



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR–EE 184801

RANCANG BANGUN MODUL *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK PENYIMPANAN ENERGI PADA SISTEM ENERGI TERBARUKAN

Syarofan Zulfahmi
NRP 07111440000170

Dosen Pembimbing
Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D
Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR–EE 184801

RANCANG BANGUN MODUL *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK PENYIMPANAN ENERGI PADA SISTEM ENERGI TERBARUKAN

Syarofan Zulfahmi
NRP 07111440000170

Dosen Pembimbing
Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D
Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT–EE 184801

**DESIGN OF MICROCONTROLLER BASED
BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER MODULE
FOR ENERGY STORAGE IN RENEWABLE
ENERGY SYSTEMS**

Syarofan Zulfahmi
NRP 07111440000170

Advisors
Astria Nur Irfansyah, S.T.,M.Eng.,Ph.D
Vita Lystianingrum B.P., S.T.,M.Sc.,Ph.D

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Rancang Bangun Modul *Bidirectional DC-DC Converter* Berbasis Mikrokontroler untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Energi Terbarukan**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, 17 Januari 2020



Syarofan Zulfahmi
07111440000170

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

**RANCANG BANGUN MODUL *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER
UNTUK PENYIMPAN ENERGI PADA SISTEM
ENERGI TERBARUKAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

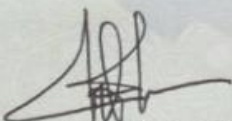
Pada

Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

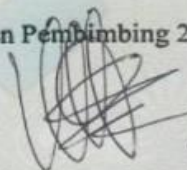
Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,



Astria Nur Irfansyah, Ph.D
NIP. 198103252010121002



Vita Lystianingrum B.P., Ph.D
NIP. 198208292006042001

20/1/2020



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

RANCANG BANGUN MODUL *BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK PENYIMPAN ENERGI PADA SISTEM ENERGI TERBARUKAN

Nama : Syarofan Zulfahmi
Pembimbing 1 : Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D
Pembimbing 2 : Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Seiring dengan naiknya kebutuhan energi listrik serta naiknya tingkat emisi gas CO₂ maka permintaan akan energi terbarukan semakin naik guna mengurangi emisi serta memenuhi kebutuhan energi listrik. Sumber energi baru terbarukan adalah Sel Surya dan Turbin Angin sering menghadapi permasalahan fluktuasi daya yang diakibatkan oleh kondisi di alam sehingga daya yang dibangkitkan tidak konstan. Untuk menanggulangi permasalahan ini maka diperlukan sistem penyimpanan energi yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik pada saat kelebihan energi listrik dari pembangkit dan akan mengeluarkan energi listrik untuk mencukupi kebutuhan beban. *Bidirectional DC-DC Converter* merupakan konverter daya DC yang dapat bekerja secara dua arah antara bus daya DC dan sistem penyimpanan energi. Kontroler *Bidirectional DC-DC Converter* pada perancangan ini menggunakan *board* Arduino Uno. Transistor MOSFET dibantu dengan IC *gate driver* IR2110. Sensor tegangan dan transducer arus berfungsi membaca tegangan dan arus yang akan diumpanbalikan ke arduino uno. Hasil Percobaan pada mode *Buck* dengan *set point* 14.8V tegangan *input* 24V didapatkan tegangan tegangan *output* 14.86V dengan efisiensi daya 90.71% dengan kontroler *proporsional* dengan gain sebesar 11. Sedangkan pada mode *Boost* dengan *set point* 24V tegangan *input* 15V mendapatkan tegangan *output* sebesar 24.1V dengan efisiensi daya 89.83% dengan kontroler *proporsional* dengan gain sebesar 4.5. Baik hasil dari mode *buck* dan mode *boost* berhasil mendapatkan nilai ouput yang mendekati dengan *set point* dengan efisiensi daya yang cukup baik pada rentang 89%-90% di kedua mode.

Kata kunci: *Bidirectional DC-DC Converter, Arduino Uno, IR2110.*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

**DESIGN OF MICROCONTROLLER BASED
BIDIRECTIONAL DC-DC CONVERTER MODULE FOR
ENERGY STORAGE IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

Name : Syarofan Zulfahmi
Advisor 1 : Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D
Advisor 2 : Vita Lystianingrum B.P., S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Along with the increasing need for electrical energy and rising levels of CO₂ gas emissions, the demand for renewable energy is increasing in order to reduce emissions and meet the needs of electrical energy. New renewable energy sources are Solar Cells and Wind Turbines often face the problem of power fluctuations caused by conditions in nature so that the power generated is not constant. To overcome this problem, an energy storage system is needed to function to store electricity when excess electricity from the power plant and will release electrical energy to meet load requirements. Mid-DC DC Converter is a DC power converter that can work both ways between the DC power bus and the energy storage system. The Bidirectional DC-DC Converter controller in this design uses an Arduino Uno board. MOSFET transistors are assisted with IR2110 gate driver IC. Voltage sensor and current transducer function to read voltage and current to be fed back to Arduino Uno. Experiment results in Buck mode with a set point of 14.8V 24V input voltage obtained output voltage 14.86V with 90.71% power efficiency with proportional controller with a gain of 11. While in Boost mode with a set point of 24V the input voltage of 15V gets an output voltage of 24.1V with power efficiency 89.83% with proportional controller with a gain of 4.5. Both the results of the buck mode and boost mode managed to get an output value close to the set point with a fairly good power efficiency in the range of 89% -90% in both modes.

Keywords: *Bidirectional DC-DC Converter, Arduino Uno, IR2110*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

KATA PENGANTAR

Puji Saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Modul Bidirectional DC-DC Converter Berbasis Mikrokontroler untuk Penyimpan Energi pada Sistem Energi Terbarukan”**. Pembuatan tugas akhir ini ditujukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi sarjana program Strata-Satu di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis tentu mendapatkan banyak bantuan serta doa dalam penyusunan dan penyelesaian laporan tugas akhir ini. Maka dari itu, dengan hormat dan rendah diri, penulis sampaikan terima kasih sebesar besarnya kepada:

1. Kepada Bapak Ir. M Zainul Arifin M.T., dan Ibu Sutriani Sebagai orang tua penulis yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
2. Kepada Bapak Astria Nur Irfansyah, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia untuk mendidik dan mengarahkan penulis.
3. Kepada Ibu Vita Lystianingrum, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan masukan untuk penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
4. Kepada Bapak Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen wali Penulis.
5. Kepada Kepala Departemen Teknik Elektro dan seluruh dosen yang mengajar di Fakultas Teknologi Elektro.
6. Teruntuk teman-teman mahasiswa bidang studi elektronika terutama anggota Lab B202.

Akhir kata, besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi elektronika. Oleh karena itu penulis menerima segala bentuk saran, masukan, ataupun kritik yang membangun demi terciptanya kesempurnaan dalam laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 17 Januari 2020

Penulis

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
BAB 2 DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Bidirectional DC-DC Converter</i>	7
2.2.1 Mode <i>Buck</i>	9
2.2.2 Mode <i>Boost</i>	11
2.2 Perancangan Kontroler	12
2.2.1 Arduino Uno	13
2.2.2 <i>Gate Driver IR2110</i>	14
2.2.3 <i>Control Loop</i>	15
2.3 Sensor dan <i>Transducer</i>	17
2.3.1 ACS712.....	17
2.3.2 <i>Voltage Divider</i>	18
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM	21

3.1	Perancangan Rangkaian <i>Bidirectional DC-DC Converter</i>	21
3.1.1	Perancangan Rangkaian <i>Bidirectional DC-DC Converter</i>	22
3.1.2	Perancangan MOSFET dan <i>Gate Driver IR2110</i>	26
3.2	Perancangan <i>Sensor dan Transducer</i>	28
3.2.1	Perancangan Sensor Tegangan <i>Voltage Divider</i>	29
3.2.2	Perancangan <i>Transducer</i> Arus ACS712	30
3.3	Perancangan <i>Kontroller</i>	31
3.3.1	Antarmuka Sensor <i>Transducer</i> dengan <i>Arduino</i>	32
3.3.2	Pembacaan <i>Analog to Digital Converter</i>	32
3.3.3	Pembangkitan <i>PWM</i>	33
3.3.4	<i>Feedback Control Loop</i>	34
3.3.5	Proses <i>Tuning</i> <i>Kontroller PID</i>	35
BAB 4	PENGUJIAN DAN ANALISA	41
4.1	Pengujian <i>Sensor, Transducer</i> , dan <i>ADC</i>	42
4.1.1	Pengujian <i>Analog To Digital Converter</i>	42
4.1.2	Pengujian Sinyal <i>PWM</i> dan <i>Gate Driver IR2110</i>	45
4.2	Pengujian <i>Bidirectional DC-DC Converter</i>	47
4.2.1	Pengujian Mode <i>Buck</i>	47
4.2.2	Pengujian Mode <i>Boost</i>	53
4.3	Analisis Pengujian.....	61
4.3.1	Analisis <i>Sensor</i>	61
4.3.2	Analisis <i>Konverter</i>	61
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
	DAFTAR PUSTAKA.....	69
	LAMPIRAN A-LISTING PROGRAM.....	71

LAMPIRAN B-DATASHEET	77
BIODATA PENULIS.....	89

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Sederhana Konverter	7
Gambar 2.2 Penempatan Modul Konverter.....	8
Gambar 2.3 Rangkaian Pengganti Mode Buck	9
Gambar 2.4 Rangkaian Pengganti Mode Boost.....	12
Gambar 2.5 Board Arduino Uno	13
Gambar 2.6 Contoh penggunaan IR2110	14
Gambar 2.7 Blok Fungsional IR2110	15
Gambar 2.8 Sistem Closed Loop Feedback Control	17
Gambar 2.9 Blok Fungsional Hall Effect Sensor ACS712	18
Gambar 2.10 Sensor Voltage Divider	19
Gambar 3.1 Skema Sistem Keseluruhan	21
Gambar 3.2 Antarmuka PWM Arduino IR2110	27
Gambar 3.3 Rangkaian IR2110 dan MOSFET	28
Gambar 3.4 Rangkaian Voltage Divider	30
Gambar 3.5 Rangkaian ACS712	31
Gambar 3.6 Pin ACS712.....	31
Gambar 3.7 Antarmuka Sensor-Pin Analog Arduino.....	32
Gambar 3.8 Prescaler Clock Timer	34
Gambar 3. 9 Register TCCR1B Timer1	34
Gambar 3.10 Rangkaian Konverter.....	37
Gambar 3.11 Rangkaian Arduino Uno.....	38
Gambar 4.1 Implementasi Modul Konverter	41
Gambar 4.2 Grafik Voltage Divider.....	44
Gambar 4.3 Grafik Transducer Arus.....	45
Gambar 4.4 Sinyal PWM Arduino	46
Gambar 4.5 Sinyal PWM IR2110	46
Gambar 4.6 Grafik Mode Buck 1	48
Gambar 4. 7 Grafik Mode Buck 2.....	49
Gambar 4.8 Sinyal PWM tanpa Beban	49
Gambar 4.9 Sinyal PWM dengan Beban	50
Gambar 4.10 Pengukuran Tegangan Induktor	50
Gambar 4.11 Sinyal Tegangan Induktor 1	51
Gambar 4.12 Pengukuran Tegangan Induktor 2	51
Gambar 4.13 Sinyal Tegangan Induktor 2	52

Gambar 4.14	<i>Ripple</i> Tegangan Mode <i>Buck</i>	52
Gambar 4.15	Grafik Mode Boost 1	54
Gambar 4.16	Grafik Mode Boost 2	54
Gambar 4.17	Grafik Mode Boost 4	56
Gambar 4.18	Grafik Mode Boost 3	56
Gambar 4.19	Grafik Mode Boost 5	57
Gambar 4.20	Sinyal PWM tanpa Tegangan	58
Gambar 4.21	Sinyal PWM dengan Beban	58
Gambar 4.22	Pengukuran Tegangan Induktor 1	59
Gambar 4.23	Sinyal Tegangan Induktor 1	59
Gambar 4.24	Pengukuran Tegangan Induktor 2	60
Gambar 4.25	Sinyal Tegangan Induktor 2	60
Gambar 4.26	<i>Ripple</i> Tegangan Mode <i>Boost</i>	61

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek Kenaikan Parameter PID	16
Tabel 3.1 Tabel Parameter Konverter	22
Tabel 4.1 Penugujian Sensor Tengan	42
Tabel 4.2 Pengujian Transducer Arus ACS712	44
Tabel 4.3 Pengujian Mode Buck 1	47
Tabel 4.4 Pegujian Mode Buck 2	48
Tabel 4.5 Pengujian Mode Boost 1	53
Tabel 4.6 Pengujian Mode Boost 2	53
Tabel 4.7 Pengujian Mode Boost 3	55
Tabel 4.8 Pengujian Mode Boost 4	55
Tabel 4.9 Pengujian Mode Boost 5	57

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim telah menjadi isu di berbagai negara di dunia. Kebutuhan akan energi yang disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk dan semakin banyaknya permintaan energi listrik serta di sisi lain cadangan bahan bakar fosil semakin menurun, serta semakin naiknya suhu bumi akibat efek gas rumah kaca. Maka, sumber energi baru terbarukan semakin banyak dipilih untuk mengurangi ketergantungan akan sumber energi bahan bakar fosil dan dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan energi serta dalam rangka mengendalikan dampak perubahan iklim[1], [2]. Sumber energi baru terbarukan seperti sel surya (*photovoltaic*) dan turbin angin merupakan sumber energi yang penggunaannya berkembang pesat[3]. Namun, pembangkit listrik tenaga surya dan tenaga angin sangat bergantung pada kondisi cuaca sehingga, pembangkit listrik ini rawan terjadi fluktuasi daya sehingga, daya disalurkan pada DC Bus tidak akan konstan[4]. Untuk mengatasi fluktuasi daya maka pada pembangkit energi perlu menggunakan sistem penyimpanan energi (*energy storage system*). Sistem penyimpanan energi ini akan mengisi energi listrik apabila terjadi kelebihan daya untuk beban dan akan mengeluarkan energi listrik apabila energi yang dibangkitkan pembangkit kurang dari kebutuhan daya beban, sehingga daya yang disalurkan pada beban menjadi konstan.

Bidirectional DC-DC Converter merupakan konverter daya yang diperlukan oleh sistem penyimpanan daya agar dapat bekerja mengisi dan mengeluarkan energi listrik. Pada tugas akhir ini *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan kontroler utama yaitu board arduino uno yang berbasis mikrokontroler Atmega328. Arduino uno berfungsi untuk membangkitkan sinyal PWM dan mengatur mode kerja modul *Bidirectional DC-DC Converter*. Modul *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan transistor MOSFET IRF530 sebagai transistor *switching* baik untuk transistor mode *Buck* dan transistor mode *Boost*. Transistor Mosfet dibantu dengan IC *gate driver* IR2110 yang akan menyalurkan sinyal PWM yang dibangkitkan oleh arduino.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan rangkaian modul *Bidirectional DC-DC Converter* sesuai dengan kebutuhan daya 15W.
2. Bagaimana merancang *Bidirectional DC-DC Converter* dengan sistem penyimpanan energi yang sesuai dengan kriteria tegangan bus DC pada 24V.
3. Bagaimana *Bidirectional DC-DC Converter* agar dapat bekerja baik pada mode buck dan mode boost.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini difokuskan kepada *Bidirectional DC-DC Converter* yang dapat mengisi dan mengeluarkan energi dari Penyimpan Energi.
2. Merancang Modul *Bidirectional DC-DC Converter* Berbasis Mikrokontroler ini menggunakan Arduino Uno yang berbasis Atmega 328p.
3. Merancang Rangkaian *Gate Driver* menggunakan ic IR2110 untuk transistor *switching*.
4. Merancang rangkaian sensor arus dan tegangan yang diumpan balik ke mikrokontroler sehingga dapat mendeteksi kelebihan dan kekurangan daya pada beban.
5. Pengujian dilakukan menggunakan *Power Supply Unit* berjenis *Switch Mode Power Supply* (SMPS) dengan rating 36V 5A DC sebagai sumber tegangan dibantu dengan *Buck Converter* untuk menurunkan tegangan dengan rentang 12V-25V.

1.4 Tujuan

Tujuan dari diadakannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan modul rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dengan kontroler berbasis mikrokontroler.
2. Merancang kontroler untuk *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan board arduino uno.

1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan pengkajian terhadap desain rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* beserta kontrolernya yang akan dibangun serta mengumpulkan berbagai referensi dan melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing. Referensi diambil dari berbagai sumber, diantaranya jurnal, buku teks, artikel konferensi, datasheet komponen dan berita dari kantor berita terkenal.

2. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap persiapan Alat dan Bahan ini melakukan pengumpulan mengenai konsep yang dibutuhkan. Setelah menemui konsep perancangan yang tepat, maka selanjutnya dilakukan pengumpulan alat dan bahan yang digunakan.

3. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahapan ini dilakukan perancangan dan perealisasiian perangkat keras yang terdiri atas rangkaian utama *board* Arduino uno, *gate driver* IR2110, transistor *switching*.

4. Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan secara bertahap dan dilakukan pada masing-masing bagian. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisis permasalahan yang timbul. Pertama dilakukan pengujian terhadap perangkat lunak, dimana program yang sudah dibuat untuk diuji terlebih dahulu sebelum diterapkan ke dalam perangkat keras. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian terhadap perangkat keras, dimulai dari rangkaian mikrokontroler, rangkaian sensor dan *transducer*. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kehandalan perangkat dalam melakukan fungsi utamanya.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahap terakhir ini dilakukan penulisan laporan tugas yang bertujuan sebagai bentuk pertanggungjawaban dan dokumentasi dari pengerjaan tugas. Laporan tugas akhir terdiri pendahuluan, teori penunjang yang digunakan, perancangan sistem, pengujian sistem, dan penutup yang terdiri atas kesimpulan dan saran serta daftar pustaka dari referensi-referensi yang sudah digunakan selama pengerjaan tugas.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan pada laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pertama akan dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah dan batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi tugas akhir.

BAB 2 TEORI PENUNJANG

Bab kedua membahas tentang dasar teori dan menjabarkan beberapa literatur yang digunakan untuk menunjang penyelesaian tugas akhir.

