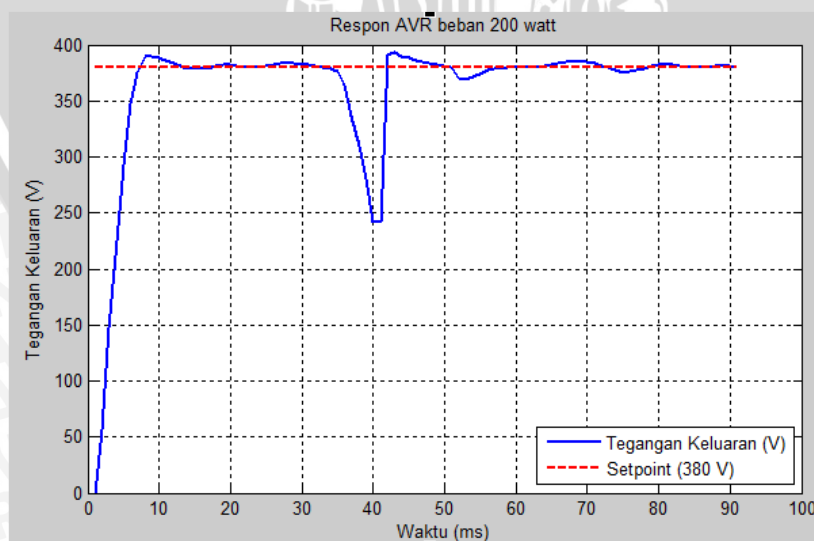
atau 30%, kini sistem mulai kembali ke *setpoint* awal menjadi tegangan 1,5 volt atau kembali ke putaran 1500 rpm untuk menghasilkan frekuensi 50Hz. Waktu untuk melihat sistem seberapa cepat melakukan penyesuaian untuk menghasilkan frekuensi 50Hz adalah dari grafik Gambar 5.14 dan Gambar 5.15. Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 menunjukkan bahwa *time/div* grafik adalah 10ms, hal tersebut menyatakan untuk setiap kotak bernilai 10ms.

Dilihat dari awal masuknya beban yang menunjukkan bahwa tachogenerator menghasilkan nilai 1,20 volt atau 1200 rpm sampai kembali lagi ke tegangan 1,5 volt atau 1500 rpm dan frekuensi 50Hz sistem tersebut merespon selama 13ms.

5.5.2.2 Pengujian Sistem Beban 200 watt



Gambar 5. 16 Respon tegangan keluaran tachogenerator saat pembebanan 200 watt saat motor *shunt* mempertahankan putaran 1500 rpm.



Gambar 5. 17 Respon tegangan keluaran generator saat pembebanan 200 watt saat motor *shunt* mempertahankan tegangan keluaran 380 volt

Dari Gambar 5.16 diatas dapat disimpulkan bahwa saat waktu menunjukkan 40ms beban dimasukkan sebesar 200 watt atau 66,66% dari beban nominal motor, maka tegangan keluaran dari tachogenerator akan berkurang yang awalnya 1,5 volt akan menjadi 1,12 volt dalam hal ini berarti puataran motor *shunt* yang telah dikopel dengan generator sinkron akan berkurang karena konversi tachogenerator dari tegangan ke putaran adalah 1 volt berbanding 1000 rpm. Sehingga yang awalnya putaran 1500 rpm menjadi 1120 rpm.

Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 menunjukkan bahwa sistem telah melakukan penyesuaaian yang sebelumnya tachogenerator menghasilkan tegangan 1,12 volt atau 1120 rpm dan tegangan keluaran generator sebesar 240 volt akibat adanya beban sebesar 100 watt atau 30%, kini sistem mulai kembali ke *setpoint* awal menjadi tegangan 1,5 volt atau kembali ke putaran 1500 rpm untuk menghasilkan frekuensi 50Hz. Waktu untuk melihat sistem seberapa cepat melakukan penyesuaian untuk menghasilkan frekuensi 50Hz adalah dari grafik Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 diatas. Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 menunjukkan bahwa *time/div* grafik adalah 10ms, hal tersebut menyatakan untuk setiap kotak bernilai 10ms.

Dilihat dari awal masuknya beban yang menunjukkan bahwa tachogenerator menghasilkan nilai 1,12 volt atau 1120 rpm sampai kembali lagi ke tegangan 1,5 volt atau 1500 rpm dan frekuensi 50Hz sistem tersebut merespon selama 20ms.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perancangan dan pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Perbandingan antara tegangan keluaran *buck converter* antara simulasi dan pengujian alat mempunyai nilai eror 4,47%.
2. Dalam keadaan tanpa beban *motor shunt* membutuhkan *duty cycle* 64,3% untuk menghasilkan putaran 1500 rpm.
3. Pada saat pembebanan ekstrim 100 watt sistem akan mengalami waktu untuk menuju *steady state* atau kembali ke *set point* selama 13ms, apabila pembebanan 200 watt waktu yang diperlukan 20ms.

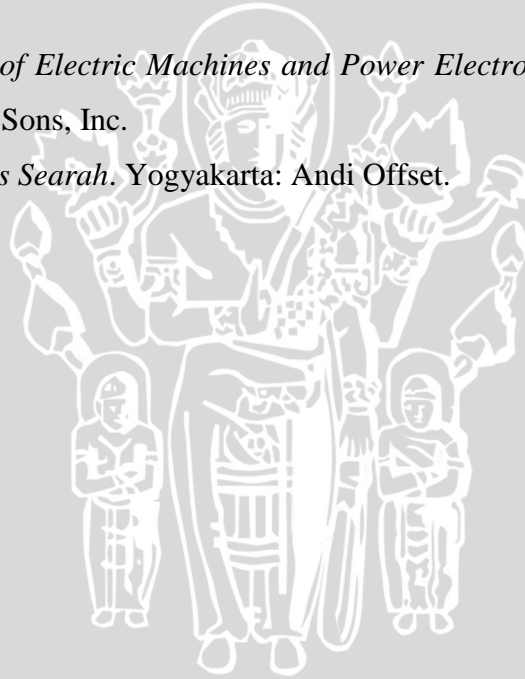
6.2 Saran

1. Pensaklaran sistem sinkronisasi dari generator ke jala-jala PLN sebaiknya dimode otomatis, karena sistem yang kami buat ini masih menggunakan saklar yang manual untuk proses sinkronisasi.
2. Perlu proteksi untuk keamanan sistem, sehingga tidak merusak rangkaian MOSFET yang sudah dibuat.



