



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER AC-DC *BOOST BRIDGELESS* DENGAN *POWER FACTOR CORRECTION***

Decki Resdyanto Sudiro  
NRP 2211100191

Dosen Pembimbing  
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.  
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DESIGN AND IMPLEMENTATION AC-DC *BRIDGELESS*  
*BOOST CONVERTER* WITH *POWER FACTOR*  
*CORRECTION***

Decki Resdyanto Sudiro  
NRP 2211100191

Advisor  
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.  
Ir. Arif Musthofa, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER  
AC-DC BOOST BRIDGELESS DENGAN  
POWER FACTOR CORRECTION**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

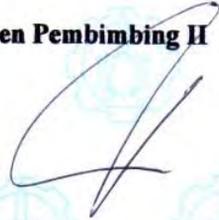
**Dosen Pembimbing I**

02/07/15



**Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 197311192000031001

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Arif Musthofa, MT.**  
NIP. 196608111992031004



# **DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER AC-DC *BOOST BRIDGELESS* DENGAN *POWER FACTOR CORRECTION***

Decki Resdyanto Sudiro  
2211100191

Dosen Pembimbing 1 : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Arif Musthofa, MT.

## **ABSTRAK**

Teknologi konverter berkembang cukup pesat seiring dengan perkembangan teknologi dibidang konversi energi listrik. Mobil listrik sebagai salah satu produk yang ramah lingkungan, membutuhkan konverter AC-DC untuk mencatu daya listrik pada baterai mobil listrik. Berbagai jenis topologi AC-DC berkembang misalnya konverter AC-DC *boost* konvensional, AC-DC *boost bridgeless*, dan lain-lain. Masing-masing konverter memiliki kelebihan dan kekurangan.

Dalam Tugas Akhir ini didesain dan diimplementasikan konverter AC-DC *boost bridgeless*. Pada dasarnya, perbedaan antara topologi *bridgeless* dengan topologi konvensional adalah dua buah MOSFET sebagai perangkat penyaluran pada topologi konverter AC-DC *boost bridgeless*. Selain itu, untuk mempertahankan efektivitas *boost* pada konverter ini, dua induktor diberikan pada sisi masukan konverter AC-DC *boost bridgeless*.

Dalam implementasi Tugas Akhir ini menghasilkan konverter AC-DC *boost bridgeless* yang memiliki faktor daya pada sisi masukan arus bolak-balik mendekati satu dengan teknik kontrol arus dengan efisiensi rata-rata 88,90 %.

**Kata Kunci :** Konverter AC-DC *boost bridgeless*, *power factor correction*, kontrol arus.

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

# DESIGN AND IMPLEMENTATION AC-DC BRIDGELESS BOOST CONVERTER WITH POWER FACTOR CORRECTION

Decki Resdyanto Sudiro  
2211100191

1<sup>st</sup> Advisor : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

2<sup>nd</sup> Advisor : Ir. Arif Musthofa, MT.

## ***ABSTRACT***

*Converter technologies have developed rapidly along with the development of electric energy conversion technologies. Electric cars as one of the environmentally friendly products, requires AC-DC converter to distribute electrical power to the electric car batteries. Various types of AC-DC topologies evolve eg AC-DC boost converter conventional, AC-DC boost bridgeless, and others. Each converter has its advantages and disadvantages.*

*In this Final Project was designed and implemented AC-DC boost converter bridgeless. Basically, the difference between the bridgeless topology with conventional topology is two MOSFET as a switching device on the AC-DC bridgeless boost converter. In addition, to maintain the effectiveness of the boost converter, the two inductors are given on the input side of the AC-DC bridgeless boost converter.*

*In This Final Project implementation resulted in AC-DC bridgeless boost converter which has the power factor at the input side of the alternating current close to one or unity with current control technique and efficiency average at 88,90%.*

***Keyword: AC-DC bridgeless boost converter, power factor correction, current control.***

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhanallahu wa ta'ala* yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi wassalam*, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang berjudul:

### **DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONVERTER AC-DC *BOOST BRIDGELESS* DENGAN *POWER FACTOR CORRECTION***

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, dan seluruh keluarga yang telah banyak memberikan motivasi dan senantiasa memberikan doa yang tidak hentinya.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D dan Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingan.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS serta seluruh dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu selama proses perkuliahan.
4. Teman-teman SMA, IKEMAS SURABAYA, SMP yang telah memberikan motivasi, doa, dan semangat yang tiada henti selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Teman-teman asisten laboratorium Konversi Energi Listrik yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Juli 2015  
Penulis

***--Halaman ini sengaja dikosongkan--***

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Laporan .....	4
1.7 Relevansi .....	5

## **BAB II CATU DAYA *PRE-REGULATOR* DAN KONVERTER AC-DC *BOOST BRIDGELESS* DENGAN *POWER FACTOR CORRECTION***

2.1 Catu Daya <i>Pre-Regulator</i> .....	7
2.2 Konverter AC-DC <i>Boost</i> Konvensional .....	9
2.3 Konverter <i>Boost Bridgeless</i> .....	11
2.3.1 Strategi Penyaklaran ( <i>State</i> ) .....	12
2.4 Teknik Kontrol Arus .....	16
2.5 Hubungan PF dengan <i>Total Harmonic Distortion</i> Arus .....	20

## **BAB III PERANCANGAN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI KONVERTER**

3.1 Perancangan Rangkaian Konverter AC-DC <i>Boost Bridgeless</i> .....	21
3.1.1 <i>Duty cycle</i> .....	22
3.1.2 Penentuan Parameter Rangkaian .....	22
3.1.3 Kontrol Strategi <i>Power Factor Correction</i> .....	24
3.2 Simulasi Konverter .....	25
3.2.1 Simulasi Konverter <i>Loop</i> Terbuka .....	25
3.2.2 Simulasi Konverter <i>Loop</i> Tertutup .....	30
3.3 Simulasi Sistem Catu Daya .....	33

3.3.1	Simulasi DC-DC <i>Boost</i> dan Kontroler <i>Voltage Regulator</i> .....	33
3.4	Implementasi Konverter AC-DC <i>Boost Bridgeless</i> .....	39

**BAB IV HASIL PENGUJIAN KONVERTER DAN ANALISIS DATA**

4.1	Deskripsi Konverter .....	41
4.2	Hasil Pengujian Konverter Secara Keseluruhan.....	45
4.2.1	Pengujian <i>Loop</i> Terbuka .....	45
4.2.2	Pengujian <i>Loop</i> Tertutup Perbandingan PF .....	48
4.2.3	Hubungan PF dengan THD ( <i>Total Harmonic Distortion</i> ) Arus .....	51
4.2.4	Pengujian Efisiensi .....	52

**BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran .....	55

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	57
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	59
-----------------------	----

<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	67
----------------------------	----

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Data Parameter Perancangan.....	21
<b>Tabel 3.2</b>	Nilai Simulasi.....	27
<b>Tabel 3.3</b>	Sebelum dan Sesudah diberikan Kontrol PID.....	32
<b>Tabel 3.4</b>	Data Desain Konverter DC-DC <i>Boost Voltage Regulator</i> .....	34
<b>Tabel 3.5</b>	Hasil Perhitungan Nilai Konstanta Kontrol.....	36
<b>Tabel 3.6</b>	Hasil Simulasi Desain Konverter DC-DC <i>Boost</i> .....	36
<b>Tabel 3.7</b>	Hasil Simulasi Konverter DC-DC <i>Boost</i> dengan Kontrol Tegangan.....	37
<b>Tabel 3.8</b>	Hasil Pengujian Desain Simulasi Konverter.....	37
<b>Tabel 4.1</b>	Daftar Komponen Implementasi Konverter.....	41
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Implementasi PFC dengan $V_s$ 25 Volt.....	49
<b>Tabel 4.3</b>	Perhitungan <i>Power Factor</i> .....	52

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem Konfigurasi Kasked.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Konverter AC-DC <i>Boost</i> Konvensional.....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Bentuk Gelombang <i>Full-wave Diode Bridge Rectifier</i> .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Rangkaian AC-DC <i>Boost Bridgeless</i> .....	12
<b>Gambar 2.5</b>	State I Konverter, Saat $t_{on}$ ( $t_0-t_1$ ).....	13
<b>Gambar 2.6</b>	State II Konverter, Saat $t_{off}$ ( $t_1-t_2$ ).....	13
<b>Gambar 2.7</b>	State Konverter dengan <i>Continuous Conduction Mode</i> (CCM).....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram Blok Kontrol Strategi.....	18
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Process Reaction Curve</i> Metode II.....	19
<b>Gambar 3.1</b>	Simulasi Pembangkitan Sinyal PWM.....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Perhitungan Pembangkitan Sinyal PWM.....	26
<b>Gambar 3.3</b>	Simulasi Konverter pada <i>Loop</i> Terbuka dengan Kontrol PWM.....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Bentuk Gelombang $V_s$ , $I_s$ , $V_o$ , dan $I_o$ untuk $V_s$ rms 25 Volt.....	27
<b>Gambar 3.5</b>	Definisi Riak Arus dan Tegangan Konverter AC-DC <i>Boost Bridgeless</i> . (a) Riak Tegangan ( $\Delta V_{co}$ ). (b) Riak Arus ( $\Delta I_L$ ).....	28
<b>Gambar 3.6</b>	Bentuk Gelombang Penyaklaran, $I_L$ , $V_{L1}$ , $V_{L2}$ , $V_o$ , $V_{D1}$ dan $V_{D2}$ . (a) Fase Positif $V_s$ . (b) Fase Negatif $V_s$ .....	29
<b>Gambar 3.7</b>	Kurva <i>D-M</i> .....	30
<b>Gambar 3.8</b>	Simulasi <i>Loop</i> Tertutup Rangkaian.....	31
<b>Gambar 3.9</b>	Bentuk Gelombang Arus Masukan dan Tegangan Masukan 25 V. (a) Sebelum Diberikan Kontroler. (b) Setelah Diberikan Kontroler.....	32
<b>Gambar 3.10</b>	Arsitektur Sistem Catu Daya pada Simulasi... ..	33
<b>Gambar 3.11</b>	Kurva Respon Konverter DC-DC <i>Boost</i> .....	35
<b>Gambar 3.13</b>	Bentuk Gelombang Tegangan Masukan ( $V_s$ ), Arus Masukan ( $I_s$ ), dan Tegangan Beban ( $V_{o2}$ ).....	39
<b>Gambar 3.12</b>	Desain Implementasi Konverter AC-DC <i>Boost Bridgeless</i> .....	44
<b>Gambar 4.1</b>	Implementasi Konverter. (1) Saklar dan Fuse. (2) Induktor Toroid. (3) Sensor Tegangan. (4) Kapasitor. (5) Jembatan Dioda dan MOSFET. (6)	