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Bab ketiga berisi tentang perancangan sistem yang dijelaskan secara detail, seperti desain rangkaian modul dan controller arduino uno.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab keempat ini berisi tentang pemaparan hasil pengujian perangkat serta pengambilan data. Setiap pengujian dianalisa yang berkaitan.

BAB 5 PENUTUP

Bab kelima ini membahas tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir dan disertakan beberapa saran yang berguna untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7 Relevansi

Hasil akhir dari tugas akhir ini diharapkan dapat membantu menghasilkan daya yang relatif konstant sesuai dengan kebutuhan daya yang diperlukan beban. Serta modul dapat diaplikasikan untuk pengembangan riset kedepanya.

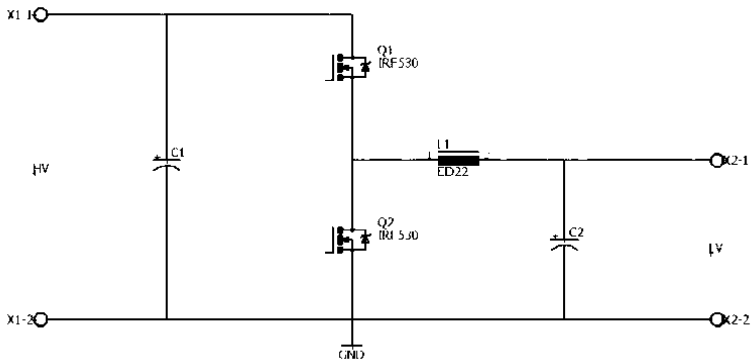
.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB 2 DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan dibahas mengenai landasan dan teori-teori dasar yang menunjang dalam pembuatan tugas akhir ini. Bab ini juga berisikan dasar-dasar rangkaian pada modul *bidirectional dc-dc converter*. Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* beserta bagaimana kerja, mekanisme sistem kontrol, serta pemakaian sensor yang akan dipakai.

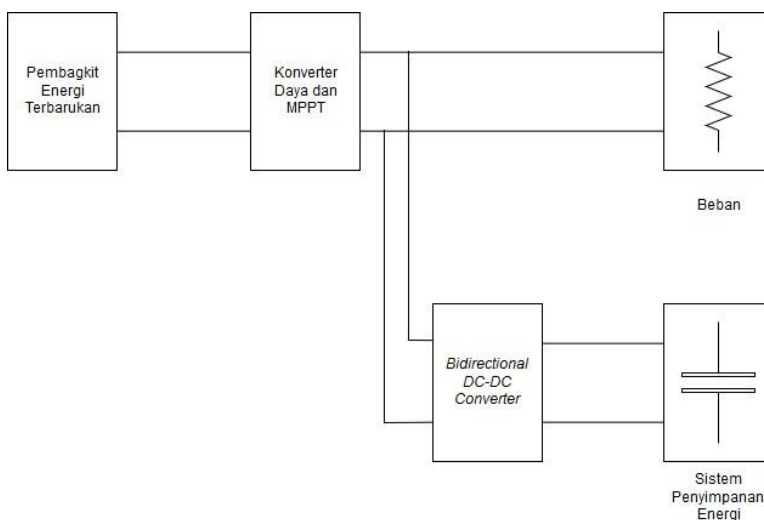
2.1 *Bidirectional DC-DC Converter*



Gambar 2.1 Rangkaian Sederhana Konverter

Bidirectional DC-DC Converter merupakan salah satu jenis konverter untuk daya DC. Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* (gambar 2.1) memiliki dua transistor *power MOSFET*, dua dioda *power* yang dipasang secara paralel dengan transistor mosfer, satu buah induktor dan kapasitor pada sisi HV dan LV. Sisi HV merupakan sisi yang memiliki tegangan lebih besar dari sisi LV, sebaliknya sisi LV merupakan sisi yang memiliki tegangan lebih kecil daripada sisi HV. *Bidirectional DC-DC Converter* memiliki kemampuan bekerja dengan dua arah dengan mengalirkan daya dari sisi HV ke sisi LV dan sebaliknya dapat bekerja dengan mengalirkan daya dari sisi LV ke sisi HV konverter.

Bidirectional DC-DC Converter bekerja dengan dua mode: yaitu mode *Buck* dan mode *Boost*. Mode *Buck* merupakan mode yang bekerja dengan menghasilkan *output* tahanan lebih rendah daripada tegangan *input*. Pada mode *Buck* daya pada sisi HV akan mengalir ke sisi LV, mode *Buck* mengkonversi tegangan *input* pada sisi LV menjadi tegangan output yang lebih kecil pada sisi LV. Mode *Boost* merupakan mode yang bekerja untuk menghasilkan tegangan output lebih tinggi daripada tegangan *input*. Pada mode *Boost* daya pada sisi LV akan mengalir ke sisi HV, mode *Boost* mengkonversi tegangan *input* pada sisi LV menjadi tegangan output lebih besar di sisi HV.

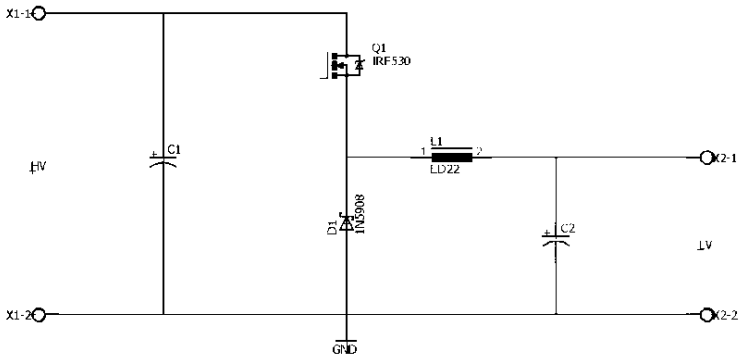


Gambar 2.2 Penempatan Modul Konverter

Kemampuan *Bidirectional DC-DC Converter* yang dapat bekerja secara dua arah ini akan membantu pada sistem pembangkit energi terbarukan. Daya yang dibangkitkan pembangkit energi terbarukan sangat tergantung pada kondisi alam sehingga pasokan daya listrik perlu dibantu dengan penyimpanan energi. Dengan adanya *Bidirectional DC-DC Converter* kelebihan energi dapat disimpan dengan menggunakan penyimpan energi seperti baterai atau superkapasitor, dan pada saat beban kekurangan daya dapat dibantu dengan energi yang telah tersimpan di dalam baterai atau superkapasitor (gambar 2.2). *Bidirectional DC-DC Converter* akan bekerja pada mode *Buck* ketika pada sisi HV yang

terhubung dengan Bus DC memiliki kelebihan daya, kelebihan daya ini dapat disimpan di penyimpanan energi. Kelebihan energi yang disimpan di penyimpanan energi akan sangat bermanfaat ketika terjadi kekurangan daya yang dibangkitkan. Pada saat ini maka *Bidirectional DC-DC Converter* dapat bekerja pada mode *Boost*. Mode *Boost* akan mengalirkan daya dari penyimpanan energi pada sisi LV menjadi tegangan yang lebih besar pada sisi HV yang terhubung dengan Bus DC[4].

2.2.1 Mode *Buck*



Gambar 2.3 Rangkaian Pengganti Mode *Buck*

Mode *Buck* merupakan mode pada *Bidirectional DC-DC Converter* yang bekerja untuk mengkonversi tegangan *input* menjadi tegangan yang lebih rendah pada tegangan *output*. Pada mode *Buck* daya akan mengalir dari sisi HV ke sisi LV. Mode *Buck* akan bertugas untuk menyimpan kelebihan daya pada sisi HV yang akan disimpan ke penyimpanan energi pada LV.

Pada mode *Buck* rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dapat diganti menjadi rangkaian *Buck Converter* pengganti sederhana. Rangkaian pengganti mode *Buck* menggunakan transistor MOSFET Q1 sebagai transistor sakelar, transistor MOSFET Q2 sebagai pengganti dioda, induktor L, dan kapasitor pada kedua sisi *input* dan -nya. Proses pada mode *Buck* terjadi dua kondisi yaitu kondisi pada saat transistor Q1 konduksi dan kondisi transistor Q1 tidak konduksi(gambar 2.3)[5].

Saat transistor Q1 konduksi maka perubahan arus dan perubahan waktu dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$di = \Delta I = I_2 - I_1 \quad (1)$$

$$dt = t_{on} = t_1 - t_0 \quad (2)$$

Dan saat transistor Q1 tidak konduksi maka perubahan arus dan perubahan waktu dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$di = -\Delta I = -I_1 - I_2 \quad (3)$$

$$dt = t_{off} = t_2 - t_1 \quad (4)$$

Pola penyakelaran (*switching*) transistor Q1 dapat didefinisikan sebagai rasio interval waktu Q1 konduksi dan lama waktu periode sistem yang disebut dengan *duty cycle* k.

$$K = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (5)$$

$$t_{on} = k \cdot T \quad (6)$$

$$t_{off} = (1 - K) \cdot T \quad (7)$$

Menurut hukum kirchoff, saat transistor Q1 konduksi maka tegangan sumber merupakan jumlah dari seluruh tegangan beban sehingga dapat ditulis dengan persamaan:

$$V_s = V_L + V_R \quad (8)$$

Timbulnya tegangan pada induktor V_L akibat arus yang mengalir pada induktor L didefinisikan sebagai berikut:

$$V_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (9)$$

Dengan demikian, persamaan dari tegangan induktor V_L dapat disubstitusi kedalam persamaan hukum kirchoff, sehingga persamaan saat Q1 konduksi dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_s = L \cdot \frac{\Delta I}{t_{on}} + V_R \quad (10)$$

Pada saat kondisi Q1 tidak konduksi, kondisi dimana Q1 tidak konduksi menyebabkan tegangan sumber terpisah, induktor sebagai sumber energi berupa sumber tegangan, dioda pada mosfet Q2 akan konduksi, dengan demikian sesuai hukum kirchoff persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_L = V_R \quad (11)$$

Atau dapat dituliskan sebagai berikut.

$$L \cdot \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_R \quad (12)$$

Dari kedua kondisi Q1 konduksi dan Q1 tidak konduksi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kondisi Q1 konduksi --- } V_S = \frac{L\Delta I}{t_{off}} + V_R \quad (13)$$

$$\text{Kondisi Q1 tidak konduksi --- } L\Delta I = V_R t_{off} \quad (14)$$

Hasil substitusi dari kedua persamaan saat Q1 konduksi (Persamaan 2.1.9) dan persamaan saat Q1 tidak konduksi (Persamaan 2.1.10) didapatkan:

$$V_S = V_R \cdot \frac{t_{off}}{t_{off}} + V_R \quad (15)$$

$$V_S = V_R \left(1 + \frac{t_{off}}{t_{on}}\right) \quad (16)$$

$$V_R = k \cdot V_S \quad (17)$$

2.2.2 Mode *Boost*

Mode *Boost* merupakan mode pada *Bidirectional DC-DC Converter* yang bekerja untuk mengkonversi tegangan *input* menjadi tegangan yang lebih besar pada tegangan *output*. Pada mode *Boost* daya akan mengalir dari sisi LV ke sisi HV. Mode *Boost* akan bertugas untuk menambah daya pada Bus DC saat Bus DC kekurangan daya listrik dengan menggunakan energi listrik yang telah disimpan pada saat terjadi kelebihan energi.

Pada mode *Boost* rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dapat diganti menjadi rangkaian *Boost Converter* pengganti sederhana. Secara sederhana mode *Boost* menggunakan transistor MOSFET Q2 sebagai sakelar, Transistor Mosfer Q1 sebagai pengganti dioda, induktor L, dan kapasitor di kedua sisi (gambar 2.4). Proses *switching* pada mode *Boost* terjadi dua kondisi di mana saat Q2 konduksi dan kondisi Q2 tidak konduksi[5].

Pada saat Q2 konduksi maka induktor akan terhubung-singkat dengan tegangan sumber. Persamaan tegangan sumber dengan pengisian energi di dalam induktor dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_S = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (18)$$

Karena sakelar Q2 konduksi selama t_{on} dan proses pengisian daya linier maka persamaan diatas dapat disubstitusi menjadi:

$$V_S = L \cdot \frac{\Delta I}{t_{on}} \quad (19)$$

Diubah menjadi bentuk lain:

$$L\Delta I = V_S \cdot t_{on} \quad (20)$$

Saat Q2 tidak konduksi maka rangkaian beban akan terhubung dengan rangkaian tegangan sumber dan induktor. Induktor yang

mengisi energi dengan arus listrik akan berganti mengeluarkan energi dalam bentuk arus listrik. Pada saat kondisi ini maka beban mendapatkan tegangan dari sumber tegangan V_S ditambah dengan tegangan dari induktor L saat melepaskan energi. Kondisi ini dapat diasumsikan beban dicatu oleh dua sumber tegangan yang diseri. Sehingga tegangan *output* mode *boost* ini lebih besar dari tegangan *input*. Saat saklar Q_2 tidak konduksi dalam waktu t_{off} , sehingga persamaannya didapatkan:

$$V_S + L \cdot \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_R \quad (21)$$

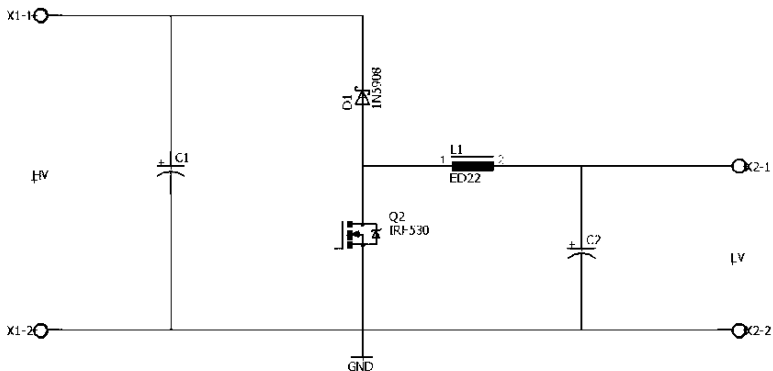
Persamaan saat Q_2 konduksi (Persamaan 2.2.3) dapat disubstitusi kedalam persamaan saat Q_2 tidak konduksi (Persamaan 2.2.4) sehingga dihasilkan persamaan:

$$V_R = V_L \frac{t_{on}}{t_{off}} + V_R \quad (22)$$

$$V_R = V_S \cdot \left(1 - \frac{t_{on}}{t_{off}}\right) \quad (23)$$

Dari persamaan 21, 22, dan 23 didapatkan hasil akhir persamaan konverter *boost*.

$$V_R = V_S \frac{1}{1-K} \quad (24)$$



Gambar 2.4 Rangkaian Pengganti Mode Boost

2.2 Perancangan Kontroler

Kontroler utama pada rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* adalah arduino uno. Arduino uno sebagai kontroler utama berfungsi untuk membaca sensor dan membangkitkan sinyal kontrol

PWM. Sinyal PWM yang dibangkitkan oleh arduino uno perlu dikuatkan lagi dengan bantuan IC *gate driver* IR2110. *Output* dari IC IR2110 akan menggerakkan transistor MOSFET IRF530 sebagai saklar baik sisi *high side* dan sisi *low side*.

2.2.1 Arduino Uno

Arduino uno merupakan board mikrokontroller berbasis Atmega328p(gambar 2.5). Mikrokontroller Atmega328p merupakan mikrokontroller CMOS 8 bit berarsitektur AVR. Memiliki *program memory flash memory* sebesar 32Kb, EEPROM 1Kb, 2Kb SRAM, 6 channel 10 bit *Analog-to-digital Converter*. 3 buah mode *Timer*, mendukung komunikasi serial USART, komunikasi Master/Slave SPI, Komunikasi I²C. Board mikrokontroller ini diprogram oleh software integrated developer environment Arduino IDE yang relatif mudah digunakan oleh pemula dan menggunakan bahasa arduino yang merupakan sintaks bahasa C++ yang disederhanakan dari program C++ mikrokontroller biasa[6][7].

Analog to Digital Converter



Gambar 2.5 Board Arduino Uno

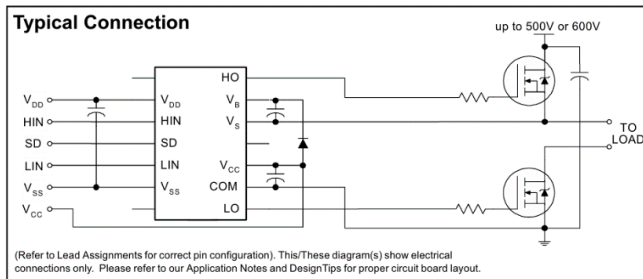
(Sumber : <http://www.amazon.com>)

Mikrokontroler Atmega328p memiliki *Analog to Digital Converter(ADC)* dengan resolusi 10-bit bertipe *successive approximation*[7]. ADC berfungsi untuk membaca sensor-sensor yang memiliki output sinyal *analog* antara lain: sensor tegangan *voltage divider* dan sensor arus ACS712. ADC akan mengkonversi sinyal *analog* menjadi bilangan binary didalam mikrokontroler sehingga dapat melakukan operasi matematis dan menentukan nilai dari sensor.

Timer/Counter

Timer/Counter merupakan fitur yang tersedia di dalam mikrokontroler Atmega 328p. Counter merupakan rangkaian yang dapat berfungsi sebagai pencacah untuk masuknya jumlah event yang masuk ke dalam mikrokontroler. Timer berfungsi untuk mencacah pulsa clock baik clock internal maupun pulsa clock eksternal mikrokontroler serta melakukan *prescaling* frekuensi pulsa[7]. Penggunaan Timer/Counter pada rangkaian ini adalah untuk membangkitkan sinyal PWM yang merupakan sinyal *analog*. Sinyal PWM kemudian Masuk pada *input gate driver* IR2110. *Output* IR2110 akan masuk pada pin *gate* pada transistor Mosfet IR2110.