DAFTAR PUSTAKA

- Alciatore, D.G. and Hystand, M.B. (2012). *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*. New York: McGraw-Hil.
- Hart, Daniel W. (2011). *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Chapman, Stephen J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. New York : The McGraw-Hill Companies.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, Jr., C., and Umans, S. (2003). *Electric Machinery, 6th Ed.* New York: McGraw-Hill.
- Mehta, V.K. and Mehta, R. (2000). *Principles of Electrical Engineering and Electronics*. New Delhi: S.Chand & Company Ltd.
- Rashid, M. H. and Rashid, H. M. (2006). *SPICE For Power Electronics and Electric Power*. New York: CRC Press.
- Sen, P. C. 1997. *Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Sumanto. (1991). *Mesin Arus Searah*. Yogyakarta: Andi Offset.





Lampiran 1. Data sheet

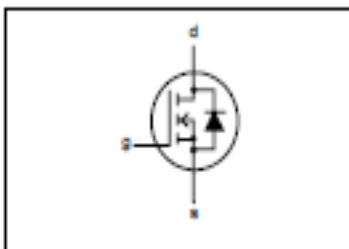
1. Karakteristik IRF730

Philips Semiconductors	Product specification
PowerMOS transistor	IRF730
Avalanche energy rated	

FEATURES

- Repetitive Avalanche Rated
- Fast switching
- High thermal cycling performance
- Low thermal resistance

SYMBOL



QUICK REFERENCE DATA

$$V_{DS} = 400 \text{ V}$$

$$I_D = 7.2 \text{ A}$$

$$R_{DS(on)} \leq 1 \Omega$$

GENERAL DESCRIPTION

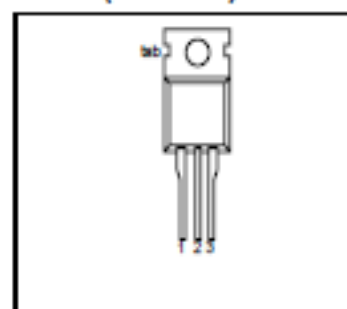
N-channel, enhancement mode field-effect power transistor, intended for use in off-line switched mode power supplies, T.V. and computer monitor power supplies, d.c. to d.c. converters, motor control circuits and general purpose switching applications.

The IRF730 is supplied in the SOT78 (TO220AB) conventional leaded package.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

SOT78 (TO220AB)



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	400	V
V_{DGS}	Drain-gate voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GS} = 20 \text{ k}\Omega$	-	400	V
V_{GS}	Gate-source voltage		-	± 30	V
I_D	Continuous drain current	$T_{nb} = 25^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	7.2	A
		$T_{nb} = 100^\circ\text{C}$; $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	4.6	A
I_{DM}	Pulsed drain current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-	29	A
P_D	Total dissipation	$T_{nb} = 25^\circ\text{C}$	-	125	W
T_J, T_{stg}	Operating junction and storage temperature range		-55	150	$^\circ\text{C}$

AVALANCHE ENERGY LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
E_{AS}	Non-repetitive avalanche energy	Unclamped inductive load, $I_{AS} = 4.8 \text{ A}$; $t_s = 0.23 \text{ ms}$; T_J prior to avalanche = 25°C ; $V_{DG} \leq 50 \text{ V}$; $R_{GS} = 50 \Omega$; $V_{GS} = 10 \text{ V}$; refer to fig:17	-	290	mJ
E_{AR}	Repetitive avalanche energy ¹	$I_{AR} = 7.2 \text{ A}$; $t_b = 2.5 \mu\text{s}$; T_J prior to avalanche = 25°C ; $R_{GS} = 50 \Omega$; $V_{GS} = 10 \text{ V}$; refer to fig:18	-	9.4	mJ
I_{AS}, I_{AR}	Repetitive and non-repetitive avalanche current		-	7.2	A

¹ 1 pulse width and repetition rate limited by T_J max.

2. Karakteristik Dioda 1N4007



1N4001 thru 1N4007

Vishay General Semiconductor

General Purpose Plastic Rectifier



DO-204AL (DO-41)

FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

MECHANICAL DATA

Case: DO-204AL, molded epoxy body

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating

Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

Polarity: Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS

$I_{F(AV)}$	1.0 A
V_{RRM}	50 V to 1000 V
I_{FSM} (8.3 ms sine-wave)	30 A
I_{FSM} (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
V_F	1.1 V
I_R	5.0 μ A
T_J max.	150 °C

3. Karakteristik Dioda STTH60L06C

**STTH60L06C****TURBO 2 ULTRAFAST HIGH VOLTAGE RECTIFIER****Table 1: Main Product Characteristics**

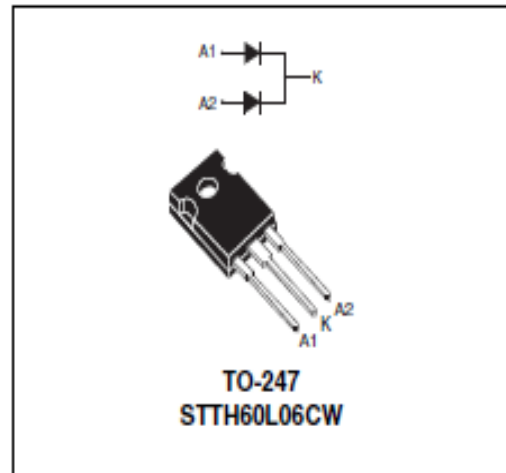
$I_{F(AV)}$	Up to 2 x 40 A
V_{RRM}	600 V
T_J	175°C
V_F (typ)	1.0 V
t_{rr} (max)	65 ns