	Driver MOSFET. (7) Kontroler. (8) Sensor Arus Dibawah Kontroler.....	44
<b>Gambar 4.2</b>	Bentuk Gelombang Penyaklaran ( $V_{gate}$ ), Tegangan Dioda ( $V_{DI}$ ), Riak Arus Induktor ( $\Delta I_L$ ), dan Tegangan Induktor ( $V_{LI}$ ). .....	45
<b>Gambar 4.3</b>	Riak Tegangan .....	46
<b>Gambar 4.4</b>	Bentuk Gelombang $I_o$ , $V_s$ , $I_s$ , dan $V_o$ .....	46
<b>Gambar 4.5</b>	Kurva D-M Perbandingan Implementasi dan Perhitungan. ....	47
<b>Gambar 4.6</b>	Bentuk Gelombang Keluaran Arus dan Tegangan. (a) $V_s = 22.5$ Volt. (b) $V_s = 25$ Volt. (c) $V_s = 27.5$ Volt. ....	48
<b>Gambar 4.7</b>	Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Masukan pada Beban Penuh 90 Watt. (a) Sebelum Diberikan Kontrol. (b) Setelah Diberikan Kontrol.....	50
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan Nilai <i>Power Factor</i> Simulasi dan Implementasi. (a) Sebelum Diberikan Kontroler. (b) Sesudah Diberikan Kontroler. ....	50
<b>Gambar 4.9</b>	Harmonisa .....	51
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Efisiensi .....	53

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu aplikasi konverter adalah untuk sistem catu daya pada mobil listrik. Mobil listrik memanfaatkan baterai sebagai penyimpan utama sumber energi listrik untuk menggerakkan motor listrik pada mobil. Sistem kelistrikan konvensional pada umumnya membangkitkan arus bolak-balik. Oleh karena itu, diperlukan konverter AC-DC untuk mendukung sistem catu daya pada mobil listrik. Tegangan konsumsi yang berada pada konsumen akhir listrik berada pada rentang tegangan rendah, misalnya dirumah-rumah pemilik mobil listrik, sehingga diperlukan konverter AC-DC yang memiliki fungsi menaikkan tegangan seperti AC-DC *boost* konverter, jenis konverter ini sudah mulai dikembangkan dengan berbagai topologi. Konverter ini yang nantinya mendukung sistem catu daya mobil listrik.

*Boost* konverter adalah bagian penting dari sistem penyimpanan energi untuk pengisian efisien perangkat statis [1]. Untuk meningkatkan efisiensi konverter AC-DC *boost* dilakukan inovasi topologi sebagai usaha untuk memperkecil rugi operasi pada komponen konverter [2]. Konverter AC-DC selain dibutuhkan untuk konversi arus bolak-balik dari sumber menjadi arus searah, pada umumnya juga akan dimanfaatkan untuk menstabilkan aliran arus pada konverter, misalnya untuk *power factor correction* (PFC), dan harmonisa untuk menekan rugi yang akan muncul, untuk itu diperlukan cukup banyak komponen untuk mengatasi masalah kualitas daya ini selain komponen utama dari konverter itu sendiri. Untuk aplikasi industri, sebuah konverter harus mengikuti standar yang ada seperti IEC 61000-3-2, standar Eropa yang mengatur tentang nilai harmonisa. Juga mengikuti standar *Environmental Protection Agency* (EPA), *Green Grid and Climate Savers* yang mengatur tentang efisiensi energi [3]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi topologi utama konverter AC-DC untuk mengurangi rugi dan meningkatkan efisiensi dari konverter. Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas topologi konverter AC-DC *boost bridgeless* yang akan disertai dengan perangkat *power factor correction*, serta akan dibuat dan didesain konverter dengan kontroler arus yang ditentukan. Pembuatan kontroler konverter AC-DC *boost bridgeless* akan didefinisikan berdasarkan komponen kontroler yang ada di pasaran. Konverter AC-

DC *boost bridgeless* ini merupakan konverter didalam arsitektur umum sebuah catu daya mobil listrik.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah mendesain dan mengimplementasikan konverter AC-DC *boost bridgeless* yang memiliki faktor daya mendekati 1 (*unity*) pada tegangan masukan tetap 25 Volt  $\pm$  10%.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Perancangan implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang ada di pasaran serta peralatan pendukung yang tersedia di laboratorium.
2. Implementasi menggunakan sumber tegangan masukan yang tetap dan beban menggunakan resistor.
3. Perancangan simulasi menyertakan kontrol *power factor correction* yang ditentukan dan implementasi kontrol *power factor correction* memperhatikan waktu pengerjaan konverter dan ketersediaan komponen penunjang di pasaran.
4. Tidak merancang kontrol tegangan keluaran dan filter harmonisa pada konverter yang akan dibuat.
5. Semua analisis dan perhitungan dilakukan pada keadaan tunak dan semua komponen dianggap ideal.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mendesain dan membuat implementasi alat konverter AC-DC *boost bridgeless* pada tegangan tetap yang ditentukan.
2. Memahami teknik kontrol *power factor correction* berupa kontrol arus untuk topologi konverter *pre-regulator* yang dibuat tanpa kontrol tegangan.
3. Mengetahui efisiensi dari implementasi alat untuk beban rendah yang dapat diuji hingga beban maksimum desain.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Tugas Akhir ini akan dikerjakan dengan metode pengumpulan data sekunder dan primer hingga pengambilan kesimpulan. Data sekunder

diambil dari hasil studi literatur dan pustaka beberapa sumber terkait yang kredibel seperti pada buku teori dasar tentang ilmu elektronika daya, dan hasil penelitian, *proceeding*, serta *paper*. Data sekunder yang didapatkan digunakan untuk acuan pengerjaan atau penelitian kegiatan Tugas Akhir. Data primer didapatkan dari hasil desain dan perancangan alat yang akan dilakukan, baik dari data simulasi dengan perangkat lunak untuk menguji hasil perhitungan menurut teori dan penelitian dari data sekunder, serta dari pengujian dan pengukuran implementasi alat yang dilakukan di laboratorium. Selanjutnya, akan dilakukan pengambilan kesimpulan hasil dari kegiatan Tugas Akhir ini. Proses yang akan dikerjakan pada kegiatan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan menjadi beberapa poin berikut :

### **1. Studi Literatur**

Seperti yang sudah dijelaskan, studi literatur berguna untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan berdasarkan teori maupun hasil penelitian yang dilakukan pihak lain. Data ini disebut data sekunder yang digunakan untuk acuan dalam mengerjakan dan membuktikan teori yang ada pada pengerjaan Tugas Akhir.

### **2. Desain Konverter**

Dengan data yang didapatkan dari sumber literatur, akan dilakukan desain alat yang berkaitan dengan kegiatan Tugas Akhir, dalam hal penentuan komponen, serta parameter uji konverter AC-DC *boost bridgeless*. Dimulai dengan menentukan komponen berdasarkan nilai tegangan uji, dan daya yang akan digunakan untuk penelitian. Penggunaan komponen menyesuaikan peralatan yang tersedia di dalam laboratorium dan komponen yang didapatkan di pasaran.

### **3. Simulasi Konverter**

Simulasi hasil desain konverter digunakan untuk acuan dalam implementasi alat, simulasi juga digunakan untuk data pembandingan dalam implementasi alat. Data yang didapatkan dari hasil simulasi

nantinya digunakan sebagai data primer dalam menganalisis hasil implementasi alat pengujian.

#### **4. Implementasi Alat dan Pengujian**

Setelah desain berhasil disimulasikan, baru kemudian desain konverter diimplementasikan dengan komponen yang telah ditentukan jika waktu pengerjaan masih memungkinkan. Beberapa metode pengujian yang akan dilakukan setelah konverter dipastikan sesuai dengan hasil simulasi maupun teori adalah pengujian konverter dengan daya yang berubah berdasarkan beban, dan pengujian dengan tegangan masukan tetap. Data yang didapatkan kemudian akan dianalisa dan diambil kesimpulan.

#### **5. Pengambilan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan**

Proses yang terakhir dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian konverter yang dibuat, yang akan ditulis dalam bentuk laporan akhir pengujian. Selain menarik kesimpulan dari hasil kegiatan Tugas Akhir akan diberikan saran berkaitan dengan pengembangan, penelitian, dan perancangan konverter AC-DC *boost*.

##### **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab akan terurai sebagai berikut:

1. BAB 1 merupakan pendahuluan yang berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi Tugas Akhir ini.
2. BAB 2 berisikan teori penunjang yang membahas tentang daya mobil listrik, konverter AC-DC *boost* konvensional, konverter AC-DC *boost bridgeless*, teknik kontrol arus, dan hubungan PF dengan *total harmonics distortion* arus.
3. BAB 3 berisi tentang uraian perancangan, simulasi dan implementasi sistem untuk daya 90 W yang akan diimplementasikan dan diuji di laboratorium.

4. BAB 4 berisi tentang analisis dari hasil pengujian implementasi alat konverter AC-DC *boost bridgeless*.
5. BAB 5 berisi tentang kesimpulan dan saran terhadap penelitian yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya untuk konverter AC-DC *boost bridgeless* dengan *power factor correction*.
2. Dapat menjadi referensi untuk mengembangkan sistem catu daya mobil listrik pada konverter *pre-regulator*.
3. Untuk referensi dalam pengerjaan topik Tugas Akhir maupun penelitian tentang konverter AC-DC *boost* dan riset pengembangan topologi konverter AC-DC *boost*.