2.2.2 Gate Driver IR2110



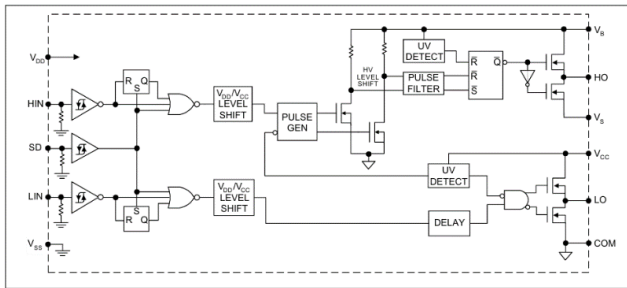
Gambar 2.6 Contoh penggunaan IR2110

Sumber: International Rectifier IR2110/2113 Datasheet

Gate driver merupakan IC yang bertugas untuk menggerakkan transistor MOSFET atau IGBT dengan sinyal PWM yang *diinputkan*. Peran *gate driver* berfungsi untuk menjadi buffer sinyal PWM yang *di-inputkan* sekaligus menaikkan tegangannya. Proses penggerakan *gate* pada transistor MOSFET memerlukan arus karena *Gate* MOSFET memiliki nilai kapasitansi(gambar 2.6). Kapasitansi ini memerlukan sejumlah muatan yang diperlukan untuk menyalakan MOSFET.

Gate Driver IR2110 merupakan *gate driver High Side* dan *Low Side driver* dengan memiliki dua *input PWM* yang tidak saling bertautan antara *PWM High Side* dan *PWM Low Side* serta memiliki *Output* untuk Transistor *High Side* dan Transistor *Low Side*(gambar 2.7). *Gate Driver IR2110* kompatibel dengan *input logic* baik LS-TTL ataupun CMOS. Arus *Output* sampai dengan 2.5A (Peak). Serta mendukung *Bootstrapping* untuk Transistor *High Side*[8].

Functional Block Diagram



Gambar 2.7 Blok Fungsional IR2110

Sumber: International Rectifier IR2110/2113 Datasheet

2.2.3 Control Loop

Feedback Control Loop merupakan mekanisme yang bertujuan untuk mengontrol *output* tegangan sesuai dengan set point yang ditentukan serta untuk meregulasi *output* tegangan dengan kondisi nilai beban atau tegangan *input* yang berubah-ubah. *Feedback control loop* ini menggunakan mekanisme *closed loop*. Istilah *closed loop* ini selalu menggunakan *negative feedback* untuk mencapai tujuannya yaitu mengurangi nilai galat pada *output* dan mencapai nilai sesuai *set point*(gambar 2.8).

Mekanisme *negative feedback* ini memerlukan nilai tegangan dan/atau arus output dari konverter yang diukur oleh sensor atau *transducer* yang ditaruh kemudian diumpan balik ke controller utama. Untuk plant yang berupa konverter elektronika daya nilai yang diukur oleh sensor pada *output* konverter akan diumpan balik ke controller ini akan dikomparasikan dengan nilai set poin yang ditentukan dengan suatu *error amplifier*, *output* dari *error amplifier* kemudian digunakan oleh controller untuk menentukan

duty cycle PWM yang akan digunakan oleh *switching device* yang berupa transistor.

Kontroller PID adalah kontroller yang umum digunakan dalam mekanisme feedback control *loop*. Kontroller PID mampu untuk dapat digunakan di berbagai mekanisme kontrol sistem termasuk juga pada sistem *plant* yang tidak diketahui model matematisnya. Dalam berbagai bidang sistem kontrol proses kontroller PID telah membuktikan hasil kontrol yang memuaskan.

Kontroller PID terdiri dari kontroller *gain proportional*, kontroller *gain integral*, dan kontroller *gain derivative* (tabel 2.1). Kontroller *proportional* akan memberikan kontrol yang proporsional terhadap *error*. Kontroller *integral* adalah kontroller yang akan memberikan kontrol dengan penjumlahan nilai *error* dengan nilai *error* sebelumnya. Kontroller *derivative* adalah kontroller yang memberikan kontrol yang akan memberikan kontrol yang sesuai dengan *rate* perubahan *error*. Perpaduan ketiga kontroller ini dapat dirumuskan dalam domain waktu kontinyu sebagai berikut[9]–[11]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (25)$$

Sedangkan dalam domain frekuensi kontinyu dapat ditulis:

$$u(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (26)$$

Atau dapat disederhanakan menjadi:

$$pid = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (27)$$

Sedangkan dalam domain waktu diskrit dapat ditulis:

$$u[n] = K_p e[n] + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d [e[n] - e[n - 1]] \quad (28)$$

Table 7.6 Effect of Increasing the PID Gains K_p , K_D , and K_I on the Step Response

PID Gain	Percent Overshoot	Settling Time	Steady-State Error
Increasing K_p	Increases	Minimal impact	Decreases
Increasing K_i	Increases	Increases	Zero steady-state error
Increasing K_D	Decreases	Decreases	No impact

Tabel 2.1 Efek Kenaikan Parameter PID

Sumber: Dorf, Richard; Bishop, R.

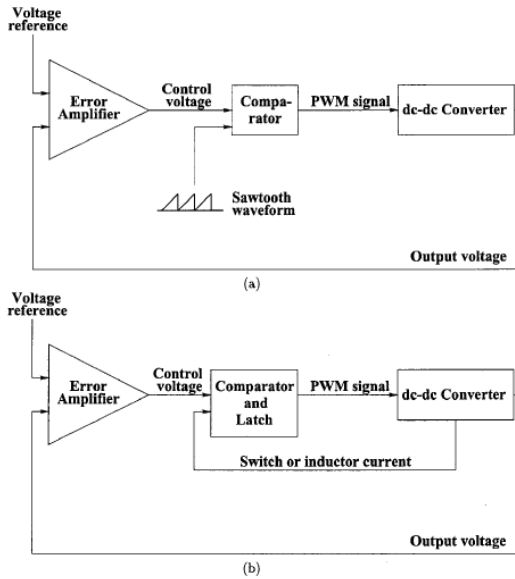


FIGURE 13.17 Main control schemes for dc-dc converters: (a) voltage-mode control; (b) current-mode control.

Gambar 2.8 Sistem Closed Loop Feedback Control
Sumber: Rashid, M.

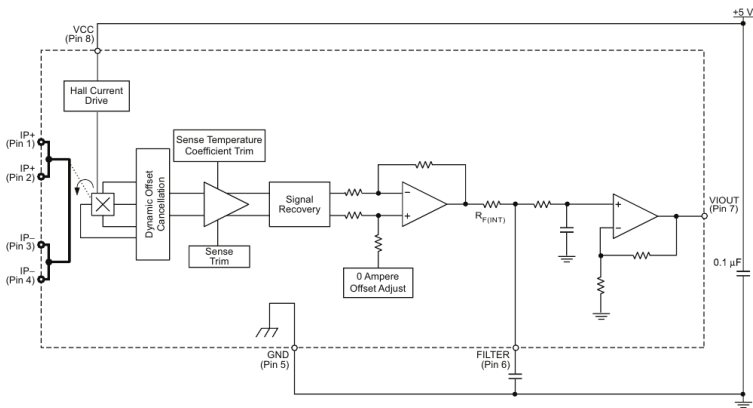
2.3 Sensor dan *Transducer*

Sensor dan *Transducer* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi suatu besaran fisik tertentu dan juga dapat untuk mengubah suatu besaran fisik menjadi suatu besaran fisik lainnya. Pada proses perancangan modul *Bidirectional DC-DC Converter* dibekali dengan *voltage divider* dan *transducer* arus ACS712. *Voltage divider* digunakan untuk mendeteksi tegangan pada sisi HV dan LV modul, ACS712 berfungsi untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada sisi HV dan sisi LV *Bidirectional DC-DC Converter*.

2.3.1 ACS712

ACS 712 merupakan *transducer* arus yang digunakan dalam rangkaian *bidirectional dc-dc converter* ini. Transducer arus ACS merupakan sensor diproduksi oleh allegro microsystem. Transducer ini menggunakan teknologi *Hall Effect* dan mampu untuk bekerja baik untuk arus DC dan arus AC (gambar 2.6). *Transducer* arus listrik

ini memiliki *output* berupa tegangan dan linier terhadap perubahan arus sesuai dengan sensitivitasnya. *Transducer* arus ACS712 tersedia dalam tiga jenis yang berbeda sesuai dengan batasan arus yang dapat diukur yaitu ACS712-05(5A), ACS712-20(20A), dan ACS712-30(30A). *Tranducer* arus ini dapat bekerja secara dua arah sehingga bisa menentukan apakah arus yang mengalir negatif atau positif dengan *output* 2.5V untuk kondisi arus 0A. Tegangan output ACS712 memiliki rentang 0V-5V DC. Sensor ini sudah terintegrasi dalam bentuk *integrated circuit* (IC) sehingga mudah diaplikasikan dan diinterfacekan dengan arduino uno[12].



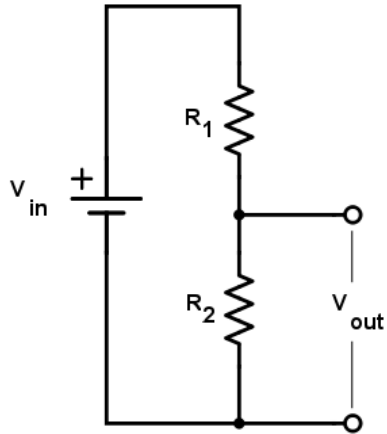
Gambar 2.9 Blok Fungsional Hall Effect Sensor ACS712
 Sumber: Allegro Microsystem ACS712 Datasheet

2.3.2 Voltage Divider

Voltage divider merupakan metode untuk mengukur tegangan listrik dengan menggunakan dua atau lebih resistor yang disusun seri dan dipasang secara paralel dengan dua titik potensial listrik yang akan diukur. Penggunaan resistor yang disusun seri bertujuan agar tegangan yang akan diukur dapat dibagi ke masing- masing resistor yang memiliki besar nilai resistansi yang berbeda (gambar 2.10). Sedangkan satu node resistor akan menjadi sensor pembaca nilai tegangan.

Voltage divider menggunakan satu resistor sebagai sensor pembaca ini sebagai tegangan yang mewakili dari tegangan yang diukur pada dua titik potensial yang ingin diukur. Pada

perancangan ini resistor pembaca ini diharapkan memiliki tegangan maksimal 5V karena akan *diinterfacekan* dengan mikrokontroler arduino uno yang memiliki tegangan maksimal 5V.

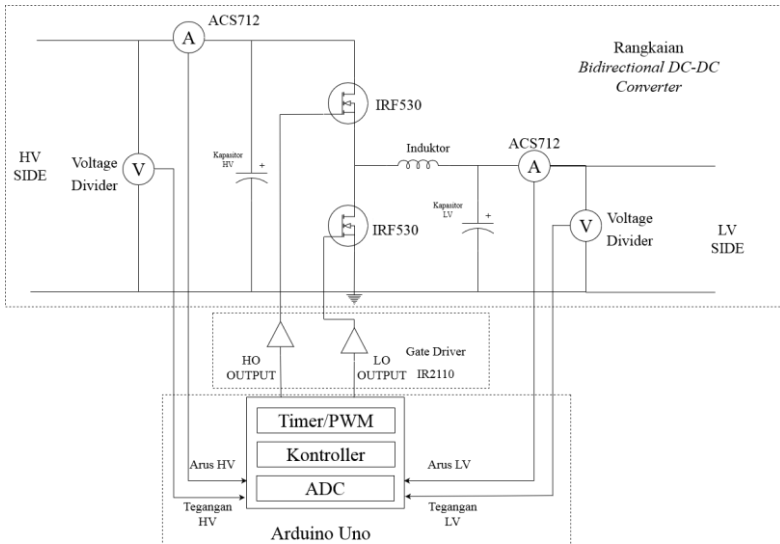


Gambar 2.10 Sensor Voltage Divider
(sumber www.allaboutcircuits.com)

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses perancangan sistem keseluruhan dari modul *Bidirectional DC-DC Converter* mulai dari rangkaian utama modul *Bidirectional DC-DC Converter*, rangkaian sensor dan *transducer*, dan perancangan controller. Secara keseluruhan dari modul dapat diilustrasikan pada gambar berikut. Pada bab ini proses perancangan akan dibagi menjadi 3 sub bab, antara lain proses perancangan rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter*, perancangan MOSFET *gate driver*, kemudian dilanjutkan dengan perancangan controller utama arduino uno (gambar 3.1).



Gambar 3.1 Skema Sistem Keseluruhan

3.1 Perancangan Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter*

Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* merupakan bagian inti dari keseluruhan modul *Bidirectional DC-DC Converter*. Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* merupakan rangkaian konverter elektronika daya yang bekerja sebagai *switching-mode power supply* yang bertugas untuk mengkonversi daya listrik menjadi suatu daya

listrik lainnya. Sama seperti rangkaian konverter lainnya seperti *buck converter* maupun *boost converter*, rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* memerlukan induktor, kapasitor input, kapasitor output dan suatu *switching device* baik transistor BJT, MOSFET, maupun IGBT.

3.1.1 Perancangan Rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter*

Modul *Bidirectional DC-DC Converter* merupakan rangkaian utama dari modul ini. Perancangan konverter ini dimulai dengan menentukan spesifikasi yang ditentukan terlebih dahulu sebagai berikut (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Tabel Parameter Konverter

Parameter	Nilai
Daya Maksimal	15W
$V_{bat\ discharge}$	14.8V-13.3V
$V_{bat\ charge}$	15V-13.5V
V DC Bus	24V-25.5V
<i>Switching Frequency</i>	31.25KHz
<i>Ripple Current Discharge</i>	1%
<i>Ripple Current Charge</i>	1%

Bidirectional DC-DC Converter memiliki dua mode kerja yaitu mode buck dan mode *boost*. Perhitungan rangkaian akan dibagi menjadi dua yaitu perhitungan mode buck dan mode *boost* secara terpisah kemudian akan diteruskan dengan menggunakan hasil keduanya maka akan ditentukan komponen terbaik yang dapat menangani baik di kedua mode [13]. Perancangan dimulai dari perancangan untuk mode *boost* sebagai berikut, dengan menggunakan persamaan mode *boost* (pada persamaan 24)

$$V_{out} = \frac{1}{(1 - k)} \cdot V_{in}$$

Duty cycle k_2 bernilai maksimum saat $V_{bat\ Discharge}$ minimum

$$k_{2\ Max} = 1 - \frac{V_{batt\ discharge\ Min}}{V_{out}}$$

$$k_{Max} = 1 - \frac{13.5V}{24V}$$

$$k_{Max} = 0.4375$$

Sedangkan *duty cycle* k bernilai minimum saat $V_{bat\ Discharge}$ maximum.

$$k_{2Min} = 1 - \frac{V_{battDischargeMax}}{V_{out}}$$

$$k_{Min} = 1 - \frac{14.8V}{24V}$$

$$k_{Min} = 0.383$$

Maka rentang *duty cycle* k2 untuk mode *boost*:

$$0.383 \leq K2 \leq 0.4375$$

Switching frequency yang digunakan pada konverter ini berada pada 31.25KHz. dimana periode *switching* berada pada 32μS. Transistor *switching* Q2 akan konduksi pada rentang waktu saat K2 Maksimum dan Minimum:

$$T_{K2Max} = \frac{1}{31250Hz} \cdot 0.4375$$

$$T_{K2Max} = 14\mu S \text{ per } 32\mu S$$

$$T_{K2Min} = \frac{1}{31250} \cdot 0.383$$

$$T_{K2Min} = 12.256\mu S \text{ per } 32\mu S$$

Saat transistor Q2 konduksi saat dalam waktu T2. Maka tegangan induktor sama dengan tegangan $V_{battDischarge}$:

$$V_{battDischarge} = L \frac{di_{batt}}{dt}$$

$$V_{battDischarge} = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Dengan daya 15W. Konverter akan menarik arus rata-rata dari baterai 14.8 sebesar 1,0135A. Dengan desain *current ripple* 1% dengan variasi *peak-to-peak* 0.02A.

Kalkulasi nilai induktor saat $V_{battMin}$

$$LV_{BattMin} = \frac{(V_{BattDisc Max}) \cdot (\Delta Tmin)}{\Delta I}$$

$$LV_{battMin} = \frac{(14.8V) \cdot (12.256\mu S)}{0.02A}$$

$$LV_{battMin} = 9.06mH$$

Kalkulasi nilai induktor saat $V_{battMax}$

$$LV_{batt}Max = \frac{(V_{bat}DiscMin) \cdot (\Delta Tmax)}{\Delta I}$$

$$LV_{batt}Max = \frac{13.5V \cdot (14\mu S)}{0.02A}$$

$$LV_{batt}Max = 9.45mH$$

Induktor yang dipilih adalah 9.45mH.