FEATURES AND BENEFITS

- Ultrafast switching
- Low reverse current
- Low thermal resistance
- Reduces switching & conduction losses

DESCRIPTION

The STTH60L06, which is using ST Turbo 2 600V technology, is specially suited for use in switching power supplies, and industrial applications, as rectification and discontinuous mode PFC boost diode.

**Table 2: Order Codes**

Part Number	Marking
STTH60L06CW	STTH60L06CW

Table 3: Absolute Ratings (limiting values, per diode)

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_{RRM}	Repetitive peak reverse voltage	600	V	
$I_{F(RMS)}$	RMS forward current	60	A	
$I_{F(AV)}$	Average forward current $\delta = 0.5$	$T_c = 125^\circ\text{C}$ Per diode	30	A
		$T_c = 110^\circ\text{C}$ Per device	60	
		$T_c = 100^\circ\text{C}$ Per diode	40	
		$T_c = 80^\circ\text{C}$ Per device	80	
I_{FSM}	Surge non repetitive forward current	$t_p = 10\text{ms}$ sinusoidal	210	A
T_{stg}	Storage temperature range	-65 to + 175	°C	
T_J	Maximum operating junction temperature	175	°C	



STTH60L06C

Table 4: Thermal Resistance

Symbol	Parameter		Value (max.)	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction to case	Per diode	1.05	°C/W
		Total	0.68	
$R_{th(c)}$	Coupling		0.3	°C/W

When the diodes 1 and 2 are used simultaneously:

$$\Delta T_j(\text{diode 1}) = P(\text{diode 1}) \times R_{th(j-c)}(\text{Per diode}) + P(\text{diode 2}) \times R_{th(c)}$$

Table 5: Static Electrical Characteristics (per diode)

Symbol	Parameter	Test conditions		Min.	Typ	Max.	Unit
I_R^*	Reverse leakage current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$V_R = V_{RRM}$			25	μA
		$T_J = 150^\circ\text{C}$			80	800	
V_F^{**}	Forward voltage drop	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 30\text{A}$			1.55	V
		$T_J = 150^\circ\text{C}$			1.0	1.25	
		$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 60\text{A}$			1.78	
		$T_J = 150^\circ\text{C}$			1.24	1.55	

Pulse test: * $t_p = 5 \text{ ms}$, $\delta < 2\%$

** $t_p = 380 \mu\text{s}$, $\delta < 2\%$

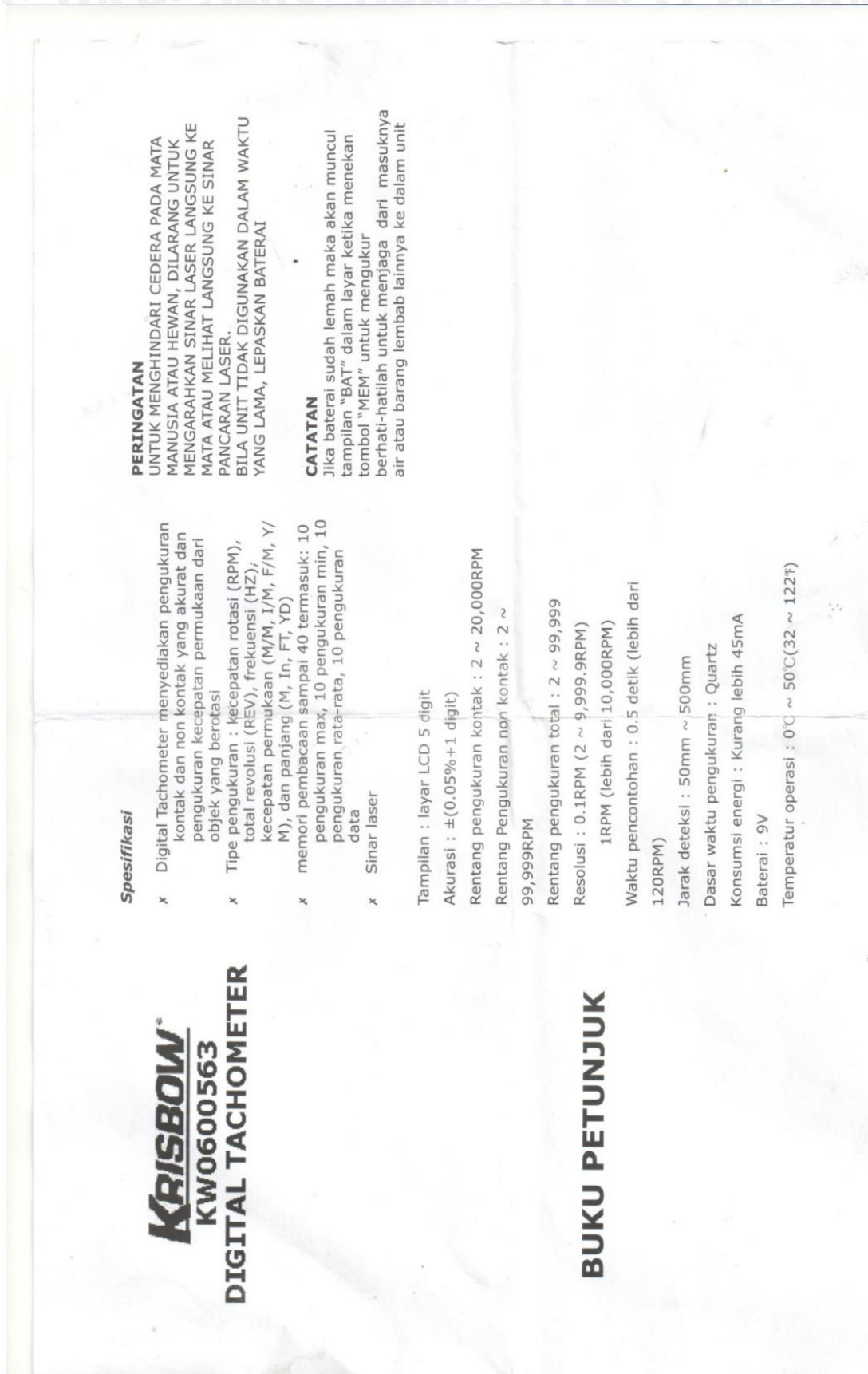
To evaluate the conduction losses use the following equation: $P = 0.95 \times I_F(AV) + 0.010 I_F^2(RMS)$