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## BAB 2

### CATU DAYA *PRE-REGULATOR* DAN KONVERTER AC-DC *BOOST BRIDGELESS* DENGAN *POWER FACTOR CORRECTION*

#### 2.1 *Catu Daya Pre-Regulator*

Mobil listrik sebagai salah satu produk teknologi yang diklaim ramah lingkungan membutuhkan sebuah sistem catu daya untuk mencatu baterai. Baterai pada mobil listrik merupakan salah satu sumber listrik utama untuk menggerakkan mesin listrik pada mobil listrik. Catu daya mobil listrik harus memiliki kriteria tertentu agar dapat digunakan dengan baik, misalnya memiliki sistem *power factor correction* atau PFC, tegangan regulator, dan memiliki filter-filter yang dibutuhkan agar memiliki nilai harmonisa yang bagus. Di dalam sistem catu daya pasti memiliki konverter untuk mengkondisikan arus listrik, seperti konverter *boost*, *buck-boost*, *buck*, maupun konverter-konverter turunannya. Secara umum arsitektur catu daya pada mobil listrik adalah seperti pada gambar 2.1. Arsitektur catu daya mobil listrik dengan sumber AC memiliki bagian filter, AC-DC konverter dengan *power factor correction*, kapasitor bulk atau DC *link* kapasitor atau *low frequency power buffer* kapasitor yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

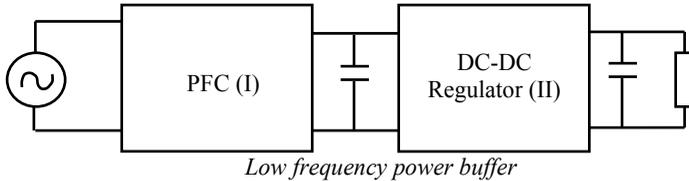
$$V_r = V_{p-p} = \frac{V_p}{R_L C} T = \frac{\sqrt{2}V_{sRMS} - V_D}{f_r R_L C} \quad (2.1)$$

Dimana :

- $V_{p-p}$  = *Peak to Peak Ripple*
- $V_{sRMS}$  = Tegangan keluaran PFC konverter.
- $V_D$  = Tegangan dioda
- $R_L$  = Beban
- $C$  = Nilai Kapasitor

yang selanjutnya terhubung dengan DC-DC konverter *voltage regulator*, lalu terhubung dengan beban atau dalam hal ini adalah baterai. Untuk itu dalam sebuah catu daya baterai mobil listrik dari sumber AC diperlukan beberapa tahap konversi listrik dan pengkondisian listrik dari faktor daya hingga regulator tegangan untuk menjaga tegangan pada nilai tertentu. Dalam presentasi IEEE *Distinguished Lecture 2005* [4], untuk mendapatkan nilai faktor daya dan pengaturan tegangan keluaran beban tidak dapat digunakan dengan sebuah konverter saja, paling sedikit diperlukan 2 konverter terhubung untuk mendapatkan faktor daya yang

baik dan regulasi tegangan yang bagus. Konfigurasi yang dapat digunakan untuk konverter PFC regulator adalah konfigurasi yang disebut sebagai struktur kasked, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2.1** Sistem Konfigurasi Kasked.

Untuk topologi konverter yang digunakan pada setiap tingkatan catu daya PFC atau DC-DC regulator menjadi fokus desain insinyur dibidang teknik konversi energi listrik, atau lebih khususnya bidang elektronika daya. Banyak konfigurasi yang digunakan dilakukan penelitian untuk menghasilkan konfigurasi catu daya yang memiliki efisiensi tinggi. Karena permasalahan utama pada konfigurasi kasked adalah pada aliran daya yang bertingkat dan melalui minimal dua kali proses konversi untuk mendapatkan konfigurasi catu daya yang memiliki sistem PFC dan kontrol tegangan keluaran yang baik. Efisiensi konfigurasi akan mengikuti rumus sederhana sebagai berikut :

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (2.2)$$

dimana :

$\eta_c$  = efisiensi catu daya

$\eta_1$  = efisiensi konverter pada tingkat I (PFC Konverter)

$\eta_2$  = efisiensi konverter pada tingkat II (*Voltage Regulator*)

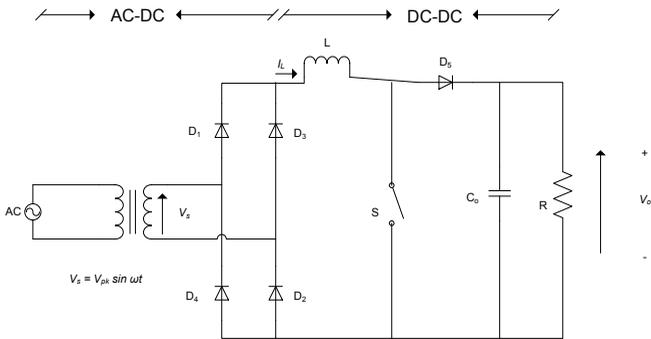
Berdasarkan rumus tersebut, konverter pada masing-masing tingkat dengan efisiensi 90% hanya akan mendapatkan sistem catu daya dengan efisiensi 0.81 atau 81%. Hal ini yang membuat mulai dikembangkannya topologi konverter yang memiliki efisiensi yang tinggi, muncul beberapa konverter seperti *bridgeless boost converter*, *interleaved boost converter*, *bridgeless interleaved boost converter*, dan lain-lain. Bahkan untuk topologi AC-DC konverter *bridgeless boost converter* berkembang menjadi beberapa jenis seperti *Semi-bridgeless phase-shifted boost converter* [1], *Bridgeless PFC boost rectifier with bidirectional switch*, *Bridgeless PFC boost rectifier with two dc/dc boost*

*circuits*, *Pseudo totem-pole bridgeless PFC boost rectifier*, dan *Totem-pole bridgeless PFC boost rectifier* [2]. Konverter tersebut yang sering dimanfaatkan pada topologi konverter tingkat I catu daya sebagai *power factor correction*. Konverter AC-DC *bridgeless* ini juga disebut konverter *pre-regulator* karena merupakan konverter yang berada satu tingkat sebelum konverter regulator (DC-DC *Voltage Regulator*). Untuk merancang sistem catu daya penuh diperlukan sebuah studi aliran daya pada sistem yang akan digunakan, hal ini dibahas secara mendalam dalam sebuah *paper* [5]. Beberapa konfigurasi konverter yang dapat digunakan untuk membuat sistem catu daya juga dijelaskan secara mendalam oleh Prof. Chi. K. Tse dalam *paper*-nya yang mendapatkan *IEEE Transactions Best Paper Award Winner* [6].

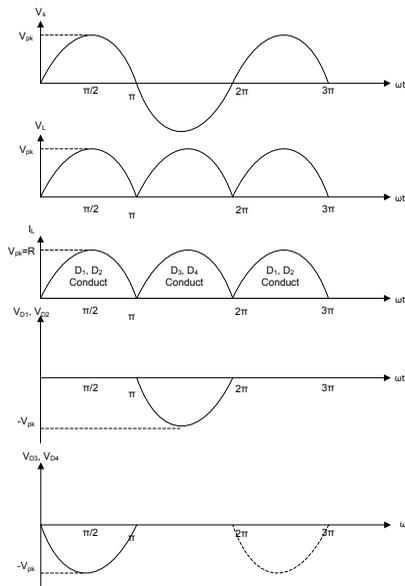
## **2.2 Konverter AC-DC *Boost* Konvensional**

Konverter AC-DC *boost* pada prinsipnya adalah gabungan konverter AC-DC dengan DC-DC *boost*. Pada Konverter AC-DC *boost* konvensional 1 fasa memiliki 2 Mode kerja rangkaian, yang pertama masukan arus bolak-balik disearahkan dengan *rectifier* atau penyearah jembatan dioda satu fasa atau dalam beberapa sumber disebutkan *transformerless* AC-DC konverter, karena tidak menggunakan transformator untuk menyearahkan sumber arus bolak-balik, pada Mode selanjutnya hasil penyearahan dari sumber akan digunakan sebagai masukan rangkaian DC-DC *boost*. Sehingga, penurunan rumus pada konverter ini seperti pada konverter *boost* pada umumnya dengan memperhatikan hasil penyearahan pada rangkaian *rectifier* 1 fasa yang akan menyearahkan arus bolak-balik, ini dinamakan penyearah jembatan gelombang penuh (*full-wave diode bridge rectifier*). Rangkaiannya ditunjukkan pada gambar 2.2. Pada konverter AC-DC *boost* konvensional,  $V_s$  atau tegangan sumber langsung terhubung ke sumber atau dari trafo terlebih dahulu sebagai filter, dengan bentuk gelombang yang terbentuk pada rangkaian seperti pada gambar 2.3.

Berikut ini adalah gambar rangkain konverter AC-DC *boost* konvensional seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.



**Gambar 2.2.** Konverter AC-DC *Boost* Konvensional.



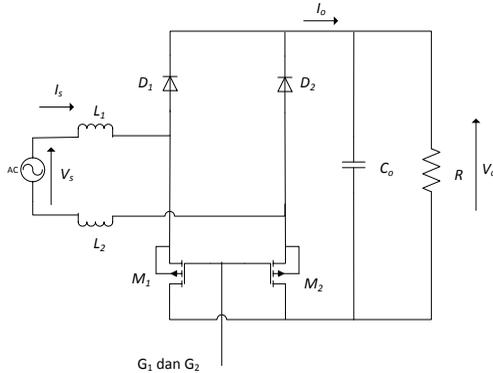
**Gambar 2.3** Bentuk Gelombang *Full-wave Dioda Bridge Rectifier*.

Konverter ini sering digunakan pada aplikasi *power factor correction*. Pada konverter AC-DC konvensional memiliki beberapa

kelemahan, yaitu riak yang sangat besar pada arus keluaran kapasitor, terdapat perbedaan pada arus dioda, dan arus keluaran DC-nya. Pada saat kenaikan daya akan terjadi penurunan efisiensi yang cukup signifikan karena rugi pada jembatan dioda, selain itu rugi akan terjadi pada induktor. Sehingga, operasi pada rentang level daya tertentu sangat diperhatikan. Untuk konverter AC-DC *boost* konvensional ini akan efektif pada rentang daya dibawah 1 kW [7].

### **2.3 Konverter AC-DC *Boost Bridgeless***

Rangkaian AC-DC *boost* konverter muncul sebagai salah satu konverter yang digunakan pada perangkat catu daya, konverter ini muncul untuk diaplikasikan sebagai konverter dengan *power factor correction* (PFC). Pada perangkat PFC dibutuhkan topologi konverter dengan efisiensi yang tinggi untuk mencegah rugi yang besar karena pada perangkat catu daya PFC akan dibutuhkan beberapa komponen tambahan untuk mempertahankan PFC pada rentang mendekati 1 (*unity*) untuk itu diperlukan topologi yang baik untuk aplikasi PFC. Untuk mengurangi masalah rugi panas pada jembatan dioda yang didapatkan pada konverter AC-DC *boost* konvensional, dibuat topologi konverter AC-DC *boost bridgeless*. Pada konverter AC-DC *boost bridgeless* ini pada dasarnya memiliki topologi yang hampir mirip dengan topologi konvensional, perbedaan terletak pada penggantian 2 dioda pada jembatan penyearah dengan saklar semikonduktor, dalam hal ini digunakan MOSFET dengan rangkaian dioda. Sehingga jalannya arus dari masukan akan dapat dikontrol dengan saklar semikonduktor ini. Perangkat ini akan mengurangi disipasi panas pada dioda atau rugi-rugi pada jembatan dioda. Selain itu, untuk memperkuat rangkaian *boost* diberikan dua induktor pada sisi masukan. Untuk topologi konverter AC-DC *boost bridgeless* sendiri telah berkembang menjadi beberapa topologi. Pada Tugas Akhir ini dibuat konverter AC-DC *boost bridgeless* seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Rangkaian AC-DC *Boost Bridgeless*.