Dengan tegangan *output* 24V dan daya konverter 15W maka arus *output* akan berada pada kisaran angka 0.625A. kapasitor *output* yang akan dipilih harus dapat menjaga ouput pada 0.625A selama periode 14μS.

$$C_{DC}min = \frac{(iC_{DC}Max) \cdot (\Delta Tmax)}{\Delta V}$$

$$C_{DC}min = \frac{(0.625V) \cdot (14\mu S)}{0.024V}$$

$$C_{DC}min = 4.375 \times 10^{-4}F$$

$$C_{DC}min \approx 437.5\mu F$$

Perancangan konverter kemudian dilanjutkan dengan perancangan mode *buck*. Perancangan komponen mode *buck* sebagai berikut:

Rumus untuk mode buck adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = k \cdot V_{in}$$

Duty cycle k minimum saat Vout Min dan Vin Max

$$k1_{Min} = \frac{V_{out}Min}{V_{in}Max}$$

$$k1_{Min} = \frac{14.8V}{25.5V}$$

$$k1_{Min} = 0.5804$$

Sedangkan *duty cycle* maximum saat VoutMax dan VinMin

$$k1_{Max} = \frac{V_{out}Max}{V_{in}Min}$$

$$k1_{Max} = \frac{23.5V}{15V}$$

$$k1_{Max} = 0.6383$$

Sehingga rentang *duty cycle* k1 adalah:

$$0.5804 \leq k1 \leq 0.6383$$

Kalkulasi nilai induktor

$$L_{Min} = \frac{(V_{out}) \cdot (1 - k1)}{\Delta i \cdot f_{sw}}$$

$$L_{Min} = \frac{(14.8V) \cdot (1 - 0.5804)}{(0.02) \cdot (31250Hz)}$$

$$L_{Min} = 9.936mH$$

Kapasitor *output* untuk mode buck

$$C_{outBuck} = \frac{V_{out} \cdot (1 - k1)}{8 \cdot f_{sw}^2 \cdot L_{out} \cdot \Delta i_{out}}$$

$$C_{outBuck} = \frac{14.8V \cdot (1 - 0.5804)}{8 \cdot (31250^2) \cdot (9.936mH) \cdot 0.03}$$

$$C_{outBuck} = 4.001\mu F$$

Hasil dari percobaan menggunakan induktor dengan nilai besar 9.936mH tidak dapat menjalankan konverter baik mode buck dan mode *boost*. Maka dari itu nilai induktor diturunkan menjadi 220μH. Perubahan nilai induktor akan mempengaruhi nilai ΔI pada kedua mode maka dari itu hasil kalkulasi ΔI pada mode *boost* baik kondisi T2 maksimum dan T2 minimum

Saat T2 maksimum

$$\Delta I = \frac{(V_{batt}DiscMin) \cdot (\Delta Tmax)}{LV_{batt}}$$

$$\Delta I = \frac{(13.5V) \cdot (14\mu S)}{220\mu H}$$

$$\Delta I = 0.8690$$

Saat T2 minimum

$$\Delta I = \frac{(V_{batt}DiscMax) \cdot (\Delta Tmin)}{LV_{batt}}$$

$$\Delta I = \frac{(14.8V) \cdot (12.256\mu S)}{220\mu H}$$

$$\Delta I = 0.8245$$

Sedangkan pada mode Buck, penggantian nilai induktor akan berpengaruh pada ΔI dan nilai kapasitor *output*. Berikut hasil perhitungan nilai ΔI:

$$\Delta I = \frac{(V_{out}) \cdot (1 - k1)}{L_{Min} \cdot f_{sw}}$$

$$\Delta I = \frac{(14.8) \cdot (1 - 0.5804)}{(220\mu H) \cdot (31250\text{Hz})}$$

$$\Delta I = 0.9033$$

Perhitungan nilai kapasitor ouput:

$$C_{outBuck} = \frac{V_{out} \cdot (1 - k1)}{8 \cdot f_{sw}^2 \cdot L_{out} \cdot \Delta I_{out}}$$

$$C_{outBuck} = \frac{14.8 \cdot (1 - 0.5804)}{8 \cdot (31250^3) \cdot 220\mu H \cdot 0.9033}$$

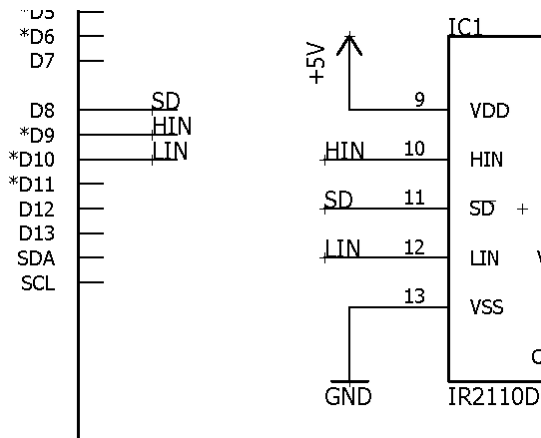
$$C_{outBuck} = 3,99\mu F$$

3.1.2 Perancangan MOSFET dan Gate Driver IR2110

MOSFET yang digunakan pada perancangan rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* ini adalah IRF530N. MOSFET ini merupakan transistor MOSFET berjenis N-Gate. Transistor MOSFET IRF530N dapat digunakan untuk aplikasi konverter elektronika daya yang membutuhkan proses *switching* yang cepat seperti pada konverter switching, driver solenoid maupun sebagai driver relay. Parameter maksimal dalam transistor MOSFET IRF530N antara lain memiliki rating arus drain $I_D@25^\circ\text{C}=17\text{A}$, $I_D@100^\circ\text{C}=12\text{A}$, rating arus drain berdenyut (*plused drain current*) $I_{DM}=60\text{A}$. Tegangan *gate-to-source* $V_{GS}=\pm 20\text{V}$. Tegangan *threshold gate-to-source* $V_{GS(th)}=2.0\text{V}$. Parameter kapasitansi dan jumlah muatan dalam MOSFET IRF530N antara lain kapasitansi *Input* $C_{iss}=920\text{pF}$, kapasitansi *Output* $C_{oss}=130\text{pF}$, kapasitansi *reverse transfer* $C_{rss}=19\text{pF}$, muatan gate total $Q_g=37\text{nC}$, muatan *gate-to-source* $Q_{gs}=7.2\text{nC}$, muatan “miller” *Gate-to-drain* $Q_{gd}=1\text{nC}$.

Gate driver IR2110 merupakan IC *gate driver* yang digunakan pada perancangan modul konverter ini. *Gate driver* IR2110 merupakan driver bertipe *high side* and *low side gate driver* dimana *ouput* untuk *driver* untuk transistor *high* dan *ouput* untuk transistor *low* terpisah sinyal *ouput* kontrolnya. Dengan demikian proses penggunaan mode buck dan mode *boost* konverter akan mudah dilakukan karena saat mode buck makan transistor *high* dapat digerakan dengan PWM *ouput* HO tanpa mengaktifkan PWM *ouput* LO, sebaliknya saat mode *boost* transistor LOW dapat digerakan dengan dengan PWM *ouput* LO tanpa mengaktifkan PWM *ouput* HO dari IC IR2110.

IC *gate driver* IR2110 memiliki pin *input* VDD, VSS, Hin, Lin, dan SD. Hin merupakan sinyal *input* untuk transistor *HIGH* sedangkan Lin merupakan sinyal *input* untuk transistor *LOW*, serta SD merupakan pin shut down yang akan menonaktifkan sinyal output jika diberi tegangan *Logic HIGH* (menyesuaikan tegangan VDD dan VSS IR2110). Pin VDD dan pin VSS merupakan pin logic supply dan pin *logic supply offset*. Karena sinyal pwm dibangkitkan oleh mikrokontroler digital pada board arduino uno. Maka pin VDD dan VSS disesuaikan dengan tegangan *logic* pada board arduino uno. VDD dihubungkan pin 5V arduino dan pin VSS dihubungkan dengan GND arduino uno[8].

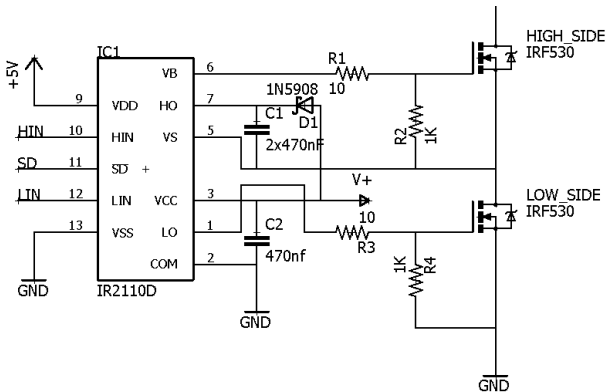


Gambar 3.2 Antarmuka PWM Arduino IR2110

Sesuai dengan perancangan controller arduino uno, arduino uno akan menggunakan TIMER1 sebagai pembangkit sinyal PWM. Output sinyal PWM terdapat pada pin 9 dan pin 10 arduino. Pin 9 akan berfungsi sebagai PWM transistor HI untuk mode buck dan Pin 10 sebagai PWM transistor LOW untuk mode *boost*. Sehingga pin 9 akan dihubungkan dengan pin Hin dan pin 10 akan dihubungkan dengan pin Lin IR2110. Pin 8 digunakan sebagai pin logic yang dihubungkan dengan pin SD IR2110 sebagai fungsi shutdown IR2110 apabila konverter berada pada kondisi seimbang (gambar 3.2).

IR2110 menggunakan tegangan supply DC yang dihubungkan melalui pin VCC dan sisi COM sebagai tegangan DC negatif. Untuk

sisi transistor *high side* memerlukan *bootstrap* tegangan. *Bootstrap* tegangan menggunakan kapasitor *bootstrap* yang dihungkan antara pin VB dan pin VS IR2110. Pin VB disupply dengan tegangan yang sama dengan pin VCC yang dipasang dioda forward bias menuju kapasitor. Pin VS dihubungkan ke sisi source transistor MOSFET. Sedangkan untuk sisi *LOW side driver* disupply dengan tegangan yang sama dengan VCC dan COM IR2110, kapasitor dapat dipasang di antara kedua pin VCC dan COM.



Gambar 3.3 Rangkaian IR2110 dan MOSFET

Output sinyal PWM baik pin HO (*HIGH Side*) dan pin (*LOW side*) akan dihubungkan ke pin *gate* transistor MOSFET. Resistor 10Ω dipasang seri antara pin output baik sisi *HIGH side* maupun sisi *LOW side* sebagai resistor pembatas arus. Sedangkan resistor dipasang diantara *gate* dan *source* MOSFET sebesar $1K\Omega$ baik sisi *HIGH side* dan sisi *LOW side* transistor MOSFET sebagai resistor *discharge* muatan didalam kapasitansi *gate* MOSFET(gambar 3.3).

3.2 Perancangan Sensor dan Transducer

Sensor dan *Transducer* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur suatu besaran fisis tertentu. Sensor dan *transducer* yang digunakan pada konverter ini adalah sensor *voltage divider* dan *transducer* arus ACS712. Masing-masing sensor dan *transducer* akan menjalankan tugasnya untuk mengukur tegangan dan arus di kedua sisi konverter yaitu sisi HV dan sisi LV. Hasil pembacaan sensor dan *transducer* akan dikirim ke controller arduino uno sebagai controller utama modul.

3.2.1 Perancangan Sensor Tegangan *Voltage Divider*

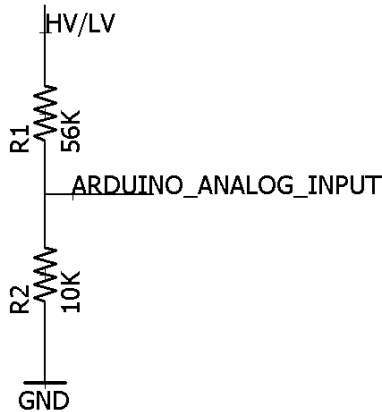
Sensor yang digunakan pada rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* adalah rangkaian *voltage divider* dan ACS712. *Voltage divider* berfungsi untuk mengukur tegangan pada kedua sisi HV dan LV, ACS 712 berfungsi untuk mengukur dan menentukan arus yang mengalir menuju beban dan sistem penyimpanan energi. Resistor yang digunakan untuk *voltage divider* sebesar 56k dan 10k baik di ke dua sisi, *output voltage divider* akan masuk pada pin *analog A0* dan *A3* arduino (Gambar 3.6). Rumus tegangan yang masuk ke pin ADC sebagai berikut.

$$V_{ADC} = \frac{R2}{(R1 + R2)} \cdot VDC_{pin}$$

Sensor tegangan *voltage divider* menggunakan resistor $R1=10K\Omega$ dan $R2=56K\Omega$ (gambar 3.4). V_{ADC} maksimal yang dapat diterima *analog pin* arduino 5V. Maka tegangan VDC_{pin} maksimal yang dapat dibaca oleh *analog pin* arduino adalah:

$$\begin{aligned} V_{ADC} &= \frac{R2}{(R1 + R2)} \cdot VDC_{pin} \\ VDC_{pin} &= V_{ADC} \cdot \frac{(R1 + R2)}{R2} \\ VDC_{pin} &= 5 \cdot \frac{(10K\Omega + 56K\Omega)}{56K\Omega} \\ VDC_{pin} &= 5 \cdot \frac{66K\Omega}{56K\Omega} \\ VDC_{pin} &= 5 \cdot 6.6 \\ VDC_{pin} &= 33V \end{aligned}$$

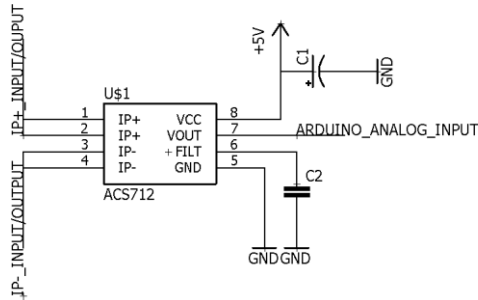
Dari hasil perancangan sensor tegangan menggunakan resistor 56K Ω dan 10K Ω dapat tegangan VDC_{pin} sampai 33V. Maka sensor *voltage divider* dapat dipakai pada perancangan ini. Tegangan VDC_{pin} pada sisi HV memiliki rentang maksimal 25.5V dengan output $V_{ADC} \approx 3.86V$ dan sisi LV memiliki rentang minimal 15V dengan output $V_{ADC} \approx 2.27V$.



Gambar 3.4 Rangkaian Voltage Divider

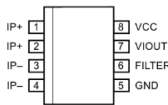
3.2.2 Perancangan *Transducer* Arus ACS712

ACS712 merupakan *transducer* yang digunakan dalam perancangan ini. *Transducer* ini merupakan *transducer* arus listrik yang menggunakan *Hall-effect* yang dapat digunakan baik untuk arus DC dan juga arus AC. *Transducer* ini telah tersedia dalam bentuk integrated circuit sehingga dapat mudah untuk diimplementasikan, selain itu *transducer* ini menggunakan tegangan VCC sebesar 5V yang sama dengan tegangan suplai mikrokontroler atmega328p arduino uno. ACS712 tersedia dalam tiga tipe tergantung besar arus yang dipakai antara lain ACS712-05, ACS712-20, dan ACS712-30 masing masing dapat membaca arus 5A, 20A, dan 30A. Karena perancangan konverter 15W maka arus yang dapat mencapai 1A pada sisi LV dan 0.625A pada sisi HV. Maka ACS712-05 sudah cukup pada perancangan ini. ACS712 memiliki 8 pin pada ic-nya. ACS712 memiliki pin IP+ dan IP- sebagai pin *input/output* arus. Pin VCC, Pin Filter, pin *output* tegangan dan pin ground. Pada perancangan ini VCC menggunakan tegangan +5V dengan kapasitor bypass 1 μ F pin filter dihubungkan dengan kapasitor 1nF[12](gambar 3.5).



Gambar 3.5 Rangkaian ACS712

Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Gambar 3.6 Pin ACS712

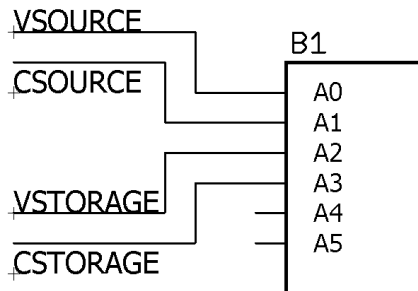
Sumber: Allegro Microsystem ACS712 Datasheet

3.3 Perancangan Kontroller

Setelah melakukan perancangan perangkat rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter* dan perancangan *sensor-transducer* perancangan dilanjutkan dengan perancangan kontroller utama modul *Bidirectional DC-DC Converter*. Kontroller utama yang digunakan adalah board arduino uno yang telah diprogram suatu kontroller tertanam (*embedded*). Arduino uno mendapatkan sinyal umpan balik dari ouput dengan menggunakan sensor dan *transducer*. Sinyal ini kemudian akan dipakai oleh program kontroller yang akan menentukan sinyal output PWM sebagai sinyal kontrol dari sistem modul ini.

3.3.1 Antarmuka Sensor Transducer dengan Arduino

Arduino Uno merupakan board sistem berbasis mikrokontroler atmega328p. Board ini berfungsi sebagai kontroler utama pada rangkaian modul konverter ini. Atmega328p merupakan mikrokontroler 8 bit dengan menggunakan teknologi CMOS dan menggunakan arsitektur AVR. Memiliki fitur yang dapat digunakan dalam perancangan kontroler seperti *analog pin* yang terintegrasi dengan *Analog to digital converter*, program memory flash 32kb, tiga buah tipe timer yang dapat membangkitkan sinyal *analog to digital converter*.



Gambar 3.7 Antarmuka Sensor-Pin Analog Arduino

Analog pin pada arduino berjumlah 6 pin. Masing-masing pin terhubung dengan 1 buah ADC bertipe SAR dengan resolusi 10 bit. ADC ini digunakan untuk membaca sensor dan *transducer* yang dipasang di kedua sisi konverter masing-masing berupa sensor tegangan dan *transducer* arus ACS712(gambar 3.7).*Output* sensor dihubungkan dengan *analog pin* arduino. *Analog Pin* terhubung langsung dengan ADC di dalam mikrokontroler, ADC berjalan dengan mode resolusi 10-Bit. Pin *Analog input* yang digunakan adalah pin untuk membaca tegangan sumber sisi HV(vsourc) pada pin A0, arus sumber sisi HV(csourc) pada pin A1, tegangan penyimpan energi sisi LV(vstorag) pada pin A2, dan arus penyimpan energi sisi LV(storag) pada pin A3.

3.3.2 Pembacaan Analog to Digital Converter

Analog to digital converter (ADC) berfungsi untuk membaca sinyal-sinyal analog. Baik *transducer* arus ACS712 dan sensor tegangan *voltage divider* menghasilkan *output* tegangan. *Transducer*

ACS712 dan *Voltage divider* diinterfacekan dengan arduino uno pada pin *analog* arduino. *Analog Pin* pada arduino memiliki jumlah 6 buah mulai pin A0 sampai dengan pin A5. Sensor *voltage divider* dan *transducer* arus ACS712 dipasang di kedua sisi yaitu sisi HV dan sisi LV konverter dan output akan dibaca oleh arduino masing-masing tegangan sumber sisi HV(*vsource*) pada pin A0, arus sumber sisi HV(*csource*) pada pin A1, tegangan penyimpan energi sisi LV(*vstorage*) pada pin A2, dan arus penyimpan energi sisi LV(*storage*) pada pin A3.

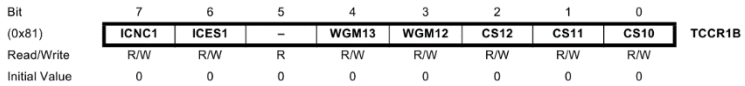
Pin *analog* arduino ini terhubung dengan *analog-to-digital (ADC)* didalam mikrokontroler Atmega328. Proses pembacaan sinyal *analog* dari *output transducer* dan sensor menggunakan perintah *analogRead* dari IDE Arduino. Hasil pembacaan *output* arduino dalam bentuk bilangan biner 10bit. Bilangan biner 10 bit ini perlu dilakukan perhitungan aritmatika agar dapat menghasilkan angka yang sesuai dengan nilai arus dan tegangan yang dibaca oleh sensor dan *transducer*. Hasil pembacaan dari *transducer* ini digunakan untuk mekanisme *closed loop* baik untuk mode *buck* dan mode *boost* pada konverter *bidirectional dc-dc converter*.