Table 6: Dynamic Characteristics (per diode)

Symbol	Parameter	Test conditions		Min.	Typ	Max.	Unit
t_{rr}	Reverse recovery time	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 0.5\text{A}$ $I_{rr} = 0.25\text{A}$ $I_R = 1\text{A}$			65	ns
			$I_F = 1\text{A}$ $di_F/dt = 50 \text{ A}/\mu\text{s}$ $V_R = 30\text{V}$		65	90	
I_{RM}	Reverse recovery current	$T_J = 125^\circ\text{C}$	$I_F = 30\text{A}$ $V_R = 400\text{V}$ $di_F/dt = 100 \text{ A}/\mu\text{s}$		11.5	16	A
t_{fr}	Forward recovery time	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 30\text{A}$ $di_F/dt = 100 \text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{FR} = 1.1 \times V_{Fmax}$			500	ns
V_{FP}	Forward recovery voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 30\text{A}$ $di_F/dt = 100 \text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{FR} = 1.1 \times V_{Fmax}$		2.5		V

Lampiran 2. Alat Ukur

1. Tachometer





TEST REPORT
1 of 1

MODEL:KW06-563 High Accuracy Tachometers

Report Number: 1410069866

Reference of Specifications : Instruction Manual

Calibration Unit Detail (standard)

Lot :07(25Pcs)

Model Number: BZX-1H3

Sample size :1pcs

Serial Number: 06142

Serial Number:141006971 to 141006995

Environment Temperature:23.5°C

Humidity: 40.0%RH

Calibration Date:2014-10-28

Issue Date:2014-10-28

RPM

RANGE	INPUT	TOLERANCE	Resolution	READING			NOTE	RESULTS	STATUS
				min	to	max			
10.0	RPM	0.05 + 1	0.1	9.9	to	10.1		10.0	Passed
100.0	RPM	0.05 + 1	0.1	99.9	to	100.2		100.0	Passed
1000	RPM	0.05 + 1	0.1	999.4	to	1001		1000.0	Passed

Conclusion: Pass at Calibration Item.

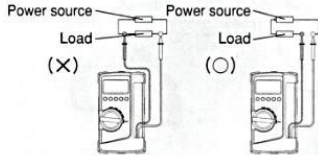


2. Multimeter

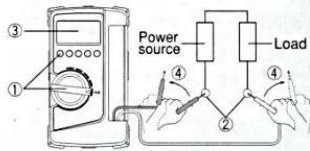
5-8 Current Measurement

⚠ WARNING

- Never apply voltage to the input terminals.
- Be sure to make a series connection via load.
- Do not apply an input exceeding the maximum rated current to the input terminals.
- Before starting measurement, turn OFF the power switch of the circuit to separate the measuring part, and then connect the test leads firmly.



- DCmA : Maximum rating input value 400mADC
 - ACmA : Maximum rating input value 400mAAC
- 1) Applications
DCA : Current in batteries and DC circuits is measured.
ACA : Current in AC circuits is measured.
- 2) Measuring ranges
DC/ACmA : 2 ranges for 400.0mA and 40.00mA.
- 3) Measurement procedure
- Set the function switch at "mA" and select either DC or AC with the SELECT button.
 - In the circuit to measure and apply the red and black test pins in series with load.
 - For measurement of DCA, apply the black test pin to the negative potential side of the circuit to measure and the red test pin to the positive potential side in series with load.
 - For measurement of ACV, apply the red and black test pins to the circuit to measure in series with load.
 - Read the value on the display.
 - After measurement, remove the red and black test pins from the circuit measured.
 - Use Hz/% function for making Hz and duty cycle measurements.



- 10 -

[6] MAINTENANCE

⚠ WARNING

- The section is very important for safety. Read and understand the following instruction fully and maintain your instrument properly.
- The instrument must be calibrated and inspected at least once a year to maintain the safety and accuracy.

6-1 Maintenance and inspection

- 1) Appearance
- Is the appearance not damaged by falling?
- 2) Test leads
- Is the cord of the test leads not damaged?
 - Is the core wire not exposed at any place of the test leads?
- NOTE : If the built-in fuse is blown, only the current measurement becomes impossible. Make sure that the test leads are not cut, referring to the section 5-1.

6-2 Calibration

The manufacturer may conduct the calibration and inspection. For more information, please contact the dealers.