Rangkaian *bridgeless* ini mengurangi jumlah dioda pada jembatan penyearah, dan menggantinya dengan komponen penyaklaran. Pada konverter AC-DC *bridgeless* ini mengikuti rasio kenaikan :

$$M_V \equiv \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.3)$$

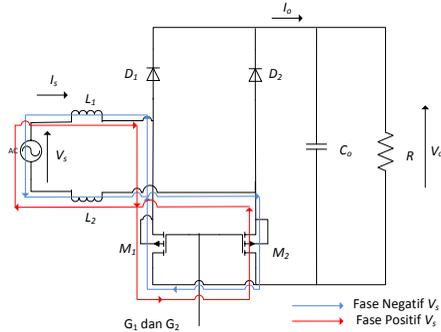
Konverter AC-DC *boost bridgeless* ini akan mengurangi disipasi panas pada jembatan dioda AC-DC *boost* konvensional walaupun akan menaikkan EMI (*Electromagnetic Interference*). Akan tetapi, secara umum konverter ini akan menaikkan efisiensi dibanding konverter AC-DC *boost* konvensional, terlebih rentang penggunaan konverter AC-DC *boost bridgeless* mampu bekerja baik dibawah daya 2 kilowatt, lebih tinggi dibandingkan konverter AC-DC konvensional [7].

### 2.3.1 Strategi Penyaklaran (State)

Strategi penyaklaran menjelaskan prinsip kerja dari topologi konverter. Dalam satu periode penyaklaran, konverter ini memiliki dua state seperti pada konverter *boost* konvensional. Dalam usaha penyederhanaan untuk memudahkan pemahaman, diasumsikan bahwa tegangan masukan AC pada topologi ini nilainya tetap seperti tegangan masukan DC karena frekuensi penyaklaran topologi ini yang jauh lebih cepat dibandingkan frekuensi sumber AC, beban berupa resistor dan semua saklar dan dioda berada pada kondisi yang ideal.

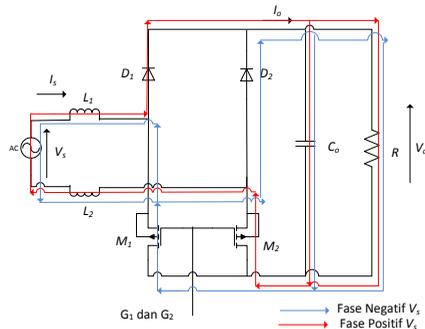
State pertama saat saklar hidup ( $t_{on}$ ). MOSFET 1 dan MOSFET 2 dalam kondisi bias maju, atau *forward bias*. Sehingga arus akan

mengalir dari sumber menuju induktor 1, lalu menuju MOSFET 1 dan MOSFET 2 diteruskan ke induktor 2 yang akan kembali ke sumber dan sebaliknya untuk fase negatif sumber. Pada State ini induktor dalam keadaan *charging*. Seperti pada gambar 2.5 berikut.



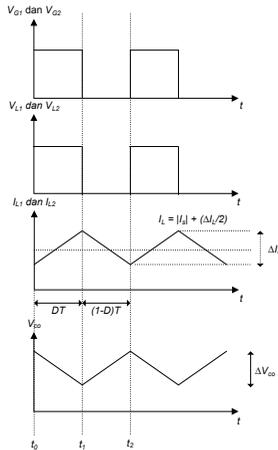
**Gambar 2.5.** State I Konverter, Saat  $t_{on}$  ( $t_0-t_1$ ).

State kedua saat saklar mati ( $t_{off}$ ). MOSFET 1 dan MOSFET 2 dalam kondisi bias mundur, atau *reverse bias*. Sehingga arus akan mengalir dari sumber menuju induktor 1, lalu menuju dioda 1, beban resistor, lalu diteruskan ke induktor 2 melalui bodi dioda MOSFET 2 yang akan kembali ke sumber, atau dari sumber induktor 2, lalu menuju dioda 2, beban resistor, lalu diteruskan ke induktor 1 melalui bodi dioda MOSFET 1 yang akan kembali ke sumber untuk fase negatif sumber. Pada State ini induktor dalam keadaan *discharging*. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.6



**Gambar 2.6.** State II Konverter, Saat  $t_{off}$  ( $t_1-t_2$ ).

Untuk State operasi *Continuous Conduction Mode* ditunjukkan pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** State Konverter dengan *Continuous Conduction Mode* (CCM).

Penurunan rumus untuk State I konverter , saat  $t_{on}$  ( $t_0-t_1$ ) adalah sebagai berikut :

$$V_S = 2V_L \dots \dots \dots (V_{L1} = V_{L2}, \text{induktor bernilai sama})$$

$$V_S = 2L \frac{\Delta i}{\Delta t_{on}} \quad (2.4)$$

Penurunan rumus untuk State II konverter , saat  $t_{off}$  ( $t_1-t_2$ ) adalah sebagai berikut :

$$V_S + 2V_L = V_o \dots \dots \dots (V_{L1} = V_{L2}, \text{induktor bernilai sama})$$

$$V_S + 2L \frac{\Delta i}{\Delta t_{off}} = V_o \quad (2.5)$$

Lalu, dari persamaan (2.4) dan (2.5) :

$$V_S + \frac{V_S \times \Delta t_{on}}{\Delta t_{off}} = V_o$$

$$V_S \left( 1 + \frac{\Delta t_{on}}{\Delta t_{off}} \right) = V_o \quad (2.6)$$

Persamaan untuk *duty cycle* dan periode dapat dituliskan :

$$D = \frac{\Delta t_{on}}{T} \quad (2.7)$$

$$t_{off} = T - t_{on} \quad (2.8)$$

Sehingga, dengan persamaan (2.6), (2.7) dan (2.8) akan didapatkan persamaan perbandingan tegangan masukan dan keluaran sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_s \left( 1 + \frac{\Delta t_{on}}{\Delta t_{off}} \right) &= V_o \\
 V_s \left( \frac{T}{T-t_{on}} \right) &= V_o \\
 V_s \left( \frac{\frac{T}{T}}{\frac{T}{T}-\frac{t_{on}}{T}} \right) &= V_o \\
 V_s \left( \frac{1}{1-D} \right) &= V_o \\
 V_o &= \left( \frac{1}{1-D} \right) V_s \tag{2.9}
 \end{aligned}$$

Jika kita bandingkan, persamaan untuk konverter *boost bridgeless* memiliki kesamaan dengan rumus persamaan untuk *boost* konverter biasa. Yang membedakan hanya topologi dan Mode *boost* yang dilakukan. Jika pada DC-DC *boost* biasa akan menaikkan tegangan dari sumber DC ke DC, pada *boost bridgeless* akan menaikkan nilai tegangan sumber AC yang dijadikan DC, fase *boost* terjadi pada sumber AC sehingga akan didapatkan bentuk gelombang DC yang tidak rata.

Untuk melakukan desain konverter AC-DC *boost bridgeless* dapat dilakukan dengan menghitung beberapa parameter seperti menentukan nilai induktor dan kapasitor.

### Nilai Induktor

Untuk menentukan nilai induktor dapat dihitung dari rumus persamaan (2.4).

$$\begin{aligned}
 V_s &= 2 L \frac{\Delta i}{\Delta t_{on}} \\
 L &= V_s \frac{\Delta t_{on}}{2 \Delta i} \\
 L &= V_s \frac{D \times T}{2 \times \Delta i} \\
 L &= \frac{V_s (V_o - V_s)}{f_{sw} \times \Delta i \times V_o} \dots \dots \dots (T = \frac{1}{f}, D = \frac{V_o - V_s}{V_o}) \tag{2.10}
 \end{aligned}$$

Dengan arus yang melewati induktor dalam Mode CCM dapat dilihat pada gambar 2.7 yang dijelaskan pada sebuah *paper* [2]. Sehingga, dengan menentukan arus yang melewati induktor dapat diketahui nilai riak arus ( $\Delta I_L$ ) yang terjadi pada induktor dengan mengalikan persen riak yang ditentukan terhadap arus yang melewati induktor.

$$\Delta i = \Delta I_L = \%rippledesain \times I_L \tag{2.11}$$

### Nilai Kapasitor

Nilai kapasitor didapatkan dari State saklar saat mati [8]. Persamaan tegangan kapasitor untuk State *discharging* diketahui sebagai berikut :

$$V_{min} = V_{max} \left( e^{-\frac{1}{RxC_0}t_{off}} \right) \quad (2.12)$$

Dengan penyederhanaan persamaan (2.12) dengan cara mengurangi sisi kanan dan sisi kiri terhadap  $V_{max}$  akan didapatkan :

$$V_{max} - V_{min} = V_{max} - V_{max} \left( e^{-\frac{1}{RxC_0}t_{off}} \right) \quad (2.13)$$

Karena  $V_{max} - V_{min} = \Delta V_{Co}$  atau riak tegangan sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta V_{Co} = V_{max} \left( 1 - e^{-\frac{t_{off}}{RxC_0}} \right) \quad (2.14)$$

Dengan deret Taylor persamaan (2.14) dapat disederhanakan kembali dengan langkah berikut :

$$y = e^{-x} \approx (1 - x) \text{ jika } x \ll 1$$

$$\Delta V_{Co} = V_{max} \left( \frac{t_{off}}{RxC_0} \right) \quad (2.15)$$

Diketahui  $t_{off} = (1 - D)T$ , maka diperoleh persamaan riak tegangan sebagai berikut :

$$\Delta V_{Co} = V_{max} \left( \frac{(1-D)T}{RxC_0} \right) \quad (2.16)$$

Sehingga, dapat diketahui untuk mendapatkan riak tegangan tidak lebih dari  $\Delta V_{Co}$  pada beban R adalah :

$$C_o = V_{max} \left( \frac{(1-D)}{f_{sw} \times R \times \Delta V_{Co}} \right) \quad (2.17)$$

## 2.4 Teknik Kontrol Arus

Didalam teknik kontrol arus disini dibahas tentang cara mendapatkan faktor daya yang konstan dan bagus pada sebuah konverter, dalam hal ini untuk konverter AC-DC *boost bridgeless*. Agar mendapatkan nilai *power factor* pada sisi masukan konverter tetap pada kondisi penyaklaran konverter, diperlukan Mode kontrol untuk mengkondisikan bentuk arus sesuai dengan bentuk tegangan masukan supaya didapatkan faktor daya mendekati 1. Banyak teknik kontrol yang berkembang untuk mendapatkan hasil yang bagus.