3.3.3 Pembangkitan PWM

Pembangkitan sinyal referensi dilakukan dengan menggunakan perintah *analogWrite* pada IDE arduino. Namun, sinyal PWM yang dibangkitkan oleh *analogWrite* secara standar hanya memiliki frekuensi 490Hz di semua pin PWM arduino. Frekuensi standar *analogWrite* dirasa kurang dalam perancangan konverter ini. Oleh karena itu pembangkitan sinyal dipilih Timer1 pada Atmega328. Timer 1 Atmega328 memiliki *output* di pin D9 dan pin D10 arduino uno. Timer1 merupakan counter/timer beresolusi 16 bit. Register yang dapat mengatur Timer1 adalah TCCR1A sebagai control register timer counter A dan TCCR1B sebagai control register timer counter B. Prescaling frekuensi PWM terdapat pada register TCCR1B (gambar 3.8 dan gambar 3.9). Pada TCCR1 terdapat bit CS12;CS11;CS10 yang berfungsi sebagai clock select bit. Dengan menetapkan nilai CS12=0, CS11=0, CS10=0 maka clock untuk dibagi dengan 1, yang artinya clock *output* tanpa *prescaling* sehingga clock berjalan dengan frekuensi secepat mungkin [7]. Hasil penggunaan Timer1 dengan menetapkan register TCCR1 tanpa *prescaling* dapat menghasilkan frekuensi PWM berada pada 31.25KHz. Output PWM ini yang kemudian akan digunakan sebagai PWM *switching* transistor. PWM

ini kemudian akan diteruskan pada IC IR2110 yang menjadi driver pin *gate* transistor sekaligus *buffer* sinyal PWM.

Timer/Counter1 Control Register B



Gambar 3.9 Register TCCR1B Timer1
 Sumber: Atmel Atmega48p/88p/168p/328p Datasheet

Table 13-5. Clock Select Bit Description

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$clk_{IO}/1$ (No prescaling)
0	1	0	$clk_{IO}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$clk_{IO}/64$ (From prescaler)
1	0	0	$clk_{IO}/256$ (From prescaler)
1	0	1	$clk_{IO}/1024$ (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T1 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T1 pin. Clock on rising edge.

Gambar 3.8 Prescaler Clock Timer
 Sumber: Atmel Atmega48p/88p/168p/328p Datasheet

3.3.4 Feedback Control Loop

Feedback control loop menggunakan hasil pembacaan sensor dan *transducer*. Sensor dan *transducer* memiliki *output* berupa tegangan yang dibaca dengan menggunakan ADC. Hasil pembacaan ADC berupa bilangan biner yang kemudian dilakukan operasi aritmatika sehingga menghasilkan nilai yang sesuai atau mendekati dengan nilai yang terdapat pada rangkaian konverter. Mode *buck* dan mode *boost* pada *Bidirectional DC-DC Converter* memiliki parameter controller yang berbeda karena memiliki nilai *set point* dan nilai tegangan *input* yang berbeda.

Pada mekanisme *Feedback Control Loop* yang digunakan oleh konverter ini menggunakan controller PID. Controller PID merupakan controller klasik yang masih dapat digunakan untuk mengontrol tegangan output konverter baik untuk mode *buck* dan mode *boost*. Controller PID ditanam didalam arduino uno sebagai controller utama. Arduino uno diprogram untuk menjalankan

mekanisme feedback control dengan memasukan variable kontroller PID, pembacaan sensor dari pin *analog*, dan program operasi matematis kontroller dengan *output* sinyal kontrol berupa sinyal PWM saat menjalankan salah satu mode kontroller.

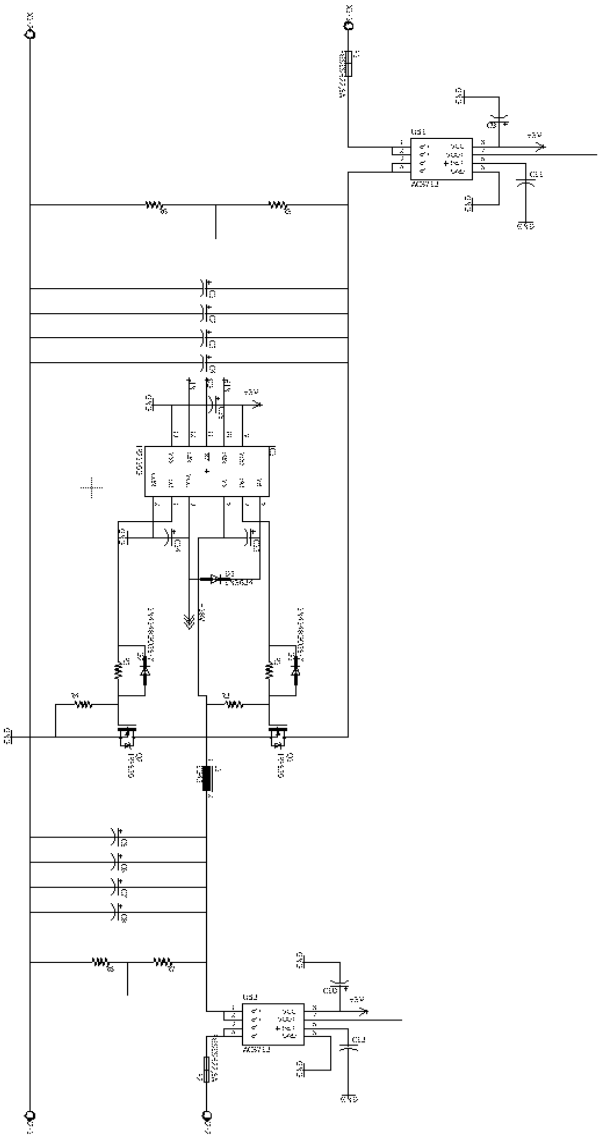
3.3.5 Proses *Tuning* Kontroller PID

Kontroller PID merupakan kontroller yang dapat digunakan di berbagai jenis sistem *plant* dengan hasil *output* proses yang baik. ada berbagai cara atau metode dalam proses penalaan parameter kontroller PID seperti metode ziegler-nichols, metode cohen-coon, ataupun dapat melakukan tuning langsung di masing-masing parameter kontroller PID. Proses penalaan (*Tuning*) pada gain kontroler *proportional*, *integral*, *derivative* dilakukan menggunakan metode mencoba langsung di dalam konverter. Proses penalaan parameter PID dilakukan dengan cara megubah parameter gain PID sampai menemukan tegangan *output* yang sesuai di kedua mode.

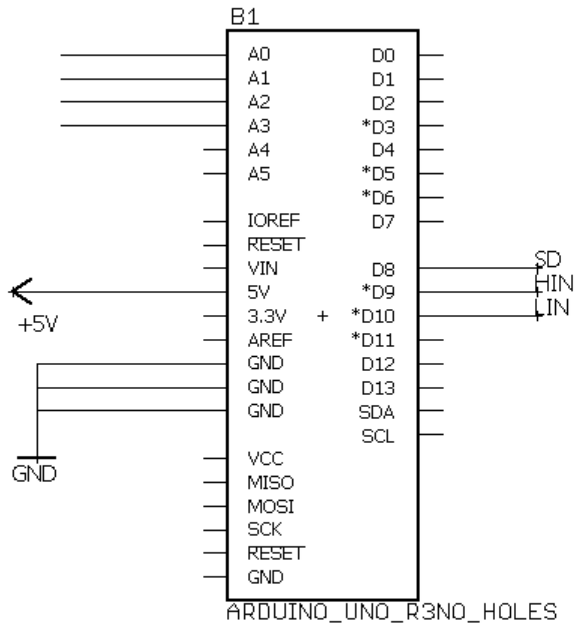
Proses penalaan kontroller PID pertama kali dilakukan dengan cara memasang nilai $K_P=1$, $K_I=0$, $K_D=0$ kemudian melakukan pengukuran pada *ouput* kontroller. Jika dirasa *error* masih jauh di bawah dari nilai set point maka parameter gain *proportsional* K_P akan dinaikan. Jika hasil pembacaan masih jauh dari nilai *set point* maka nilai K_P akan terus dinaikan. Dalam proses *tuning* dengan terus menaikkan nilai K_P dapat menyebabkan *output* tidak stabil atau dapat terjadi osillasi. Jika ditemukan ketidakstabilan output maka nilai *gain* K_P dapat diturunkan dan kemudian dapat ditambah dengan menambah nilai *gain* K_I . Penambahan gain K_I dapat mempercepat *rise-time* output. Jika nilai K_I terlalu besar maka *ouput* akan terjadi osillasi. Jika hasil penalaan parameter *gain* K_P dan K_I masih belum menemui maka *gain* K_D dapat ditambahkan. Penambahan gain K_D dapat mengurangi osillasi dari gain K_P+K_I . Namun jika nilai gain K_D terlalu besar makan ouput yang dihasilkan akan lambat dalam *rise-time* serta terjadi osillasi pada output. Proses tuning akan dilakukan untuk mencapai hasil terbaik.

Pada mode *buck* proses penalaan (*tuning*) dilakukan dnegan metode mencoba *tuning* langsung pada *plant* konverter. Proses *tuning* kontroller PID dilaukan dengan men-set niai *gain* masing-masing $K_P=1;K_I=0,K_D=0$ sebagai kondisi awal. Pada saat kondisi awal ini *output* yang dihasilkan mendapatkan tegangan yang masih kecil nilainya dan jauh dari nilai set point yang diinginkan. Kemudian nilai kontroller K_P dinaikan sampai didapatkan nilai tegangan *output*

yang diinginkan. Nilai *gain* controller PID yang dianggap memberikan hasil yang mendekati nilai *setpoint* yaitu pada $KP=11$, $KI=0$, $KD=0$. Sedangkan mode pada *boost*, dengan menggunakan metode *tuning* yang sama didapatkan nilai *gain* controller PID yang dianggap memberikan hasil yang mendekati nilai *setpoint* yaitu pada $KP=4.5$, $KI=0$, $KD=0$. Dari hasil tuning PID ini didapatkan baik pada mode *buck* dan mode *boost* bahwa desain konverter menggunakan controller *proporsional*.



Gambar 3.10 Rangkaian Konverter



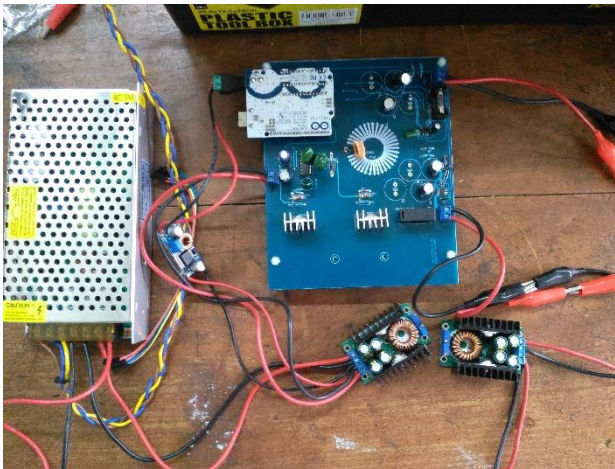
Gambar 3.11 Rangkaian Arduino Uno

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisa terhadap rangkaian *bidirectional dc-dc converter*, *driver* MOSFET, dan *kontroller* utama modul yang telah diimplementasikan (gambar 4.1). Langkah pertama yang dilakukan adalah menguji perangkat lunak yang akan ditanam pada board arduino uno. Perangkat lunak tersebut antara lain pengujian *analog to digital converter* terhadap pembacaan sensor *voltage divider* dan *transducer* arus ACS712. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian PWM yang telah dibangkitkan. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian sinyal output dari IC *gate driver* IR2110 sebagai driver transistor MOSFET yang digunakan dalam konverter ini. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian pada rangkaian *Bidirectional DC-DC Converter*. *Bidirectional DC-DC Converter* memiliki dua mode yaitu mode *buck* dan mode *boost*. Mode *buck* merupakan mode penurunan tegangan dari sisi HV ke tegangan lebih rendah di sisi LV. Sedangkan mode *Boost* merupakan mode menaikkan tegangan dari sisi LV ke tegangan yang lebih tinggi di sisi HV. Masing-masing mode *buck* dan mode *boost* dilakukan dengan menggunakan beban uji sebesar 23Ω 15W. Kedua mode diuji dalam skema *open loop* dengan tegangan PWM 50% dan skema *closed loop* dengan *feedback controller*.



Gambar 4.1 Implementasi Modul Konverter

4.1 Pengujian Sensor, *Transducer*, dan ADC

4.1.1 Pengujian *Analog To Digital Converter*

Pengujian *analog to digital converter (ADC)* dilakukan dengan menggunakan perintah `analogRead` pada arduino. Dengan demikian maka arduino akan melakukan konversi dari sinyal *analog* menjadi sinyal digital. *Analog to Digital Converter (ADC)* yang digunakan bekerja dengan resolusi 10bit sehingga bilangan yang direpresentasikan menjadi 0-1024.

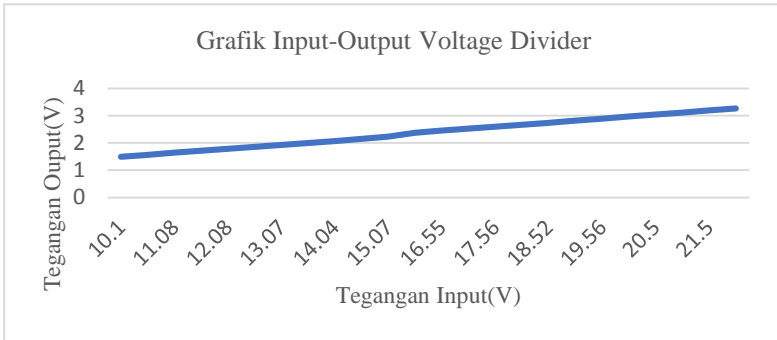
A. *Pengujian Voltage Divider*

Pengujian *voltage divider* dilakukan dengan menggunakan resistor 56K yang diseri dengan resistor 10K. Masing-masing *input voltage divider* akan masuk pada pin *analog* A0 dan A3, dengan A0 dipasang pada sisi HV dan A3 dipasang pada sisi LV. Rangkaian percobaan menggunakan resistor 47k 15W sebagai beban utama. Dari hasil percobaan dilakukan pengamatan dari tegangan terukur menggunakan voltmeter, kemudian tegangan terbaca dari *output voltage divider* yang dikakulasikan arduino, kemudian tegangan *voltage divider* yang diukur pada resistor 10K, serta nilai ADC yang terbaca. Dari hasil pembacaan *voltage divider* didapatkan hasil pada tabel 4.1 dan grafik linearitas pada gambar 4.1.

Tabel 4.1 Penugujian Sensor Tengan

No	Tegangan Terukur (V)	Tegangan Terbaca (V)	Error	<i>Voltage Divider</i> (V)	ADC
1	10.1	10.12	-0.02	1.49	304
2	10.55	10.55	0.00	1.56	317
3	11.08	11.12	-0.04	1.64	334
4	11.54	11.58	-0.04	1.71	348
5	12.08	12.12	-0.04	1.78	364
6	12.58	12.61	-0.03	1.86	379
7	13.07	13.11	-0.04	1.93	394
8	13.54	13.58	-0.04	2.00	408
9	14.04	14.08	-0.04	2.07	423
10	14.53	14.58	-0.05	2.15	438

11	15.07	15.14	-0.07	2.23	455
12	16.02	16.08	-0.06	2.37	482
13	16.55	16.61	-0.06	2.45	499
14	17.02	17.11	-0.09	2.52	514
15	17.56	17.67	-0.11	2.60	531
16	18.03	18.11	-0.08	2.67	544
17	18.52	18.61	-0.09	2.74	559
18	19.08	19.21	-0.13	2.82	577
19	19.56	19.67	-0.11	2.89	591
20	20	20.14	-0.14	2.97	605
21	20.5	20.67	-0.17	3.04	621
22	21	21.14	-0.14	3.11	636
23	21.5	21.80	-0.30	3.20	655
24	22	22.10	-0.10	3.27	667
25	22.5	22.73	-0.23	3.34	683
26	23	23.23	-0.23	3.40	698
27	23.5	23.73	-0.23	3.49	713
28	24	24.23	-0.23	3.56	729
29	24.5	24.76	-0.26	3.63	744
30	25	25.26	-0.26	3.72	759
31	25.5	25.76	-0.26	3.78	774



Gambar 4.2 Grafik Voltage Divider

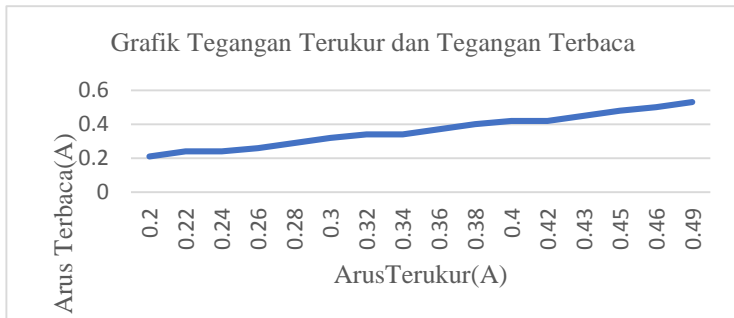
B. Pengujian Transducer ACS 712

Pengujian *transducer* arus ACS712 dilakukan dengan cara membaca tegangan analog yang dikeluarkan oleh *output* ACS712. Pin yang digunakan untuk membaca arus adalah pin A1 dan pin A2, masing-masing berfungsi untuk mengukur arus beban, dan mengukur arus yang masuk ke sistem penyimpanan energi. Pada rangkaian modul *Bidirectional DC-DC Converter* menggunakan *transducer* arus ACS712 dengan versi yang dapat membaca arus sampai dengan 5A. Pada pengujian digunakan resistor 47k 15W sebagai resistor beban. Proses pengujian sensor arus dilakukan dengan mengamati dan membaca tegangan *input* yang dibaca dengan voltmeter, arus yang terukur menggunakan amperemeter, tegangan terbaca yang merupakan hasil pengukuran mikrokontroler arduino dan *output* ADC. Hasil pengujian dapat dilihat pada 4.2 dan grafik linieritas pada gambar 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Transducer Arus ACS712