6-3 Battery and Fuse Replacement

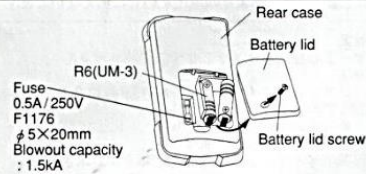
⚠ WARNING

- If the rear case or the battery lid is removed with input applied to the input terminals, you may get electrical shock. Before starting the work, always make sure that no input is applied.
- Before starting the work, be sure to turn OFF the main unit power and release the test leads from the circuit.
- Be sure to use a fuse of the specified rating or type. Never use a substitute of the fuse or never make a short circuit of the fuse.

- Remove the battery lid screw with a screwdriver.
- Take out the battery or fuse and replace it with a new one.
- Attach the battery lid and fix with the screw.

⚠ CAUTION

Set battery with its polarities facing in the correct directions.



- 11 -

OVERVOLTAGE CATEGORY

- CAT I : Secondary electrical circuits connected to an AC electrical outlet through a transformer or similar device.
CAT II : Primary electrical circuits in equipment connected to an AC electrical outlet by a power cord.
CAT III : Primary electrical circuits of heavy equipment connected directly to the distribution panel, and feeders from the distribution panel to outlets.

8-2 測定範囲及び精度 / Measurement Range and Accuracy

精度保証範囲 : 温度23±5℃ 湿度 : 80%R.H.以下 結露のないこと
Accuracy assurance range : 23±5℃ & less than 80% R.H. No Condensation

rdg(reading) : 読取値、dgt(digit) : 最終桁のカウント数

ファンクション&レンジ Function&Range	精度 Accuracy	入力抵抗 Input Impedance	備考 Remarks
直流電圧 DCV	400.0mV 4.000V 40.00V 400.0V 600V	±(0.7%rdg+3dgt) ±(1.1%rdg+3dgt)	≧100MΩ Approx. 11MΩ 約10MΩ Approx. 10MΩ
交流電圧 ACV	4.000V 40.00V 400.0V 600V	±(1.6%rdg+9dgt) ±(1.6%rdg+5dgt)	Approx. 11MΩ 約10MΩ Approx. 10MΩ ※正弦波交流における精度 精度保証周波数範囲40~400Hz ※Accuracy in the case of sin wave 40~400Hz
抵抗 Ω	400.0Ω 4.000kΩ 40.00kΩ 400.0kΩ	±(1.5%rdg+5dgt) ±(1.2%rdg+5dgt)	開放電圧 : DC約0.4V Open voltage : Approx.DC 0.4V
静電容量 +	50.00nF 500.0nF 5.000μF 50.00μF 100.0μF	±(5.0%rdg+10dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 表示されている値をリラティブ機能によって キャンセルした後の精度。 Accuracy was measured after canceling didplay value by relative key

- 14 -

周波数 Hz	5.000kHz 50.00Hz 500.0Hz 5.000kHz 50.00kHz 100.0kHz	±(0.5%rdg+3dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 1Hz~1kHz 4Vrms~250Vrms 1kHz~100kHz 4Vrms~20Vrms
デューティ比 %	20~80%	±(0.5%rdg+5dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 5Hz~60Hz 3Vrms~30Vrms 60Hz~200Hz 4.9Vrms~30Vrms
直流電流 DCmA	40.00mA 400.0mA	約1Ω Approx. 1Ω ±(2.2%rdg+5dgt)	ヒューズ抵抗を除く Without resistance of Fuse
交流電流 ACmA	40.00mA 400.0mA	約1Ω Approx. 1Ω ±(2.8%rdg+5dgt)	ヒューズ抵抗を除く Without resistance of Fuse ※正弦波交流における精度 精度保証周波数範囲 40~400Hz ※Accuracy in the case of sin wave 40~400Hz
Checking Continuity *	10~120Ω以下で発音・開放電圧 : DC約0.4V Buzzer sounds at less than 10~120Ω · Open voltage: Approx.DC 0.4V		
Testing Diode ▶	開放電圧 : DC約1.5V Open voltage: Approx.DC 1.5V		

※トランスや大電流回路など強磁界の発生している近く、また無線機など強電界の発生している近くでは正常な測定ができない場合があります。

精度計算方法 / Accuracy calculation

例) 直流電圧測定(DCmV) / For example...Measurement 400mVDC Range.

表示値 / Display value : 100.0[mV]
レンジ精度 / Accuracy : 400.0[mV] レンジ / Range : ±(0.3rdg+4dgt)
誤差 / Error : ±(100.0[mV]×0.3%rdg+4dgt)=±0.7[mV]
計算式 / Calculation : 100.0[mV]±(100.0[mV]×0.3%rdg+4dgt)
真値 / True value : In a range of 0.993[mV]~100.7[mV]の範囲内。
※400.0[mV]レンジにおける4[dgt]とは、0.4[mV]に相当します。
※4[dgt] in the 400.0[mV]range correspond to 0.4[mV]

ここに掲載した製品の仕様や外観は改良等の理由により、予告なしに変更することがありますのでご承知ください。

Specifications and external appearance of the product described above may be revised for modification without prior notice.

- 15 -



TEST REPORT

1 of 2

MODEL: KW06-305 Auto-ranging Digital Multimeters

Report Number: 20136789

Reference of Specifications : Instruction Manual
Calibration Unit Detail (Standard Equipment)

Manufacturer: FLUKE

Lot :05(24Pcs)

Model Number: 9100

Sample size :1pcs

Serial Number:926153618

Serial Number:130614357 to 130614380

Environment Temperature:23±3°C

Humidity: 50±20%RH

Calibration Date:2013-6-7

Issue Date:2013-6-7

1.VISUAL-Check for cosmetic problems, scratches ,wrong lables.

2.Insert one each "9V"battery and observe correct polarity

3.Power "ON"and cheak for any missing display segments.