Untuk mendapatkan kontrol faktor daya pada konverter AC-DC *boost* yang baik, hal yang sangat perlu diperhatikan adalah cara melakukan *sensing* parameter pada konverter untuk nantinya digunakan sebagai

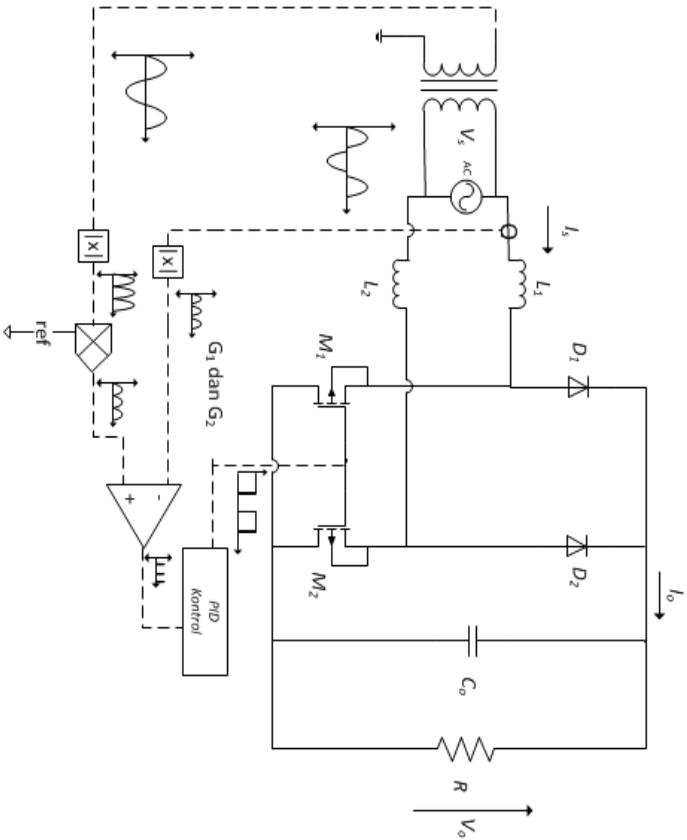
referensi pengaturan penyaklaran pada konverter. *Sensing* dilakukan tidak hanya dengan menghubungkan kabel ke parameter-parameter tertentu untuk diambil nilai referensinya. Pada umumnya ada 3 nilai parameter yang dibutuhkan pada kontrol strategi yaitu : *sensing* bentuk tegangan masukan, *sensing* bentuk arus yang masuk pada induktor, dan *sensing* nilai tegangan keluaran. Untuk konverter AC-DC *boost bridgeless* sendiri memiliki tingkat kesulitan lebih tinggi dalam hal *sensing* parameter dibandingkan konverter konvensional. Hal ini karena *sensing* tegangan masukan yang membutuhkan bantuan transformator frekuensi rendah atau dalam hal pertimbangan efisiensi desain dan biaya digunakan sebuah komponen *optocoupler* atau *optical coupler* sebagai peralatan *sensing* [9].

Teknik kontrol arus pada umumnya ada beberapa jenis, misalnya teknik kontrol arus rata-rata, teknik kontrol arus puncak dengan frekuensi yang berubah-ubah, teknik kontrol arus puncak dengan frekuensi tetap, teknik kontrol hysteresis, teknik kontrol arus *charging*, dan kontrol NLC (*non-linear-carrier*) [10].

Salah satu teknik kontrol arus yang digunakan adalah kontrol arus dengan frekuensi tetap. Dipadukan dengan kontrol PID sebagai pengolah *error* dari parameter yang dikontrol atau dalam hal ini bentuk arus. Dengan kontrol strategi :

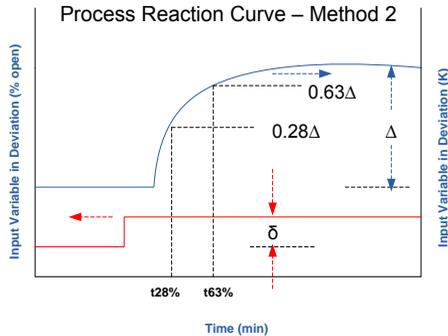
1. *Sensing* bentuk tegangan masukan sebagai *setpoint*.
2. *Sensing* bentuk arus masukan.
3. Pengkondisian nilai *setpoint* mendekati nilai arus.
4. Kedua nilai dibandingkan dan didapatkan *error*.
5. *Error* akan diproses pada kontroler PID agar mendapatkan sinyal referensi untuk membangkitkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*).

Kontrol strategi tersebut jika dibuat dalam blok diagram adalah seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Diagram Blok Kontrol Strategi.

Dalam sebuah skripsi [10], tentang perancangan pengendali PID dijelaskan langkah untuk mendapatkan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang lebih sederhana dari teori yang ada. Untuk mendapatkan nilai PID maupun PI yang dibutuhkan dengan mengadaptasi metode *Ziegler-Nichlos* perhitungan dapat dilakukan dengan menganalisa hasil grafik respon proses pada *loop* terbuka seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.9.



**Gambar 2.9.** *Process Reaction Curve* Metode II.

Langkah identifikasi modelnya adalah sebagai berikut :

1. Mencari kurva respon tanpa sistem pengendali atau *loop* terbuka pada kondisi yang paling ideal.
2. Menghitung parameter  $K_p$  (*gain*),  $\theta$  (*dead time*), dan  $\tau$  (*time constant*), berdasarkan kurva respon yang didapat seperti pada gambar 2.9.

Dimana :

$$K_p = \Delta / \delta \quad (2.18)$$

$$\tau = 1.5(t_{63\%} - t_{28\%}) \quad t_{63\%} = \theta + \tau \quad t_{28\%} = \theta + \frac{\tau}{3} \quad (2.19)$$

$$\theta = t_{63\%} - \tau \quad (2.20)$$

Keterangan :

$\Delta$  = perubahan *magnitude steady state* pada *output*

$\delta$  = perubahan *magnitude steady state* pada *input*

$t_{63\%}$  = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63% nilai akhir

$t_{28\%}$  = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 28% nilai akhir

## 2.5 Hubungan PF dengan *Total Harmonic Distortion Arus*

Dijelaskan dalam sebuah *proceeding* [11], dampak dari tegangan dan arus harmonisa yang disebabkan oleh beban non linier akan meningkatkan kerugian daya yang didisipasikan dalam bentuk panas oleh resistansi penghantar maupun komponen. Hal ini memberikan dampak negatif pada sebuah sistem kelistrikan dalam hal ini konverter yang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi konverter. Sementara hubungan harmonik dan rugi-rugi daya sangat kompleks dan susah untuk dilakukan generalisasi. Konsep hubungan faktor daya dan harmonisa dapat memberikan gambaran yang relatif untuk melihat dampak beban non linier. Pada gelombang sinusoidal murni untuk mendefinisikan faktor daya (*Power Factor*) dapat digunakan rumus.

$$PF = \cos(\delta_1 - \theta_1) \quad (2.21)$$

Dimana  $(\delta_1 - \theta_1)$  adalah perbedaan sudut antara gelombang arus dan gelombang tegangan. Untuk beban non linier, rumus dasar ini tidak dapat langsung digunakan, karena adanya faktor harmonis yang menyebabkan faktor daya terdistorsi yang disebut faktor distorsi. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan karena akan memberikan gambaran kondisi arus maupun tegangan pada kondisi beban non linier. Sumber beban non linier misalnya saturasi transformator, dan yang terbesar bersumber dari *power electronics device*, misalnya *adjustable-speed-drive* dan *diode-bridge-rectifier*. AC-DC *boost bridgeless* sebagai konverter elektronika daya merupakan salah satu sumber harmonisa. Pada beban non linier seperti pada Tugas Akhir ini untuk menghitung nilai *Power Factor* tidak bisa hanya dengan menggunakan rumus dasar *Power Factor*, karena adanya faktor harmonisa persamaan dasar *Power Factor* berubah menjadi persamaan berikut :

$$True\ PF = Displacement\ PF \times Distortion\ PF \quad (2.22)$$

Dimana, *True PF* merupakan nilai faktor daya nyata yang terjadi karena adanya faktor distorsi harmonisa. Pada *oscilloscope* nilai *True PF* yang digunakan sebagai hasil pengukuran. Hal ini yang menyebabkan nilai *PF* dari kontroler tidak dapat menyamai nilai *PF* dari simulasi karena dengan adanya kontroler akan menaikkan nilai harmonisa pada gelombang arus. Nilai *Displacement PF* merupakan nilai *PF Fundamental* atau nilai *PF* sebenarnya sebelum adanya harmonisa sedangkan nilai *Distortion PF* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Distortion\ PF = \frac{1}{\sqrt{(1+(THD_I)^2)}} \quad (2.23)$$

## BAB 3

### PERANCANGAN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI KONVERTER

Bab ini membahas perancangan, simulasi satu daya aplikasi konverter dan implementasi dari konverter AC-DC *boost bridgeless*. Perancangan meliputi penentuan daya keluaran, rasio perbandingan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran, frekuensi penyaklaran, parameter dari komponen-komponen yang digunakan serta parameter-parameter lain yang berhubungan dengan konverter ini.

#### 3.1 Perancangan Rangkaian Konverter AC-DC *Boost Bridgeless*

Perancangan rangkaian konverter ini bertujuan untuk menyesuaikan parameter rangkaian dengan peralatan yang terdapat di laboratorium dan komponen yang tersedia di pasaran, sehingga memudahkan dalam proses implementasi alat. Perancangan diawali dengan menentukan beberapa parameter terlebih dahulu seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Data Parameter Perancangan.