No	Tegangan Input (V)	Arus Terukur (A)	Arus Terbaca (A)	Error	ADC
1	10.07	0.20	0.21	-0.01	504
2	11.08	0.22	0.24	-0.02	503
3	12.04	0.24	0.24	0.00	503

4	13.08	0.26	0.26	0.00	502
5	14.04	0.28	0.29	-0.01	501
6	15.02	0.30	0.32	-0.02	500
7	16.01	0.32	0.34	-0.02	499
8	17.02	0.34	0.34	0.00	499
9	18.02	0.36	0.37	-0.01	498
10	19.06	0.38	0.40	-0.02	497
11	20	0.40	0.42	-0.02	496
12	21	0.42	0.42	0.00	496
13	22	0.43	0.45	-0.02	495
14	23	0.45	0.48	-0.03	494
15	24	0.46	0.50	-0.04	493
16	25	0.49	0.53	-0.04	492

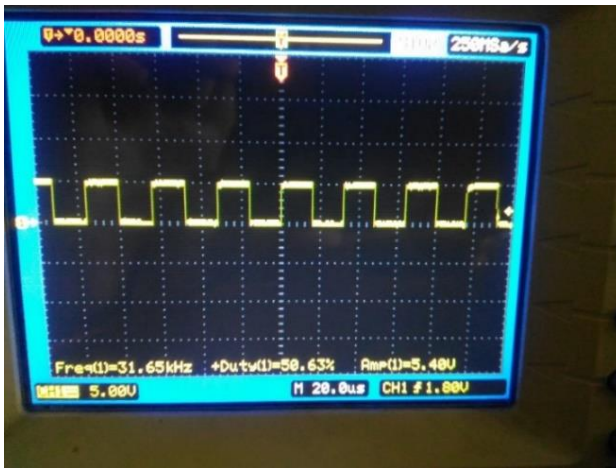


Gambar 4.3 Grafik Transducer Arus

4.1.2 Pengujian Sinyal PWM dan *Gate Driver IR2110*

Pengujian sinyal PWM dilakukan dengan menggunakan oscilloscope pada pin digital 9 dan pin 10 terhadap ground arduino. Setelah melakukan pengecekan *output* sinyal pada IR2110 pada pin HO dan LO menggunakan oscilloscope terhadap ground PCB. Pengujian sinyal PWM dilakukan dengan menggunakan oscilloscope pada pin digital 9 dan pin 10 terhadap ground arduino(gambar 4.3). Setelah melakukan

pengecekan *output* sinyal pada IR2110 pada pin HO dan LO menggunakan oscilloscope terhadap ground PCB(gambar 4.4).



Gambar 4.4 Sinyal PWM Arduino



Gambar 4.5 Sinyal PWM IR2110

Hasil pengujian sinyal PWM yang dibangkitkan dengan *duty cycle* 50% didapatkan sinyal dengan frekuensi 31.25KHz. Sedangkan untuk

pengujian sinyal *output* pada IC IR2110 dilakukan dengan cara memberi sinyal uji PWM dengan *duty cycle* 50% dan frekuensi sinyal PWM 31.25KHz. Tegangan supply yang diberikan pada IC IR2110 adalah 10V pada pin VCC terhadap pin COM. Tegangan logic untuk sinyal PWM adalah 5V pada pin VDD terhadap pin VSS. Probe oscilloscope untuk pengujian sinyal PWM ditaruh pada resistor 1K Ω pada sisi *gate* terhadap *source* transistor MOSFET.

4.2 Pengujian *Bidirectional DC-DC Converter*

Setelah melakukan pengujian sensor, *transducer*, dan ADC, pengujian kemudian dilanjutkan dengan pengujian *Bidirectional DC-DC Converter*. Pengujian dilakukan dengan cara mencoba mode satu per satu secara *open loop* dengan sinyal PWM 50% kemudian dilanjutkan dengan pengujian secara *closed loop* dengan *feedback controller*. *Feedback controller* menggunakan controller PID yang menggunakan *feedback* yang didapatkan dari sensor yang dibaca oleh ADC. Pengujian meliputi mode *buck* dan pengujian mode *boost*. Masing-masing mode dijalankan secara satu per-satu.

4.2.1 Pengujian Mode *Buck*

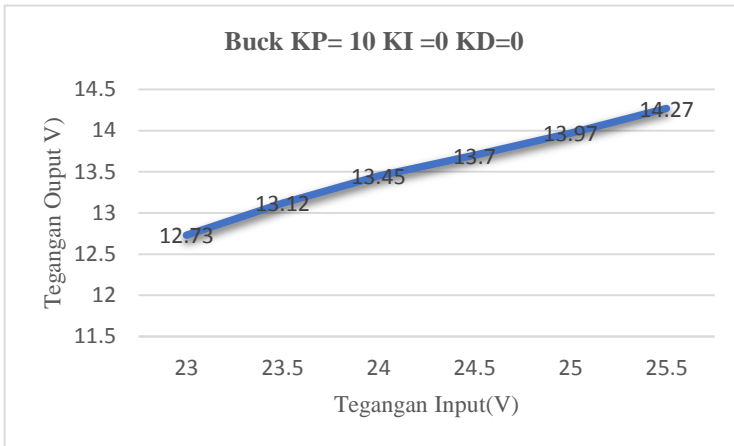
Pengujian mode *Buck* dilakukan pada modul dengan menggunakan beban yang digunakan merupakan resistor dengan hambatan 23 ohm. Pengujian secara *open-loop* dengan tegangan *input* 24.8V dan sinyal PWM *duty cycle* 50% menghasilkan *Output* 11.6. Kemudian percobaan dilakukan dengan menggunakan *closed loop feedback control*. Dengan set point yang ditetapkan yaitu pada 14.8V. pengujian dilakukan dengan mengubah variabel gain controller PID sebagai berikut dengan hasil yang disajikan pada Tabel 4.3, tabel 4.4 serta gambar grafik dari tabel pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. Hasil terbaik adalah menggunakan controller *proporsional* dengan *gain* 4.5 dengan tegangan *output* 14.86V dengan tegangan *input* 24V serta memiliki *ripple* tegangan pada gambar 4.15.

Tabel 4.3 Pengujian Mode Buck 1

Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=10$, $K_i=0$, $K_d=0$ SP=14.8;

Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)	Efficiency(%)
23	3.2	12.73	5.4	93.40
23.5	3.5	13.12	5.5	87.73
24	3.65	13.45	5.7	87.52

24.5	3.6	13.7	5.8	90.09
25	3.7	13.97	5.9	89.11
25.5	3.7	14.27	6.1	92.26

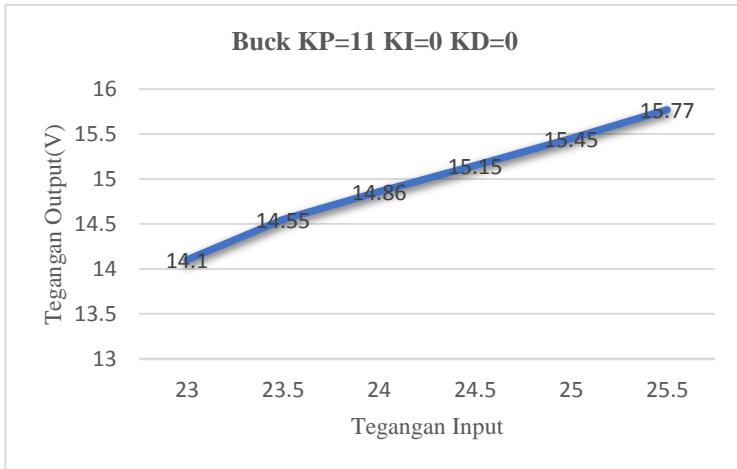


Gambar 4.6 Grafik Mode Buck 1

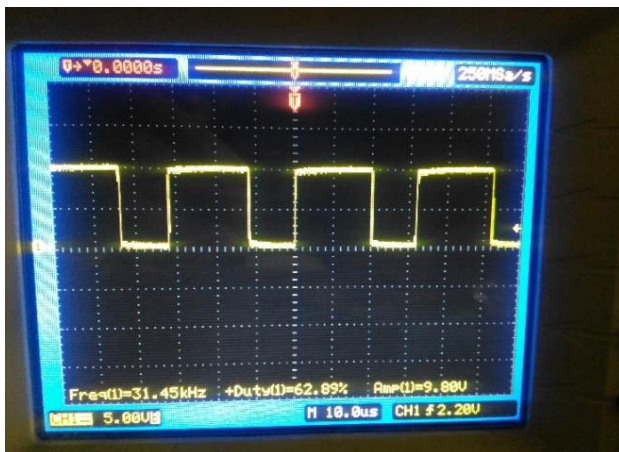
Tabel 4.4 Pegujian Mode Buck 2

Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=11$, $K_i=0$, $K_d=0$ $SP=14.8$;

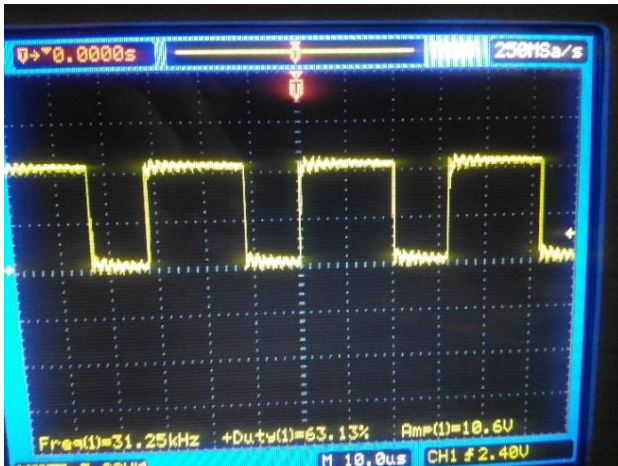
Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)	Efficiency(%)
23	4.1	14.1	6	89.71
23.5	4.2	14.55	6.1	89.92
24	4.3	14.86	6.3	90.72
24.5	4.4	15.15	6.3	88.54
25	4.5	15.45	6.5	89.27
25.5	4.6	15.77	6.7	90.08



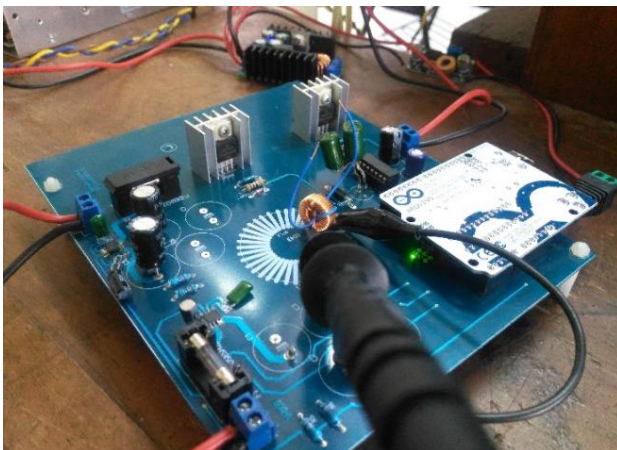
Gambar 4. 7 Grafik Mode Buck 2



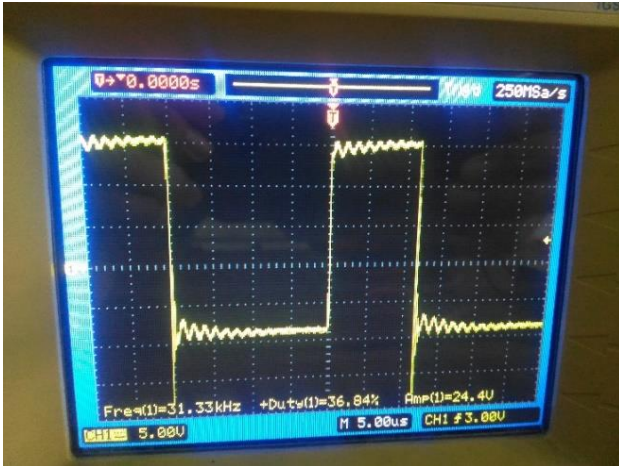
Gambar 4.8 Sinyal PWM tanpa Beban



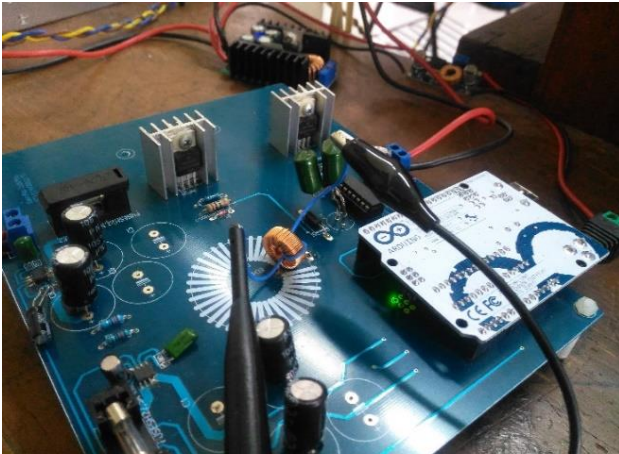
Gambar 4.9 Sinyal PWM dengan Beban



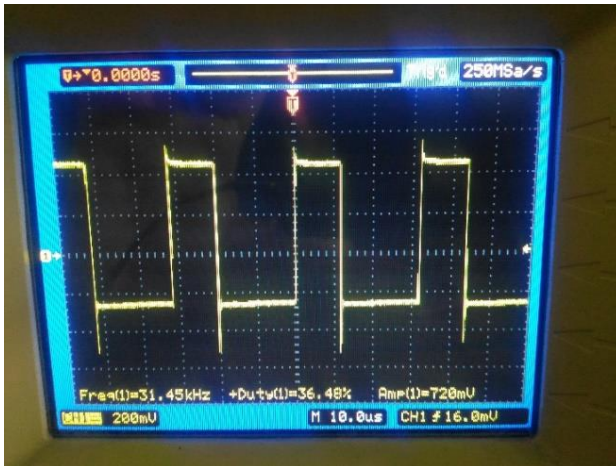
Gambar 4.10 Pengukuran Tegangan Induktor



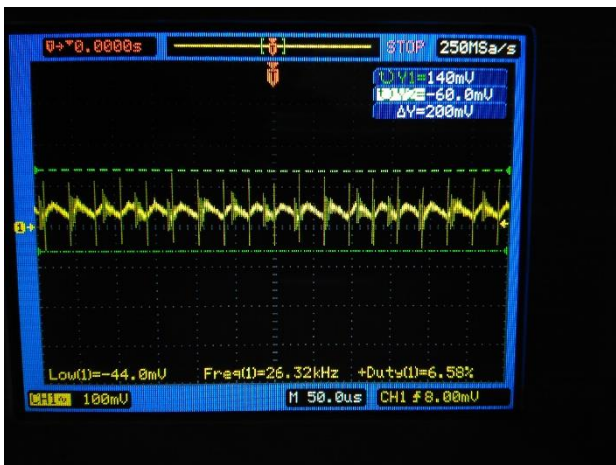
Gambar 4.11 Sinyal Tegangan Induktor 1



Gambar 4.12 Pengukuran Tegangan Induktor 2



Gambar 4.13 Sinyal Tegangan Induktor 2



Gambar 4.14 Ripple Tegangan Mode Buck

4.2.2 Pengujian Mode Boost

Pengujian mode *Boost* dilakukan pada modul dengan menggunakan Beban yang digunakan merupakan resistor dengan hambatan 23 ohm. Pengujian secara *open-loop* dengan tegangan *input* 12.8V dan sinyal PWM *duty cycle* 50% menghasilkan *Output* 23.5V. Kemudian perocbaan dilakukan dengan menggunakan *closed loop feedback control*. Dengan set point yang ditetapkan yaitu pada 24. pengujian dilakukan dengan mengubah variabel gain kontroller PID sebagai berikut dengan hasil yang disajikan pada Tabel 4.5, tabel 4.6, tabel 4.7, tabel 4.8, dan tabel 4.9 dan grafik visual hasil pengujian pada gambar 4.13, gamabr 4.14, gambar 4.15, gambar 4.17 dan gambar 4.18. Hasil terbaik adalah menggunakan kontroller *proporsional* dengan *gain* 4.5 dengan tegangan *output* 24V dengan tegangan *input* 15V serta memiliki *ripple* tegangan pada gambar 4.26.