4.Test the follwing functions:

DCV

RANGE	INPUT	TOLERANCE	Resolution	READING			RESULTS	STATUS
				min	to	max		
400.0 mV	350.0 mV	0.5 + 2	0.1	348.1	to	352.0	351.2	Passed
4.000 V	3.500 V	1.2 + 2	0.001	3.456	to	3.544	3.514	Passed
40.00 V	35.00 V	1.2 + 2	0.01	34.56	to	35.44	35.08	Passed
400.0 V	350.0 V	1.2 + 2	0.1	345.6	to	354.4	351.2	Passed
1000 V	600 V	1.5 + 2	1	589	to	611	597	Passed

ACV

4.000 V	3.500 V	1.5 + 3	0.001	3.445	to	3.556	60Hz 3.502	Passed
40.00 V	35.00 V	1.5 + 3	0.01	34.45	to	35.56	35.04	Passed
400.0 V	350.0 V	1.5 + 3	0.1	344.5	to	355.6	351.2	Passed
700 V	600 V	2.0 + 4	1	584	to	616	603	Passed

Resistance

400.0 Ω	100.0 Ω	1.2 + 4	0.1	98.4	to	101.6	100.2	Passed
4.000 kΩ	1.000 kΩ	1.0 + 2	0.001	0.988	to	1.012	1.006	Passed
40.00 kΩ	10.00 kΩ	1.2 + 2	0.01	9.86	to	10.14	10.08	Passed
400.0 kΩ	100.0 kΩ	1.2 + 2	0.1	98.6	to	101.4	100.1	Passed
4.000 MΩ	1.000 MΩ	1.2 + 2	0.001	0.986	to	1.014	0.992	Passed
40.00 MΩ	10.00 MΩ	2.0 + 3	0.01	9.77	to	10.23	9.95	Passed

Capacitance

40.00 nF	10.00 nF	5.0 + 7	0.01	9.43	to	10.57	10.20	Passed
400.0 nF	100.0 nF	3.0 + 5	0.1	96.5	to	103.5	101.4	Passed
4.000 μF	1.000 μF	3.0 + 5	0.001	0.965	to	1.035	1.025	Passed
40.00 μF	10.00 μF	3.0 + 5	0.01	9.65	to	10.35	10.02	Passed
100.0 μF	100.0 μF	5.0 + 5	0.1	94.5	to	105.5	100.5	Passed





TEST REPORT

2 of 2

MODEL: KW06-305 Auto-ranging Digital Multimeters

Serial Number:130614357 to 130614380

Report Number:

DC(A)

RANGE	INPUT	TOLERANCE (%+dgts)	Resolution	READING			NOTE	RESULTS	STATUS
				min	to	max			
400.0 μ A	350.0 μ A	1.0 + 3	0.1	346.2	to	353.8		352.1	Passed
4000 μ A	3500 μ A	1.5 + 3	1	3445	to	3556		3512	Passed
40.00 mA	35.00 mA	1.5 + 3	0.01	34.45	to	35.56		35.14	Passed
400.0 mA	350.0 mA	1.5 + 3	0.1	344.5	to	355.6		351.5	Passed
10 A	7.5 A	2.5 + 5	0.01	7.26	to	7.74		7.52	Passed

AC(A)

400.0 μ A	350.0 μ A	1.5 + 5	0.1	344.3	to	355.8	60Hz	351.4	Passed
4000 μ A	3500 μ A	1.8 + 5	1	3432	to	3568		3524	Passed
40.00 mA	35.00 mA	1.8 + 5	0.01	34.32	to	35.68		35.14	Passed
400.0 mA	350.0 mA	1.8 + 5	0.1	343.2	to	356.8		351.7	Passed
10 A	7.5 A	3.0 + 7	0.01	7.21	to	7.80		7.53	Passed

Frequency

9.999 Hz	9.000 Hz	1.5 + 5	0.001	8.860	to	9.140		8.99	Passed
99.99 Hz	90.00 Hz	1.5 + 5	0.01	88.60	to	91.40		89.9	Passed
999.9 Hz	900.0 Hz	1.2 + 3	0.1	888.9	to	911.1		899.9	Passed
9.999 kHz	9.000 kHz	1.2 + 3	0.001	8.889	to	9.111		8.99	Passed
99.99 kHz	90.00 kHz	1.2 + 3	0.01	88.89	to	91.11		89.9	Passed
999.9 kHz	900.0 kHz	1.2 + 3	0.1	888.9	to	911.1		899.9	Passed
9.999 MHz	9.000 MHz	1.5 + 4	0.001	8.861	to	9.139		8.997	Passed

Temp °C

-20to760°C	0.0 °C	3.0 + 3	1	-3	to	3		0	Passed
	50.0 °C	3.0 + 3	1	46	to	55		49	Passed
	100.0 °C	3.0 + 3	1	94	to	106		103	Passed
	700 °C	3.0 + 3	1	676	to	724		712	Passed

Temp °F

-4to1400°F	0.0 °F	3.0 + 3	1	-3	to	3		1	Passed
	32.0 °F	3.0 + 3	1	28	to	36		34	Passed
	212 °F	3.0 + 3	1	203	to	221		214	Passed
	500 °F	3.0 + 3	1	482	to	518		502	Passed
	1000 °F	3.0 + 3	1	967	to	1033		1002	Passed

Duty Cycle

0.1to99.9%	50.0 %	1.2 + 2	0.1	49.2	to	50.8		50.1	Passed
5. Test the "HOLD" function									Passed

Conclusion: Pass at Calibration Item.