Parameter	Nilai	Satuan
$V_s$	$25 \pm 10\%$	Volt rms
$V_o$	50	Volt
$P_o$	90	Watt
$I_o$	1.8	Ampere
$f_{sw}$	50000	Hz
$\Delta V_{co}$	1%	
$\Delta I_L$	20%	
$\eta$	0.96	

### 3.1.1 Duty Cycle

Penentuan *duty cycle* PWM didapatkan dari hasil penurunan rumus pada kondisi ideal dan tunak. *duty cycle* dapat dihitung apabila diketahui rasio kenaikan dari konverter dengan rumus (2.9).

$$D = 1 - \frac{1}{2} = 0.5$$

Apabila rangkaian diberikan masukan  $\pm 10\%$  dari tegangan masukan akan didapatkan tegangan keluaran :

- $V_s = 25 - (10\% \times 25) = 22.5$  Volt  
 $V_o = 22.5 \times 2 = 45$  Volt
- $V_s = 25 + (10\% \times 25) = 27.5$  Volt  
 $V_o = 27.5 \times 2 = 55$  Volt

Jadi, tegangan keluaran konverter pada masukan 25 Volt rms  $\pm 10\%$  adalah pada rentang 45 – 55 Volt atau 50 Volt DC  $\pm 10\%$ . Konverter ini diaplikasikan pada catu daya tingkat pertama atau topologi konverter yang dimanfaatkan untuk rangkaian *power factor correction* (PFC), sehingga keluaran konverter tidak harus selalu dijaga konstan.

### 3.1.2 Penentuan Parameter Rangkaian

Konverter ini dirancang pada daya 90 Watt. Semua parameter rangkaian diturunkan dari *paper* rujukan untuk memudahkan dalam implementasi konverter sesuai alat dan komponen di laboratorium dan di pasaran. Di dalam *paper* rujukan [2], konverter AC-DC *boost bridgeless* bekerja pada daya 1 kilowatt – 2 kilowatt. Dengan tegangan masukan 264 Volt, dan tegangan keluaran 400 Volt. Pada konverter ini parameter diturunkan hingga tegangan masukan  $25 \pm 10\%$  Volt rms AC dan tegangan keluaran  $50 \pm 10\%$  Volt DC. Pada konverter implementasi tidak dirancang untuk *voltage regulator* sehingga tegangan keluaran tidak ditentukan konstan, tegangan masukan ditetapkan konstan dengan toleransi 10% berdasarkan standar *voltage drop* pada sumber PLN yang dapat diaplikasikan sebagai konverter tingkat pertama pada sebuah catu daya mobil listrik seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2. Nilai komponen implementasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### Nilai Induktor

Sebelum menghitung nilai induktor terlebih dahulu dihitung nilai  $\Delta I_L$  atau riak arus yang ditentukan dengan mengalikan nilai persen riak desain dengan arus yang masuk pada induktor saat *charging*. Persamaan

arus yang masuk pada induktor pada Mode CCM sudah dijelaskan pada bab 2, pada gambar 2.7.

$$I_L = \frac{90}{22.5 \times 0.96} + (0.2/2)$$

$$I_L = 4.267 \text{ Ampere}$$

Sehingga, riak arus sesuai desain dapat dihitung  $\Delta I_L = 20\% \times 4.267 = 0.853$  Ampere.

Untuk menghitung nilai induktor berdasarkan persamaan yang telah diturunkan pada bab 2, dapat digunakan persamaan (2.10) :

$$L = 22.5 \frac{0.5 \times (1/50000)}{2 \times 0.853}$$

$$L = 0,000131836 \text{ Henry}$$

Nilai tegangan masukan untuk perancangan digunakan tegangan masukan terendah desain, karena induktor berhubungan dengan arus masukan, rating komponen pada sebuah rangkaian pada perancangan digunakan nilai terbesar desain, untuk arus terbesar rangkaian akan didapatkan pada tegangan terendah desain. Jadi, nilai induktor perancangan konverter AC-DC *boost bridgeless* yang digunakan masing-masing adalah  $\pm 132 \mu\text{H}$ .

### Nilai Kapasitor

Sebelum menghitung nilai kapasitor, terlebih dahulu dihitung parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai kapasitor. Nilai R dihitung dengan persamaan  $\frac{V_o^2}{P_o}$ , sehingga  $R = \frac{55^2}{90} = 33.61 \text{ Ohm}$ . Riak tegangan dapat dihitung dengan mengalikan nilai persen riak desain dengan tegangan keluaran maksimum. Untuk perancangan digunakan nilai maksimum dari desain. Sehingga,  $\Delta V_{co} = 1\% \times 55 = 0.55$  Volt. Nilai kapasitor dapat dihitung dengan persamaan (2.17) :

$$C = 55 \left( \frac{(1-0.5)}{50000 \times 33.61 \times 0.55} \right)$$

$$C = 3.27273\text{E-}05 \text{ Farad}$$

Jadi, nilai kapasitor perancangan konverter AC-DC *boost bridgeless* yang digunakan adalah  $\pm 33 \mu\text{F}$ .

### Nilai Arus Masukan dan Keluaran

Untuk daya konverter 90 Watt dengan efisiensi perancangan 0.96. Arus masukan pada tegangan  $25 \pm 10\%$  Volt rms AC. Dapat dihitung :

- Untuk tegangan Masukan 22,5 Volt rms.

$$I_s = \frac{P_o}{V_s \times \eta}$$

$$I_s = \frac{90}{22.5 \times 0.96} = 4.17 \text{ Ampere}$$

- Untuk tegangan Masukan 25 Volt rms.

$$I_s = \frac{P_o}{V_s \times \eta}$$

$$I_s = \frac{90}{25 \times 0.96} = 3.75 \text{ Ampere}$$

- Untuk tegangan Masukan 27.5 Volt rms.

$$I_s = \frac{P_o}{V_s \times \eta}$$

$$I_s = \frac{90}{27.5 \times 0.96} = 3.41 \text{ Ampere}$$

Untuk arus keluaran dengan tegangan keluaran 50 Volt  $\pm$  10 % :

- Untuk tegangan Keluaran 45 Volt rms.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o}$$

$$I_o = \frac{90}{45} = 2 \text{ Ampere}$$

- Untuk tegangan Keluaran 50 Volt rms.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o}$$

$$I_o = \frac{90}{50} = 1.8 \text{ Ampere}$$

- Untuk tegangan Keluaran 55 Volt rms.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o}$$

$$I_o = \frac{90}{55} = 1.64 \text{ Ampere}$$

### 3.1.3 Kontrol Strategi *Power Factor Correction*

Untuk kontrol *Power Factor Correction* (PFC) digunakan teknik kontrol arus dengan kontrol PID seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2. Kontrol strategi yang akan digunakan pada kontrol PFC adalah sebagai berikut :

- *Sensing* bentuk tegangan masukan pada konverter sebagai *setpoint*.
- *Sensing* bentuk arus masukan pada sisi masukan.
- Kedua parameter dibandingkan untuk mendapatkan *error*. Agar *error* yang didapatkan sesuai harapan, nilai tegangan hasil *sensing* disamakan dengan nilai arus atau mendekati nilai arus yang didapatkan.
- *Error* dimasukkan kedalam kontrol PID untuk didapatkan sinyal *error* yang akan dijadikan sinyal referensi penyaklaran MOSFET sebagai *actuator*.
- Sehingga bentuk arus akan mengikuti bentuk tegangan masukan. Teknik ini juga disebut teknik *shaping*.

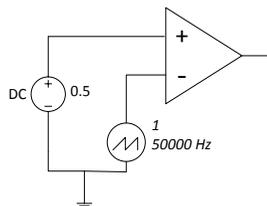
Nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  didapatkan dengan metode *trial and error* yang merupakan metode paling cepat untuk level implementasi. Dapat juga dihitung dengan teknik *Zieger Niechols* yang membutuhkan waktu yang cukup lama, juga dengan teknik turunan dari *Zieger Nichols* seperti dijelaskan pada bab 2. Karena untuk implementasi kontrol PID pada koreksi faktor daya tidak dapat dilihat kurva respon seperti yang dijelaskan pada bab 2, untuk implementasi kontrol PFC dilakukan metode *trial and error* yang mendapatkan nilai  $Gain$ ,  $\tau_i$  dan  $\tau_d$ . Jadi untuk parameter kontrol didapatkan nilai  $K_p = Gain = 1, \tau_i = 0.00001$ , dan nilai  $\tau_d = 0.000001$ .

### 3.2 Simulasi Konverter

Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak dan parameter yang didapat pada subbab sebelumnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak. Simulasi dimulai dari perancangan simulasi untuk *loop* terbuka, lalu simulasi untuk *loop* tertutup. Pada perancangan simulasi juga dirancang sistem arsitektur catu daya dengan menggunakan topologi konverter AC-DC PFC yang dibuat pada Tugas Akhir ini.

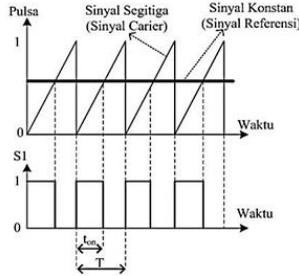
#### 3.2.1 Simulasi Konverter *Loop* Terbuka

Simulasi untuk rangkaian konverter *loop* terbuka dimaksudkan untuk menguji rangkaian konverter bekerja sesuai dengan desain yang diharapkan. Kontrol penyaklaran digunakan pembangkitan PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan bantuan komparator. Pada sisi masukan positif sinyal referensi dari sumber DC yang dibandingkan pada masukan negatifnya sinyal *carier* sebuah sinyal gigi gergaji dengan frekuensi sesuai dengan frekuensi penyaklaran desain konverter yaitu 50000 Hz atau 50 kHz.



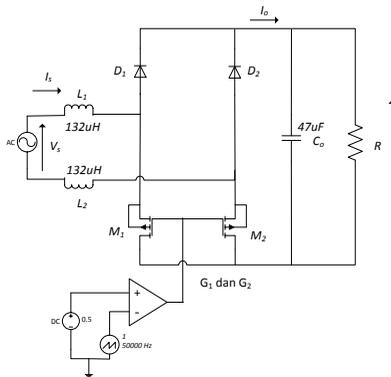
**Gambar 3.1.** Simulasi Pembangkitan Sinyal PWM.

Dengan *duty cycle* sinyal gigi gergaji 1, maka dengan mudah dapat dihitung nilai tegangan referensi dari sumber DC untuk mendapatkan *duty cycle* yang diinginkan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Perhitungan Pembangkitan Sinyal PWM.

Dengan rumus perbandingan matematis  $\frac{x1}{y1} = \frac{x2}{y2}$  dapat dengan mudah didapatkan nilai sinyal referensi untuk *duty cycle* yang diinginkan. Perancangan simulasi desain penuh konverter AC-DC *boost bridgeless* untuk *loop* terbuka ditunjukkan pada gambar 3.3. berikut.