Tabel 4. 5 Pengujian Mode Boost 1

Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=1$, $K_i=0$, $K_d=0$, SP24;

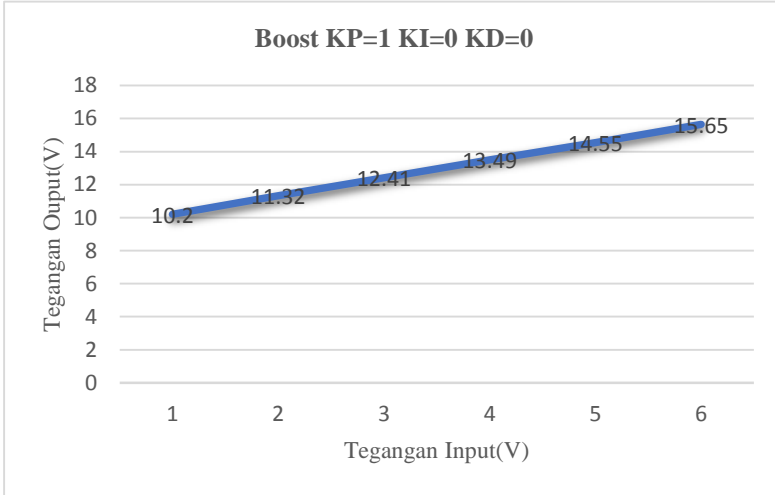
Vin(V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efficiency%
10	0.49	10.2	0.43	89.51
11	0.54	11.32	0.48	91.47
12	0.59	12.41	0.53	92.90
13	0.64	13.49	0.57	92.42
14	0.69	14.55	0.62	93.39
15	0.75	15.65	0.67	93.20

Tabel 4.6 Pengujian Mode Boost 2

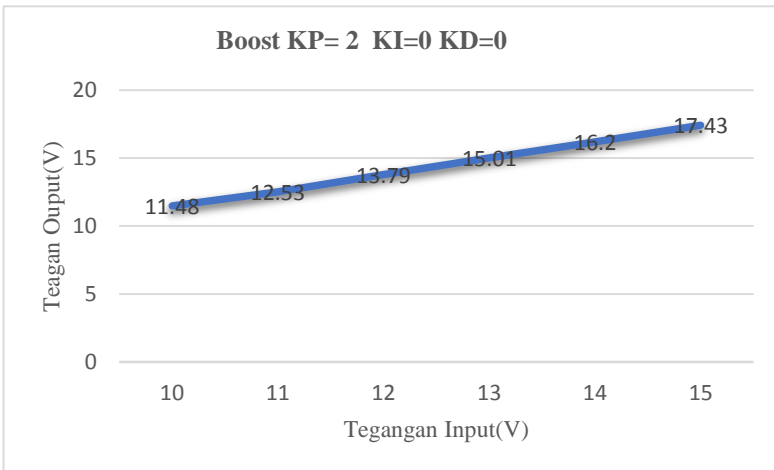
Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=2$, $K_i=0$, $K_d=0$, SP=24;

Vin(V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efficiency%
10	0.61	11.48	0.49	92.22
11	0.67	12.53	0.53	90.11
12	0.74	13.79	0.59	91.62
13	0.8	15.01	0.64	92.37

14	0.87	16.2	0.69	91.77
15	0.93	17.43	0.74	92.46



Gambar 4.15 Grafik Mode Boost 1



Gambar 4.16 Grafik Mode Boost 2

Tabel 4.7 Pengujian Mode Boost 3

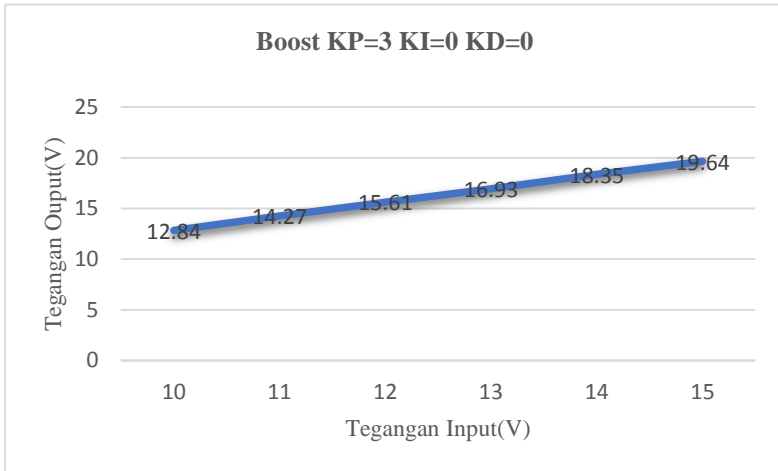
Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=3$, $K_i=0$, $K_d=0$ SP=24;

Vin(V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efficiency%
10	0.78	12.84	0.55	90.54
11	0.87	14.27	0.67	99.90
12	0.95	15.61	0.67	91.74
13	1.03	16.93	0.72	91.04
14	1.12	18.35	0.78	91.28
15	1.18	19.64	0.83	92.10

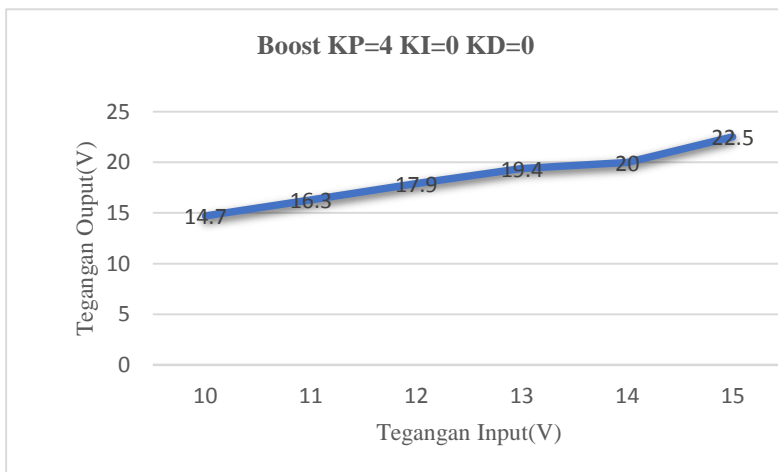
Tabel 4.8 Pengujian Mode Boost 4

Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=4$, $K_i=0$, $K_d=0$ SP=24;

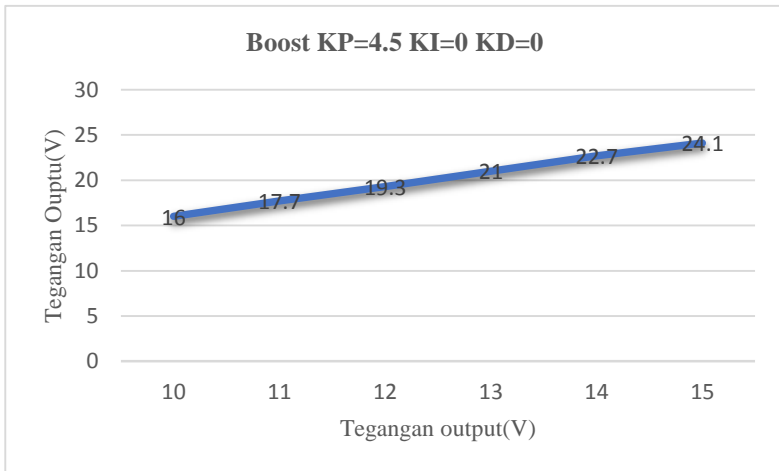
Vin(V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efficiency%
10	1.04	14.7	0.63	89.05
11	1.15	16.3	0.7	90.20
12	1.27	17.9	0.77	90.44
13	1.37	19.4	0.83	90.41
14	1.48	20	0.9	86.87
15	1.59	22.5	0.97	91.51



Gambar 4.18 Grafik Mode Boost 3



Gambar 4.17 Grafik Mode Boost 4

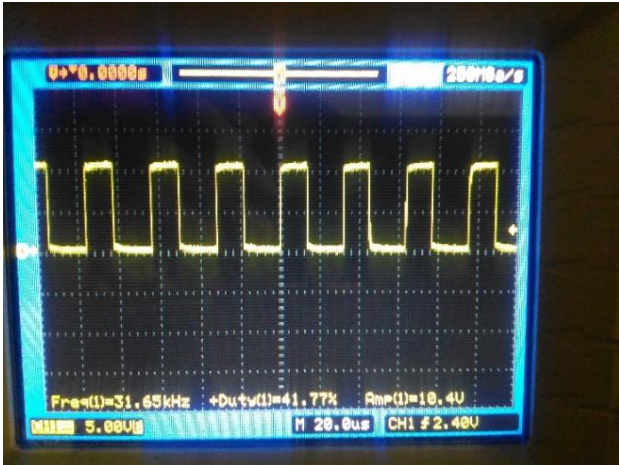


Gambar 4.19 Grafik Mode Boost 5

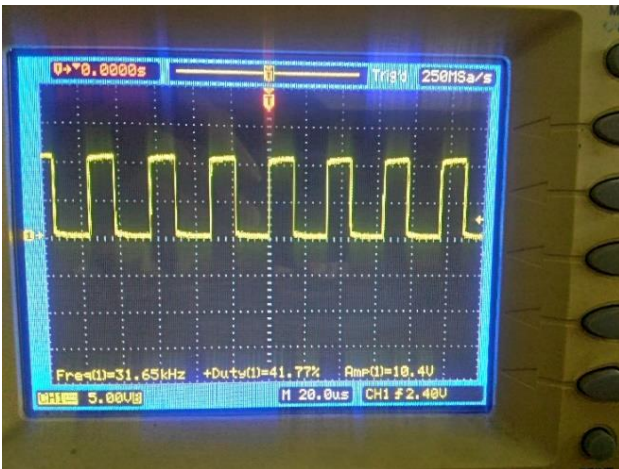
Tabel 4.9 Pengujian Mode Boost 5

Tabel Hasil pengujian dengan $K_p=4.5$, $K_i=0$, $K_d=0$ $SP=24$;

Vin(V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)	Efficiency%
10	1.23	16	0.69	89.76
11	1.36	17.7	0.76	89.92
12	1.48	19.3	0.83	90.20
13	1.61	21	0.9	90.30
14	1.74	22.7	0.98	91.32
15	1.86	24.1	1.04	89.84



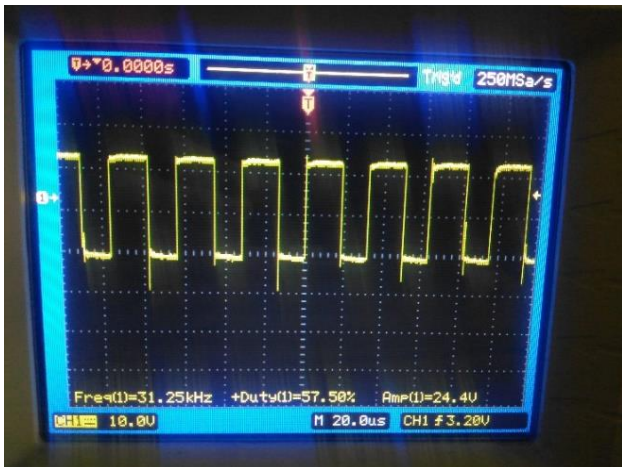
Gambar 4.20 Sinyal PWM tanpa Tegangan



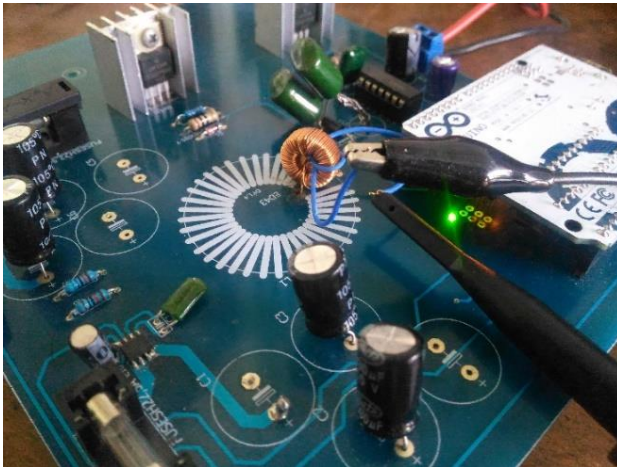
Gambar 4.21 Sinyal PWM dengan Beban



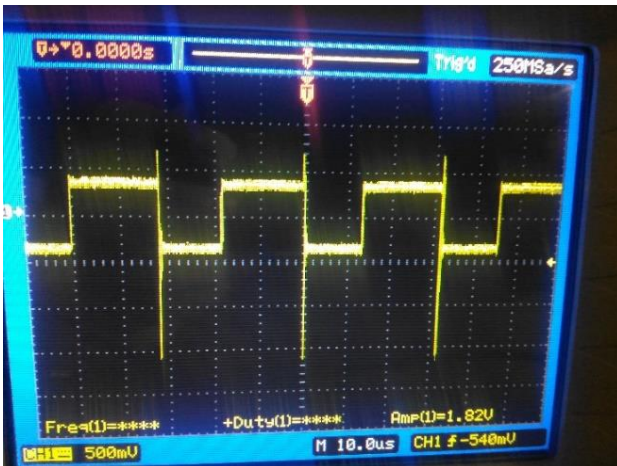
Gambar 4.22 Pengukuran Tegangan Induktor 1



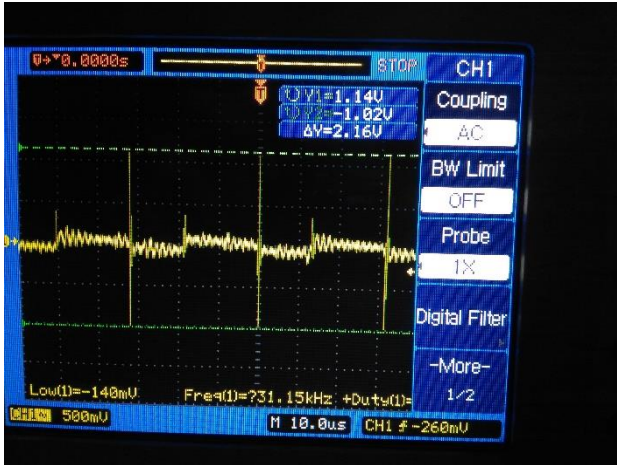
Gambar 4.23 Sinyal Tegangan Induktor 1



Gambar 4.24 Pengukuran Tegangan Induktor 2



Gambar 4.25 Sinyal Tegangan Induktor 2



Gambar 4.26 Ripple Tegangan Mode Boost

4.3 Analisis Perngujian

4.3.1 Analisis Sensor

Hasil pembacaan sensor *voltage divider* dengan menggunakan resistor 56K dan resistor 10K didapatkan hasil yang baik.. Dilihat dari tabel 4.1 antara tegangan terukur dan tegangan terbaca memiliki nilai *error* rata-rata 0.083, serta nilai *error* antara nilai tegangan terukur dan tegangan terbaca akan terus naik seiring naiknya tegangan input. Hasil pembacaan memiliki grafik *input-output* yang linear(gambar 4.1) sehingga akan mempermudah kalkulasi nilai tegangan pada controller di dalam arduino.

Sedangkan untuk pembacaan arus listrik dengan menggunakan *transducer* arus ACS712 juga mendapatkan hasil yang baik. dilihat pada tabel 4.2 hasil pembacaan arus terukur dan arus terbaca memiliki nilai *error* rata-rata pembacaan sebesar 0.0163. Berbeda dengan pembacaan sensor tegangan, sensor arus memiliki nilai *error* yang tekesan acak di setiap nilai arus yang diinputkan di dalam sensor. Hasil pembacaan grafik *input-output* juga didapatakn hasil pembacaan yang linear(gambar 4.2).

4.3.2 Analisis Konverter

Hasil yang didapatkan di dalam mode *buck* mendapatkan hasil terbaik dengan menggunakan nilai *gain* $KP=11$ sedangkan $KI=0$, dan

KD=0. Jika dibandingkan nilai KP=11 dengan nilai KP=10, nilai *gain* KP=11 menghasilkan tegangan *ouput* yang lebih mendekati nilai S P yaitu 14.86V sedangkan nilai *gain* KP=10 tegangan *output* yang didapatkan 13.45V masing-masing dengan nilai set point 14.8V dengan tegangan *input* 24V (tabel 4.3 dan tabel 4.4). dengan nilai *gain* KP=11 dan tegangan *output* 14.86V arus yang mengalir ke beban uji 23Ohm mencapai 6.3mA maka daya output sekaitar 93.618mW.

Sedangkan, pada mode *boost* hasil yang didapatkan pada mode *boost* mendapatkan hasil yang terbaik didapatkan pada nilai *gain* KP=4.5 dengan nilai KI=0, KD=0. Jika dibandingkan nilai *gain* KP=4.5 dengan nilai KP=4, nilai *gain* KP=4.5 menghasilkan tegangan *output* 24.1V dan nilai *gain* KP=4 menghasilkan tegangan *output* 22.5V masing-masing dengan nilai set point 24V dan tegangan *input* 15V (tabel 4.8 dan tabel 4.9). Dengan nilai *gain* KP=4.5 dan tegangan ouput 24.1V daya yang mengalir pada beban uji 23 ohm sekitar 25.064W.

Penggunaan kontroller *Proporsional* akan menghasilkan *output* yang juga akan proporsional terhadap *error* yang diberikan. Penggunaan nilai *gain* KP yang besar akan menghasilkan nilai yang akan mendekati dengan *set point*. Dari hasil pengujian baik pada mode *buck* maupun pada mode *boost*, tegangan *output* yang dihasilkan akan linier terhadap setiap *error* dan tegangan *input* yang diberikan (gambar 4.5 dan gambar 4.5)(gambar 4.16 dan gambar 4.18).

Hasil pengujian mode *buck* memiliki *output voltage ripple* yang dapat dilihat pada gambar 4.14. serta hasil pengujian mode *boost* memiliki *ouput voltage ripple* yang dapat dilihat pada gambar 4.26. Hasil pengamatan dengan osiloskop mode *buck* memiliki *ripple* tegangan ouput sebesar 200mV *peak-to-peak*. Sedangkan Hasil pengamatan dengan osiloskop mode *boost* memiliki *ripple* tegangan ouput sebesar 2.16V, *ripple* tegangan pada mode *boost* juga memiliki *spiking* pada ouput tegangan.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari bagian perancangan, pengujian, serta analisa sistem, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. *Bidirectional DC-DC Converter* dirancang dengan menggunakan mikrokontroler arduino uno yang berfungsi sebagai controller utama.
2. Arduino bertugas untuk membaca rangkaian sensor dan *transducer*, membangkitkan tegangan referensi, dan mengatur mode untuk *Bidirectional DC-DC Converter*.
3. *Voltage divider* dan ACS712 berfungsi untuk membaca tegangan dan arus masing-masing di kedua sisi, dari data yang didapatkan maka arduino dapat membaca daya sehingga arduino dapat memberi tindakan mode apa yang akan digunakan.
4. Hasil *output* konverter dengan *closed loop feedback controller* menghasilkan *output* yang lebih baik daripada proses *open loop* tanpa *feedback controller*.
5. Pada Mode *Buck* dapat menghasilkan tegangan output 14.8V pada tegangan input 24V dengan efisiensi daya 90.72%.
6. Pada Mode *Buck ripple* tegangan *output* sebesar 200mV.
7. Pada Mode *Boost* dapat menghasilkan tegangan output 24.1V pada tegangan input 15V dengan efisiensi daya 89.84%.
8. Pada Mode *Boost ripple* tegangan *output* dapat mencapai 2.16V yang disebabkan oleh adanya *spiking* tegangan.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman dari penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini:

1. Bisa ditambahkan menggunakan metode starting konverter yang baik. seperti *softstarter*, resistor inrush-current limiter, relay starter, timer delay dl.
2. Perlu Memperhatikan Frekuensi PWM yang digunakan sebagai frekuensi *Switching* baik pada mode *buck* dan mode *boost*.