Lampiran 3. Perhitungan

1. Perhitungan rata-rata pengujian *buck converter* selama 3 kali percobaan.

D (%)	Vout ₁ (V)	Vout ₂ (V)	Vout ₂ (V)	Vout _{avg} (V)
10	20,7	19,7	20,1	20,19
20	42,1	40,3	40,1	40,84
30	65,2	61,5	62,1	62,93
40	85,3	80,9	83,7	83,33
50	107,8	101,3	99,3	102,8
60	130,1	129,8	127,1	129,00
70	149,6	147,7	149,5	148,93
80	164,9	175,4	170,1	170,13
90	194,3	187,9	190,3	190,86

2. Perhitungan teori tegangan keluaran *buck converter*.

Dengan rumus $V_o = D \times V_{in}$, didapatkan :

D	V _{in} (V)	V _{out} (V)
0,1	220	22
0,2	220	44
0,3	220	66
0,4	220	88
0,5	220	110
0,6	220	132
0,7	220	154
0,8	220	176
0,9	220	198

3. Perhitungan teori tegangan terminal jangkar motor bila diberi torsi beban yang bervariasi.

Koefisien motor dicari dengan cara pengujian didapat sebesar $k_e = 0,2375$ dengan arus medan $I_f = 0,4$ A, putaran 1500rpm dan Resistansi jangkar $R_a = 24\Omega$. Untuk mencari torsi beban dapat dihitung dengan rumus $\tau = \frac{P}{\omega r}$, dengan P adalah daya yang diberikan beban karena beban yang dipakai adalah beban resistif 3 fasa maka untuk mencari besarnya

P adalah $P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$. Perhitungan mencari arus jangkar pada motor didapat dari rumus

$I_a = \frac{T \times 2\pi}{60 \times k_e}$. Sehingga didapatkan nilai tegangan terminal pada motor dengan rumus $V_t =$

$E_a + I_a R_a$.

Arus Beban (A)	P (watt)	T (Nm)	Ia (A)	Vt (V)
0,151	99,38	0,63	0,279	149,20
0,198	130,32	0,83	0,366	151,28
0,243	159,93	1,02	0,449	153,27
0,289	190,21	1,21	0,534	155,31
0,334	219,83	1,40	0,617	157,31
0,380	250,10	1,59	0,702	159,35
0,425	279,72	1,78	0,785	161,34