**Gambar 3.3.** Simulasi Konverter pada *Loop* Terbuka dengan Kontrol PWM.

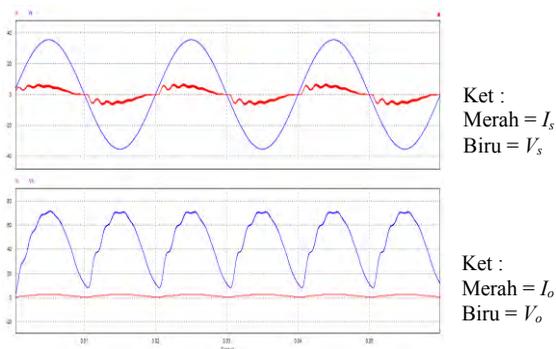
Nilai yang dimasukkan dalam simulasi sesuai perhitungan pada subbab sebelumnya dengan bantuan perhitungan perangkat lunak.

Sumber AC atau  $V_s$  merupakan sumber sinusoidal dengan frekuensi sumber 50 Hz sesuai dengan standar frekuensi sumber AC yang ada di Indonesia. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan masukan berkisar antara 22.5 Volt rms, 25 Volt rms, dan 27.5 Volt rms. Dengan daya penuh keluaran sebesar 90 Watt. Karena pada perangkat lunak tidak bisa digunakan beban daya konstan, untuk mendapatkan beban daya konstan dilakukan perubahan beban R pada masing-masing masukan dirubah sesuai daya penuh desain konverter yaitu 90 Watt. Didapatkan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2.** Nilai Simulasi.

$V_s$ (Volt)	D (%)	$V_o$ (Volt)	$\Delta I_L$ (Ampere)	$\Delta V_{co}$ (Volt)
22.5	50	45.16	0.85	0.3
25	50	50.22	1	0.4
27.5	50	55.28	1.2	0.5

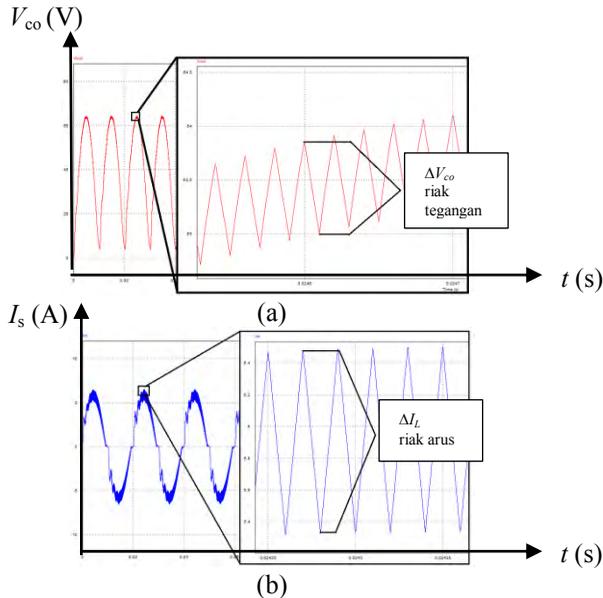
Dari hasil simulasi yang dibandingkan dengan nilai perhitungan secara teori didapatkan nilai yang sama dengan perhitungan dengan *error* 0.16 – 0.28 Volt. Dengan riak arus dan tegangan dibawah nilai desain untuk riak tegangan dan sama dengan desain untuk riak arus pada tegangan minimal dan terjadi kenaikan saat tegangan masukan naik. Sedangkan untuk bentuk tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran dan arus keluaran adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.4.** Bentuk Gelombang  $V_s$ ,  $I_s$ ,  $V_o$ , dan  $I_o$  untuk  $V_s$  rms 25 Volt.

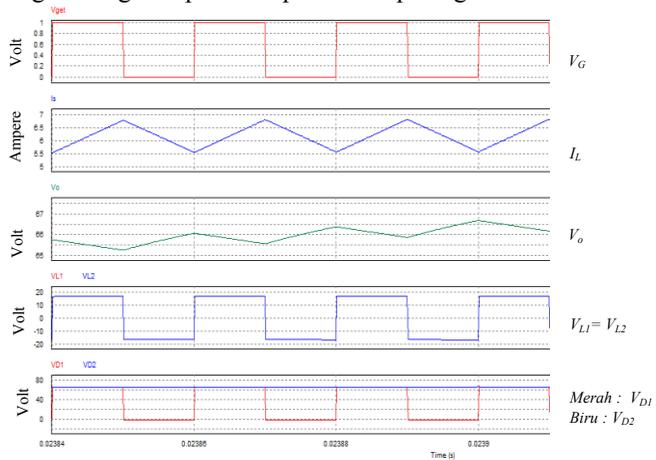
Bentuk gelombang tegangan keluaran berupa gelombang DC dengan puncak dan lembah seperti bentuk gelombang *rectifier* atau penyearah gelombang penuh, akan tetapi pada konverter AC-DC *boost bridgeless* hasil *rectifier* berupa gelombang DC *fullwave rectifier* di atas 0 (DC *offset*) karena gelombang AC masukan dilakukan Mode *boost* oleh 2 induktor pada sisi masukan AC-DC *boost bridgeless*. Karena gelombang DC ini masih berbentuk gelombang *fullwave rectifier*, aplikasi konverter ini hanya pada konverter tingkat I untuk *power factor correction*, tidak langsung terhubung pada beban.

Pada konverter ini definisi riak pada arus masukan dan tegangan keluaran adalah riak yang terdapat pada gelombang arus masukan dan tegangan keluaran seperti pada gambar 3.5. Dari hasil desain simulasi didapatkan riak arus masukan dan tegangan keluaran dibawah nilai desain. Berikut ini adalah definisi riak tegangan dan arus pada konverter AC-DC *boost bridgeless* ditunjukkan pada gambar 3.5.

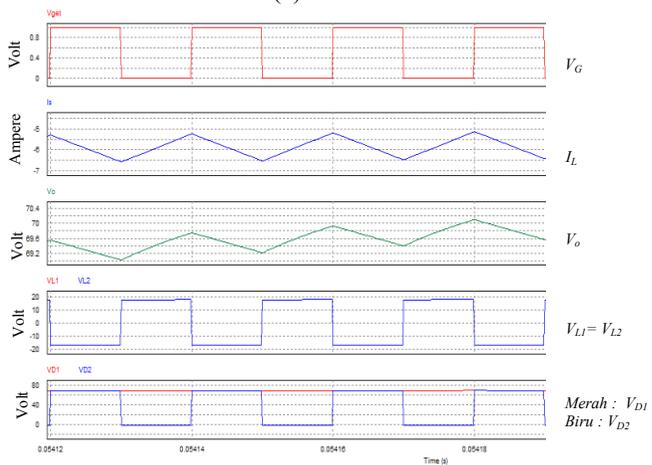


**Gambar 3.5.** Definisi Riak Arus dan Tegangan Konverter AC-DC *Boost Bridgeless*. (a) Riak Tegangan ( $\Delta V_{co}$ ). (b) Riak Arus ( $\Delta I_L$ ).

Dengan hasil simulasi rangkaian dengan perangkat lunak, desain konverter sudah sesuai dengan perhitungan untuk *loop* terbuka. Dengan tegangan masukan pada rentang 25 Volt rms  $\pm$  10% akan menghasilkan tegangan keluaran pada rentang 50 Volt  $\pm$  10%. Bentuk gelombang untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada gambar 3.6. berikut.



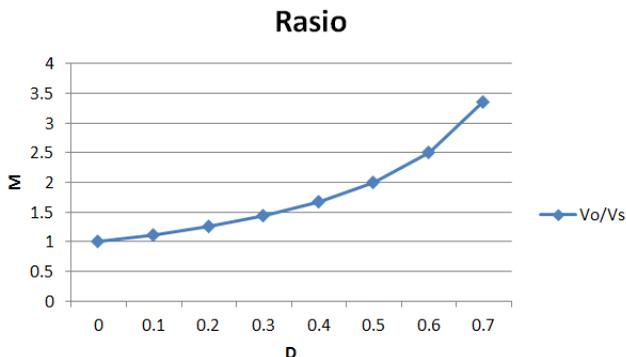
(a)



(b)

**Gambar 3.6.** Bentuk Gelombang Penyaklaran,  $I_L$ ,  $V_{L1}$ ,  $V_{L2}$ ,  $V_o$ ,  $V_{D1}$  dan  $V_{D2}$ . (a) Fase Positif  $V_s$ . (b) Fase Negatif  $V_s$ .

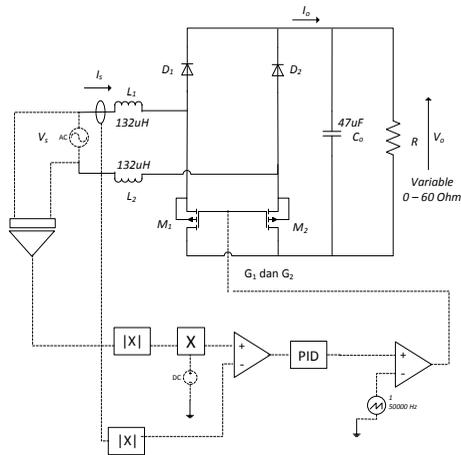
Pada bentuk gelombang setiap komponen tersebut dapat diketahui prinsip kerja dari rangkaian. Ketika terjadi penyaklaran,  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  mengalami *charging* sehingga timbul tegangan pada  $V_{L1}$  dan  $V_{L2}$  saat saklar dalam keadaan *ON*. Dan tidak ada arus yang mengalir pada dioda  $D_1$  maupun  $D_2$ ,  $D_1$  akan muncul dialiri arus saat saklar dalam keadaan *OFF*, sedangkan  $D_2$  akan selalu dalam keadaan tidak dialiri arus pada fase positif sumber. Pada fase positif MOSFET  $M_1$  akan timbul tegangan saat saklar *OFF*, sedangkan  $M_2$  akan selalu 0 saat *ON* maupun *OFF* karena pada saat *OFF*  $M_2$  akan tetap dialiri arus dari beban sebagai jalur balik beban ke sumber melewati dioda *snubber* dari MOSFET  $M_2$ . Begitu sebaliknya pada saat fase negatif. Sedangkan untuk pengujian rasio konverter AC-DC *boost bridgeless* didapatkan hasil seperti pada gambar grafik 3.7 berikut.



**Gambar 3.7.** Kurva  $D$ - $M$ .

### 3.2.2 Simulasi Konverter *Loop* Tertutup

Pada simulasi konverter *loop* tertutup bertujuan untuk menguji rangkaian konverter yang menggunakan *driver* MOSFET berupa kontrol PID. Desain simulasi berdasarkan nilai *Gain*, *time constant integrative*, dan *time constant derivative* pada subbab sebelumnya. Desain konverter untuk *loop* tertutup ditunjukkan pada gambar 3.8.