3. Penggunaan frekuensi PWM yang tepat dan komponen yang baik dapat membantu memperbaiki desain konverter yang lebih baik.
4. Sinyal PWM masih terjadi osilasi pada sinyal PWM sehingga perlu dilakukan analisa yang lebih lanjut untuk mengeliminasi adanya osilasi.
5. Menambah Antarmuka (*Interface*) Ouput berupa LED atau LCD dan Antarmuka Input berupa *Push button* atau *Switch* sebagai mekanisme bantuan.
6. Perlu menggunakan PCB yang baik dengan *ground* yang bagus.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral EBTKE Kementerian ESDM, “Energi Baru Terbarukan Dukung Pencapaian Kemandirian Energi Nasional - Kementerian ESDM Republik Indonesia.” [Online]. Available: <http://www.ebtke.esdm.go.id/post/2017/10/03/1760/energi.baru.terbarukan.dukung.pencapaian.kemandirian.energi.nasional>. [Accessed: 02-May-2018].
- [2] Direktorat Jendral EBTKE Kementerian ESDM, “Pemerintah Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin - Kementerian ESDM Republik Indonesia.” [Online]. Available: <http://www.ebtke.esdm.go.id/post/2013/05/15/393/pemerintah.optimalisasi.pembangkit.listrik.tenaga.angin>. [Accessed: 02-May-2018].
- [3] International Energy Agency, “Renewables 2017.” [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/renewables2017/>. [Accessed: 01-May-2018].
- [4] R. P. Eviningsih, “PENGATURAN KONVERTER DC-DC MODIFIED PERTURBATION AND OBSERVATION,” 2016.
- [5] M. Ashari, *Desain Konverter Elektronika Daya*. Bandung: Penerbit INFORMATIKA, 2017.
- [6] The Arduino Community, “What is Arduino?” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Accessed: 25-Jul-2018].
- [7] Atmel, “ATmega48P/V* ATmega88P/V* ATmega168P/V ATmega328P**,” 2009.
- [8] International Rectifier, “IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF High Side and Low Side Driver Datasheet.” pp. 1–17, 2019.
- [9] R. H. Dorf and R. C. Bishop, *Modern Control System*. Upper Saddle Rive, New Jersey: Prentice Hall, 2008.
- [10] Atmel, “AVR221 : Discrete PID Controller on tinyAVR and megaAVR devices,” 2016.
- [11] M. E. A. Rashid, *Power Electronic Handbook*. San Diego, California: Academic Press, 2001.
- [12] Allegro, “ACS712 Datasheet,” pp. 1–14, 2007.
- [13] L. C. Rosario, “Power and Energy Management of Multiple Energy Storage Systems in Electric Vehicles PhD Thesis Power and Energy Management of Multiple Energy Storage Systems in Electric Vehicles,” Cranfield University, 2007.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN A-LISTING PROGRAM

```
/*Listing Program Mode Buck*/
float SetPoint=14.8;
float Kp=11;
float Ki=0;
float Kd=0;
float BuckError;
float BuckRateError;
float BuckCumulativeError;
float LastError;
float ElapsedTime=0.0001;
double BuckPWM;

int vsourcePin=A0;
int csourcePin=A1;
int vstoragePin=A2;
int cstoragePin=A3;

int vsourceRead=0;
int csourceRead=0;
int vstorageRead=0;
int cstorageRead=0;

double vsource=0;
double csource=0;
double vstorage=0;
double cstorage=0;
double psource=0;
double pstorage=0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(192000);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  TCCR1B = TCCR1B & B11111001;
}
```

```

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  vsourceRead=analogRead(A0);
  vsource=((vsourceRead*5.0)/1023)/0.1515;
  csourceRead=analogRead(A1);
  csource=(((csourceRead-512)*5.0)/1023)/0.185;
  vstorageRead=analogRead(A2);
  vstorage=((vstorageRead*5.0)/1023)/0.1515;
  cstorageRead=analogRead(A3);
  cstorage=(((cstorageRead-512)*5.0)/1023)/0.185;
  psource=vsource*csource;

  BuckError=SetPoint-vstorage;
  BuckCumulativeError=(BuckError+LastError)*ElapsedTime;
  BuckRateError=(BuckError-LastError)/ElapsedTime;

  BuckPWM=(Kp*BuckError)+(Ki*BuckCumulativeError)+(Kd*BuckRateError);
  if(BuckPWM>255){
    BuckPWM=255;
  } else if(BuckPWM<0){
    BuckPWM=0;
  } else{}

  LastError=BuckError;

  Serial.print("Source Voltage:");
  Serial.println(vsource);
  Serial.print("Source Current:");
  Serial.println(csource);
  Serial.print("Storage Voltage");
  Serial.println(vstorage);
  Serial.print("Storage Current:");
  Serial.println(cstorage);
  Serial.print("BuckPWM:");
  Serial.println(BuckPWM);
  Serial.print("BuckError:");
  Serial.println(BuckError);

```



```

Serial.print("BuckCumulativeError");
Serial.println(BuckCumulativeError);
Serial.print("BuckRateError:");
Serial.println(BuckRateError);
Serial.print("LastError:");
Serial.println(LastError);

digitalWrite(8,LOW);
digitalWrite(10,LOW);
analogWrite(9,BuckPWM);
}

/*Listing Program Mode Boost*/
float SetPoint=24;
float Kp=4.5;
float Ki=0;
float Kd=0;
float BoostError;
float BoostRateError;
float BoostCumulativeError;
float LastError;
float ElapsedTime=0.0001;
double BoostPWM;

int vsourcePin=A0;
int csourcePin=A1;
int vstoragePin=A2;
int cstoragePin=A3;

int vsourceRead=0;
int csourceRead=0;
int vstorageRead=0;
int cstorageRead=0;

double vsource=0;
double csource=0;
double vstorage=0;
double cstorage=0;
double psource=0;

```

```

double pstorage=0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  TCCR1B = TCCR1B & B11111001;
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  vsourceRead=analogRead(A0);
  vsource=((vsourceRead*5.0)/1023)/0.1515;
  csourceRead=analogRead(A1);
  csource=(((csourceRead-512)*5.0)/1023)/0.185;
  vstorageRead=analogRead(A2);
  vstorage=((vstorageRead*5.0)/1023)/0.1515;
  cstorageRead=analogRead(A3);
  cstorage=(((cstorageRead-512)*5.0)/1023)/0.185;
  psource=vsource*csource;

  Serial.print("Source Voltage:");
  Serial.println(vsource);
  Serial.print("Source Current:");
  Serial.println(csource);
  Serial.print("Storage Voltage");
  Serial.println(vstorage);
  Serial.print("Storage Current:");
  Serial.println(cstorage);
  Serial.print("BuckPWM:");
  Serial.println(BoostPWM);
  Serial.print("BuckError:");
  Serial.println(BoostError);

  BoostError=SetPoint-vsource;
  BoostCumulativeError=(BoostError+LastError)*ElapsedTime;
  BoostRateError=(BoostError-LastError)/ElapsedTime;

```

```
BoostPWM=(Kp*BoostError)+(Ki*BoostCumulativeError)+(Kd*Boost
RateError);
    if(BoostPWM>255){
        BoostPWM=255;
    } else if(BoostPWM<0){
        BoostPWM=0;
    } else{ }

    LastError=BoostError;

    digitalWrite(8,LOW);
    digitalWrite(9,LOW);
    analogWrite(10,BoostPWM);
}
```

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN B-DATASHEET

IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

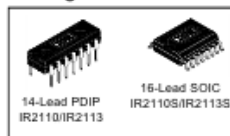
Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
- Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

Product Summary

V _{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
I _O +/-	2A / 2A
V _{OUT}	10 - 20V
t _{on/off} (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

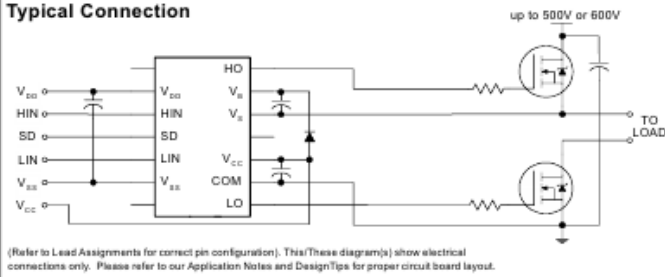
Packages



Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Typical Connection



Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V_B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V_S	High side floating supply offset voltage	$V_B - 25$	$V_B + 0.3$		
V_{HO}	High side floating output voltage	$V_S - 0.3$	$V_B + 0.3$		
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V_{LO}	Low side output voltage	-0.3	$V_{CC} + 0.3$		
V_{DD}	Logic supply voltage	-0.3	$V_{SS} + 25$		
V_{SS}	Logic supply offset voltage	$V_{CC} - 25$	$V_{CC} + 0.3$		
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$		
dV_o/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
$R_{\theta JA}$	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	°C	
T_S	Storage temperature	-55	150		
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply absolute voltage	$V_S + 10$	$V_S + 20$	V
V_S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S	V_B	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V_{LO}	Low side output voltage	0	V_{CC}	
V_{DD}	Logic supply voltage	$V_{SS} + 3$	$V_{SS} + 20$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS}	V_{DD}	
T_A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to $-V_{SS}$. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When $V_{DD} < 5V$, the minimum V_{SS} offset is limited to $-V_{DD}$.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

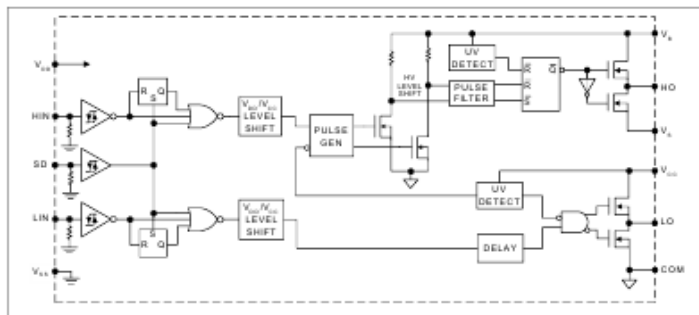
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IH} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_{O} and I_{O} parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

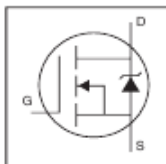
Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
V_{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V_{SS}	Logic ground
V_b	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V_s	High side floating supply return
V_{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



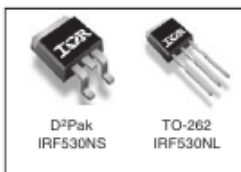
$V_{DS} = 100V$
 $R_{DS(on)} = 90m\Omega$
 $I_D = 17A$

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The D²Pak is a surface mount power package capable of accommodating die sizes up to HEX-4. It provides the highest power capability and the lowest possible on-resistance in any existing surface mount package. The D²Pak is suitable for high current applications because of its low internal connection resistance and can dissipate up to 2.0W in a typical surface mount application.

The through-hole version (IRF530NL) is available for low-profile applications.



D²Pak
IRF530NS

TO-262
IRF530NL

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ Ⓢ	17
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ Ⓢ	12
I_{DM}	Pulsed Drain Current Ⓢ Ⓣ	60
$P_D @ T_A = 25^\circ C$	Power Dissipation	3.8
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	70
	Linear Derating Factor	0.47
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20
I_{AR}	Avalanche Current Ⓢ	9.0
E_{ASR}	Repetitive Avalanche Energy Ⓢ	7.0
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Ⓢ Ⓣ	7.4
T_J	Operating Junction and	-55 to +175
T_{STG}	Storage Temperature Range	
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)

Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	2.15	°C/W
$R_{\theta JA}$	—	40	°C/W

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu\text{A}$
$\Delta V_{(BR)DSS}(T)$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	$^\circ\text{C}^{-1}$	Reference to 25°C , $I_D = 1\text{mA}$ ①
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	90	$\text{m}\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 9.0A$ ②
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu\text{A}$
g_{fs}	Forward Transconductance	12	—	—	S	$V_{GS} = 50V, I_D = 9.0A$ ③ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	37	nC	$I_D = 9.0A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	7.2	nC	$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	11	nC	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 ⑤
$t_{D(on)}$	Turn-On Delay Time	—	9.2	—	ns	$V_{DS} = 50V$ $I_D = 9.0A$
t_r	Rise Time	—	22	—	ns	$R_G = 12\Omega$
$t_{D(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	35	—	ns	$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ⑥ ⑦
t_f	Fall Time	—	25	—	ns	
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	920	—	pF	$V_{DS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	130	—	pF	$V_{DS} = 25V$
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance	—	19	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5 ⑧
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ⑨ ⑩	—	340 ⑪	93 ⑫	mJ	$I_{AS} = 9.0A, L = 2.3\text{mH}$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	17	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ⑬	—	—	60	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 9.0A, V_{GS} = 0V$ ⑭
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	93	140	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 9.0A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	320	480	nC	$dI/dt = 100A/\mu\text{s}$ ⑮ ⑯
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
 ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 2.3\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 9.0A$, $V_{GS} = 10V$ (See Figure 12)
 ③ $I_{DQ} \leq 9.0A$, $dI/dt \leq 410A/\mu\text{s}$, $V_{DS} \leq V_{(BR)DSS}$,
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
 ④ Pulse width $\leq 400\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

- ⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
 ⑥ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.
 ⑦ Uses IRF530N data and test conditions.
 **When mounted on 1" square PCB (FR-4 or G-10 Material). For recommended footprint and soldering techniques refer to application note #AN-994

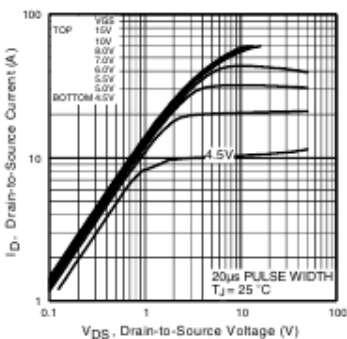


Fig 1. Typical Output Characteristics

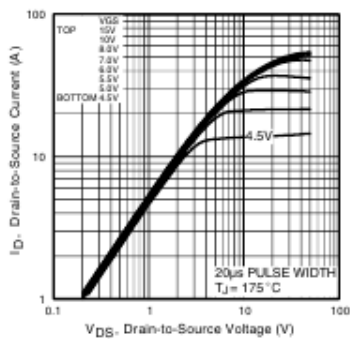


Fig 2. Typical Output Characteristics

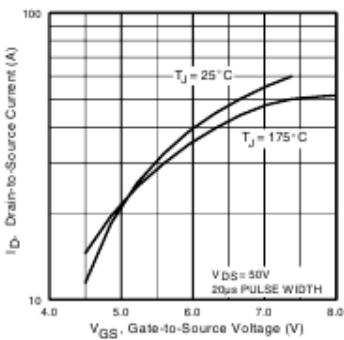


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

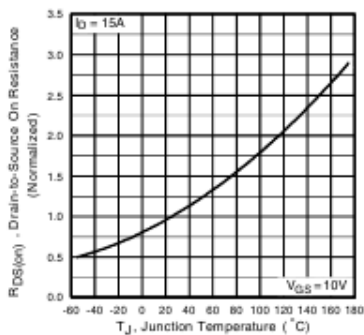


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

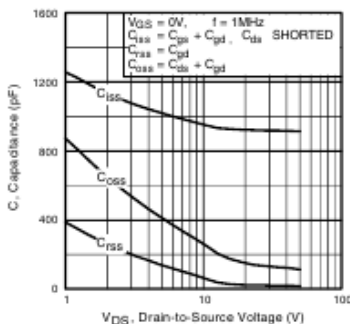


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

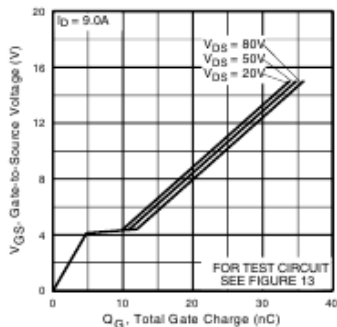


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

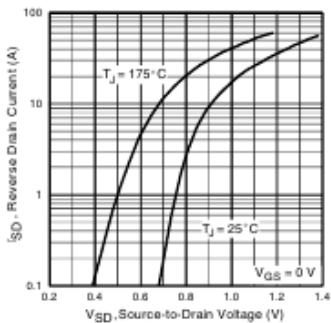


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

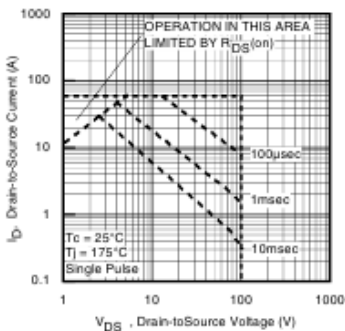


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

Description

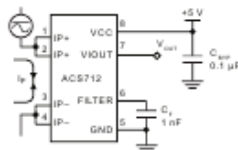
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{OUT}(0)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_p is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The lead frame is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _S (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RECC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{REOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _{OC}	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFB}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFR}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fine and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_p = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(P-P)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_p = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_p = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{NOISE(P-P)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_p = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_p = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_p , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{NOISE(P-P)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_p = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(0)}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_p = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²Percentage of I_p , with $I_p = 30\text{ A}$. Output filtered.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BIODATA PENULIS



Penulis buku ini memiliki nama lengkap Syarofan Zulfahmi. Penulis dilahirkan di Kab. Jombang, Jawa Timur pada tanggal 27 Februari 1996. Penulis menghabiskan masa kecil dan masa remaja di Kab.Jombang dan menempuh pendidikan dasar di SD Negeri Pesantren, Tembelang kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Jombang pada tahun 2008 dan kemudian meneruskan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Jombang pada tahun 2011. Pada tahun 2014 penulis meneruskan pendidikan tinggi di departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil konsentrasi di bidang studi Elektronika. Selama menjalani perkuliahan penulis aktif sebagai pengurus divisi elektronika workshop dan aktif sebagai asisten praktikum rangkaian listrik dan rangkaian elektronika. Semenjak menempuh pendidikan menengah penulis memiliki ketertarikan untuk mengikuti perkembangan di bidang teknologi dan informasi.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....