Lampiran 4. Listing Program Arduino

```
#define S OCR1A //mega pin 11
int setpoint; //inisialisasi setpoint
int sensor; //inisialisasi sensor putaran
float duty, err, ut, errx;
float kp=4, ki=1; //koefisien
void setup() {
  pinMode(A0,INPUT);
  DDRB=(1<<DDB7) | (1<<DDB6) | (1<<DDB5) | (0<<DDB4) | (0<<DDB3) |
(0<<DDB2) | (0<<DDB1) | (0<<DDB0);
  PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) |
(0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);

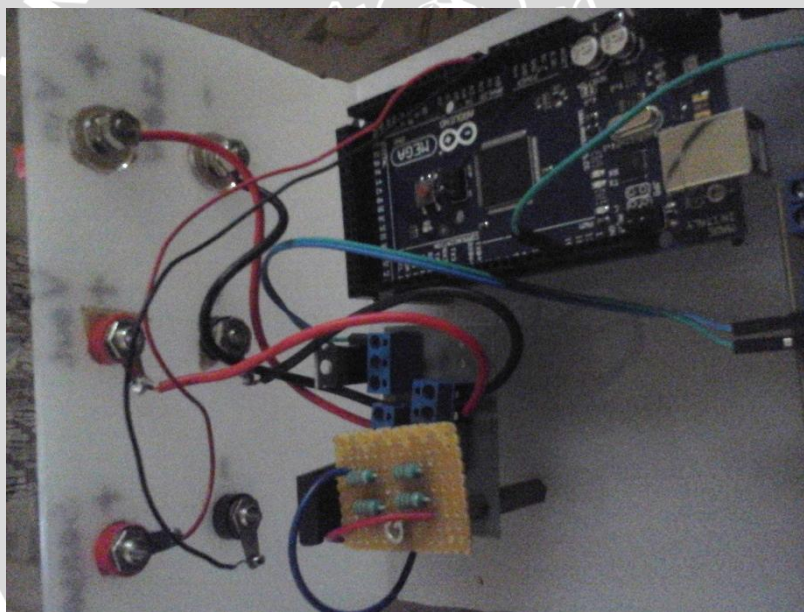
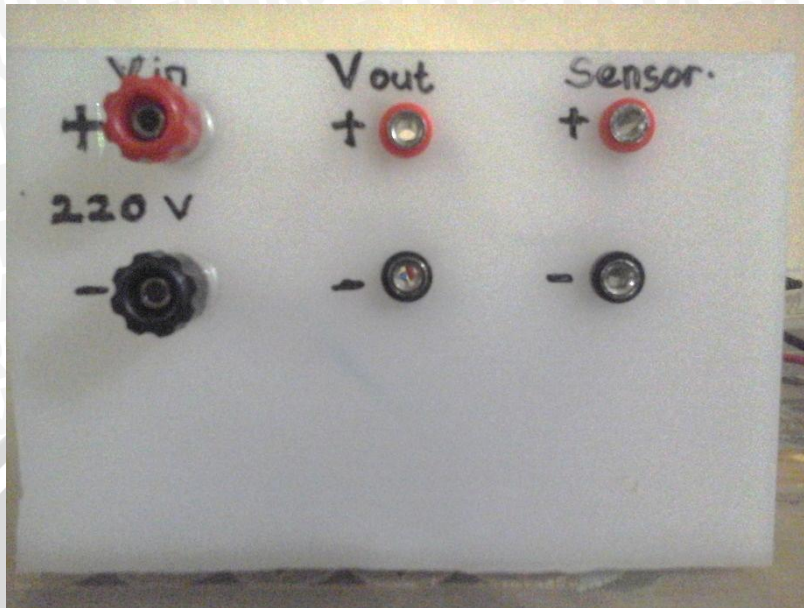
  TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (1<<COM1B1) | (0<<COM1B0) |
(1<<COM1C1) | (0<<COM1C0) | (0<<WGM11) | (0<<WGM10);
  TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (1<<WGM13) | (0<<WGM12) | (0<<CS12) |
(0<<CS11) | (1<<CS10);

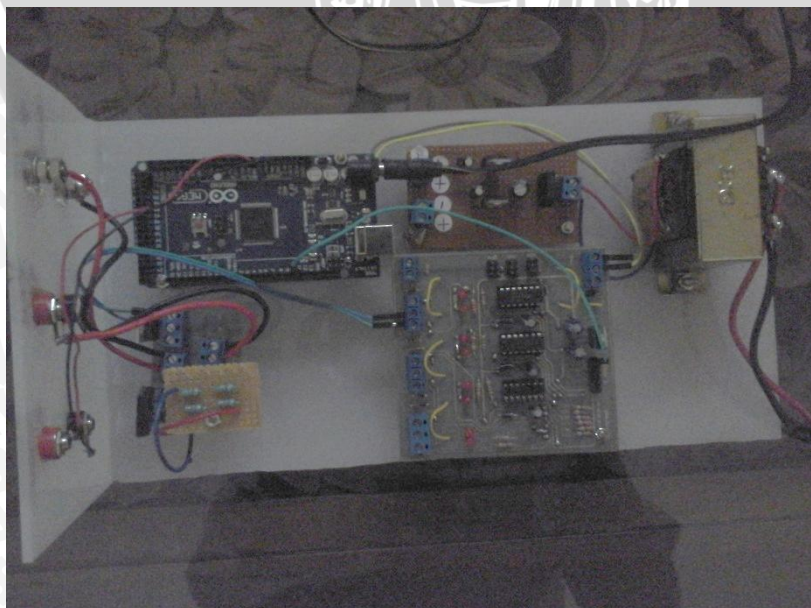
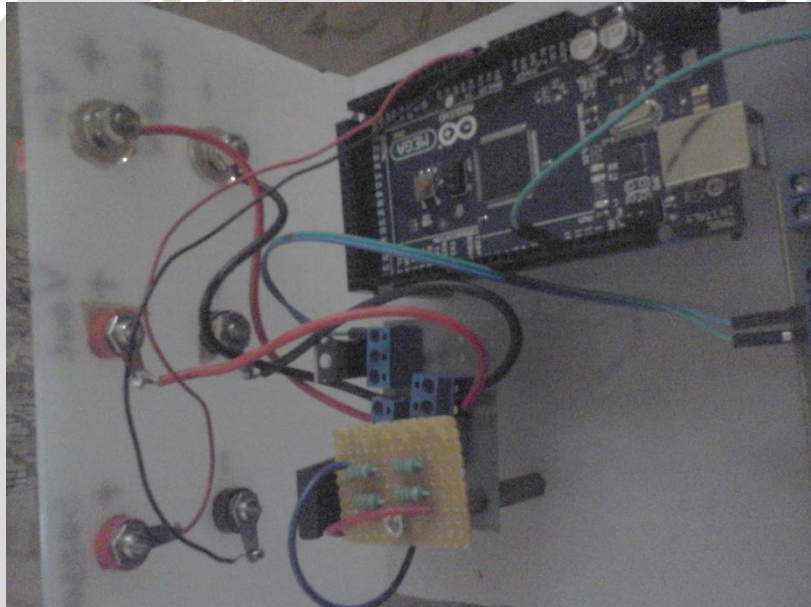
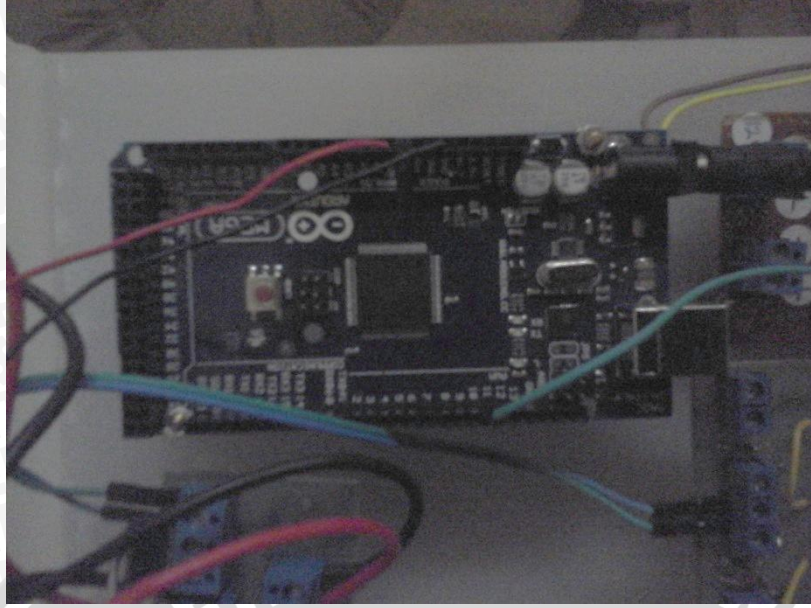
  ICR1=200; //TOP untuk frekuensi 40kHz dengan metode phase PWM
}

void loop() {
  setpoint=306,9; //adc untuk setpoint dengan perhitungan 1,5 volt untuk setpointnya
  sensor=analogRead (A0); //pembacaan sensor pada pin A0 di MK
  err=setpoint-sensor; //pembacaan eror pada sensor putaran
  ut=kp*err+ki*(err-errx);
  errx=err;
  duty=duty+(float)ut/1023; //pembacaan duty cycle yang dibaca oleh MK
  S=duty*200/1023; //penambahan atau pengurangan duty cycle
}
```

Lampiran 5. Dokumentasi

1. Rangkaian pengujian *Buck Converter*





UNIVERSITAS BRAWIJAYA