**Gambar 3.8.** Simulasi *Loop* Tertutup Rangkaian.

Pada gambar 3.8. desain rangkaian sama dengan *loop* terbuka, dengan ditambahkan komponen *sensing* tegangan masukan dan arus masukan dan kontrol PID. *Sensing* tegangan dan arus masukan selanjutnya digunakan sebagai parameter kontrol untuk *setpoint* dan parameter yang dikontrol. Tegangan masukan akan dijadikan *setpoint* pengontrolan dan arus digunakan sebagai parameter yang dikontrol. Teknik kontrol ini dinamakan teknik *shaping* dengan membandingkan nilai bentuk gelombang yang dikontrol terhadap nilai bentuk gelombang referensi. Sehingga diharapkan dari kontrol ini akan menghasilkan gelombang yang mendekati bentuk gelombang referensi sebagai *power factor correction*.

Hasil *sensing* tegangan masuk ke dalam kontroler sebagai *setpoint*, dengan mengabsolutkan masukan gelombang bolak-balik masukan tegangan akan berubah menjadi gelombang *full-wave rectifier* dengan gelombang sinus diatas 0. Fungsi *cross* digunakan sebagai *gain* gelombang agar dapat dikondisikan sama dengan atau mendekati nilai besarnya arus masukan yang dikontrol sehingga dapat dijadikan sebagai *setpoint* untuk *shaping* bentuk gelombang. Dengan mengabsolutkan masukan gelombang arus bolak-balik yang langsung dibandingkan dengan *setpoint*, apabila gelombang arus tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan akan keluar *error* dari fungsi SUM yang selanjutnya akan dikondisikan dengan kontrol PID untuk mendapatkan

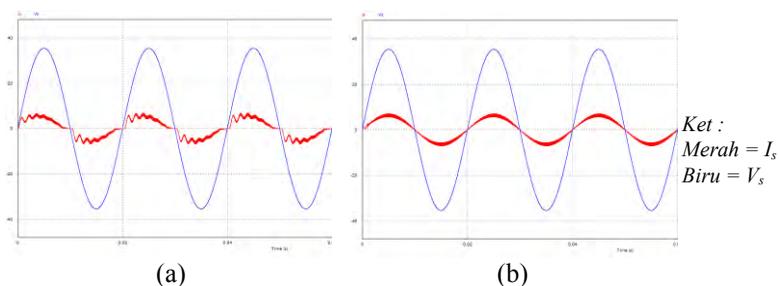
sinyal respon atas *error* yang didapatkan. Sinyal respon akan menjadi sinyal atau gelombang referensi pada rangkaian pembangkitan PWM, sebelum masuk komparator sinyal respon dari PID akan diberikan pembatas atau *limiter*. Keluaran rangkaian kontrol ini akan melakukan *drive* atau penyaklaran pada MOSFET rangkaian utama.

Dari hasil desain simulasi dan pengujian didapatkan nilai *power factor* sebelum dan sesudah ditunjukkan pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3.** Sebelum dan Sesudah diberikan Kontrol PID.

$V_s$ Volt rms	PF Sebelum	PF Sesudah
22.5	<b>0.97</b>	<b>1</b>
25	<b>0.96</b>	<b>1</b>
27.5	<b>0.95</b>	<b>1</b>

Dari tabel 3.3 diketahui bahwa kontrol PID yang disimulasikan mampu memperbaiki *power factor* dari rangkaian. Dari *power factor* berkisar pada 0.95-0.97 kontrol PID mampu menaikkan nilai *power factor* menjadi 1. Dari nilai tegangan keluaran juga menjadi lebih tinggi karena adanya kontrol tegangan sehingga akan menaikkan nilai daya keluaran dari rangkaian konverter. Bentuk gelombang arus masukan sebelum dan sesudah dapat dilihat pada gambar 3.9.



**Gambar 3.9.** Bentuk Gelombang Arus Masukan dan Tegangan Masukan 25 V. (a) Sebelum Diberikan Kontroler. (b) Setelah Diberikan Kontroler.

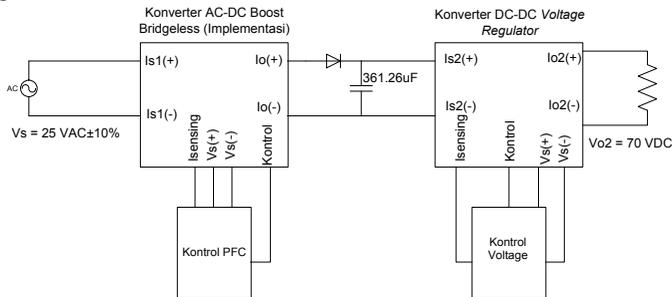
### 3.3 Simulasi Sistem Catu Daya

Pada subbab ini akan ditunjukkan desain dan simulasi rangkaian sistem catu daya untuk aplikasi konverter AC-DC *boost bridgeless* dengan *power factor correction* (PFC) yang dibuat. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, aplikasi konverter AC-DC *boost bridgeless* pada sistem catu daya adalah pada konverter level I sebagai PFC. Desain ini hanya digunakan untuk membuktikan desain arsitektur catu daya sederhana dengan konverter AC-DC *boost bridgeless* sebagai PFC seperti pada gambar 2.1.

Dari hasil rancangan konverter PFC, selanjutnya akan dirancang untuk konverter regulator dan kontrolernya. Pada contoh sistem sederhana ini dipakai konverter DC-DC *voltage regulator boost* yang sederhana untuk memudahkan desain.

#### 3.3.1 Simulasi Konverter DC-DC *Boost* dan Kontroler *Voltage Regulator*.

Dengan bantuan perangkat lunak, dibuat rangkaian catu daya sebagai berikut :



**Gambar 3.10.** Arsitektur Sistem Catu Daya pada Simulasi.

Pada perangkat lunak rangkaian AC-DC *boost bridgeless* dengan kontrol PFC dihubungkan dengan sebuah *bulk capacitor* atau sebuah kapasitor *buffer* yang digunakan untuk menghubungkan konverter AC-DC dan DC-DC. Pada level terakhir konverter terhubung beban pada desain simulasi ini digunakan konverter DC-DC *boost* konvensional sebagai *voltage regulator*. Untuk desain Kapasitor kopling atau *bulk capacitor* berdasarkan data pada konverter level I dengan persamaan (2.1). Perhitungan untuk nilai kapasitor bulk adalah sebagai berikut :

$$V_r = V_{p-p} = \frac{V_p}{R_{LC}} T = \frac{\sqrt{2}V_{sRMS} - V_D \text{ (dianggap 0 karena ideal)}}{f_r R_{LC}}$$

$$C = \frac{\sqrt{2} 61.48 - 0}{100.111,111.20}$$

$$C = 391.26 \mu F$$

Nilai kapasitor *bulk* adalah 391.26  $\mu F$ , sebelum *bulk* kapasitor diberikan dioda agar tegangan yang tersimpan pada kapasitor *bulk* tidak kembali ke konverter tingkat pertama, konverter AC-DC dengan PFC. Kapasitor *bulk* ini akan berperan sebagai filter jembatan antara konverter pertama ke konverter kedua dengan kemampuan meratakan masukan dari konverter AC-DC menuju konverter DC-DC untuk regulator tegangan. Untuk konverter DC-DC *boost* didesain dari data keluaran kapasitor *bulk*. Dengan data desain seperti pada tabel 3.4.

Nilai yang didapatkan dari perhitungan L dan C kemudian dimasukkan dalam perangkat lunak simulasi. Konverter DC-DC dirancang untuk tegangan keluaran konstan 70 Volt DC dengan masukan tegangan berubah 25 Volt AC rms  $\pm 10\%$  seperti pada tegangan masukan pada AC-DC konverter tingkat pertama. Desain konverter DC-DC *boost* ditunjukkan pada tabel 3.4.

**Tabel 3.4.** Data Desain Konverter DC-DC *Boost Voltage Regulator*.

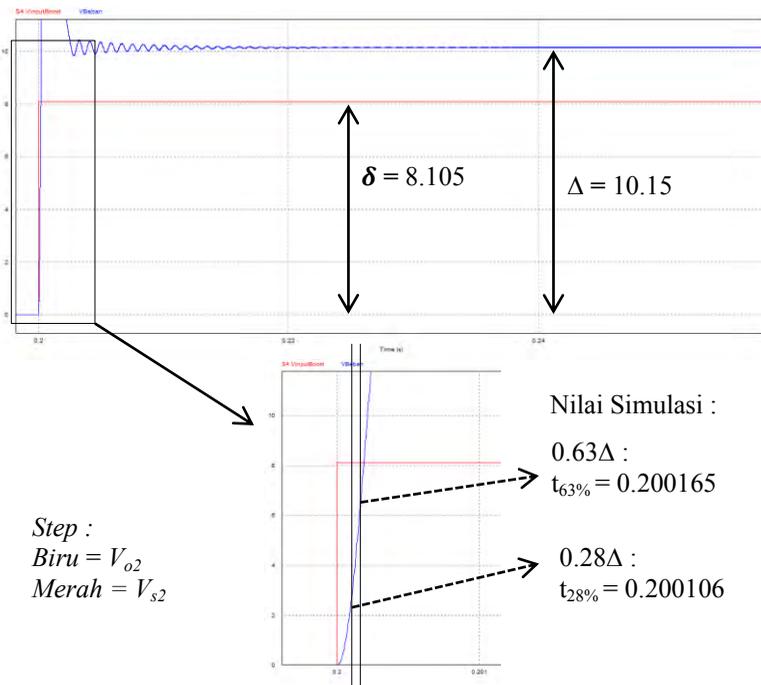
Parameter	Nilai	Sat	Parameter	Nilai	Sat
$V_{s2}$	45.25-61.48	V	<b>Kapasitor</b>		
$V_{o2}$	70	V	$\Delta V_{co2}$	0,7	V
$P_{o2}$	90	W	$C_{o2} (boost)$	26,66u	F
$I_{o2}$	1,28	A	<b>Induktor</b>		
$f_{sw2}$	50000	Hz	$D_2$	0,2	
$\Delta V_{co2}$	1%		$I_{L2}$	2,07	A
$\Delta I_{L2}$	0,2		$\Delta I_{L2}$	0,41	A
$M_{v2}$	0,96		$L_2$	440,64u	H
$Gain_2$	1,25				

Simulasi terlampir. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada konverter ini selalu tetap digunakan kontrol tegangan. Kontrol strategi untuk konverter DC-DC ini adalah sebagai berikut :

- *Sensing* tegangan *output* dibandingkan dengan *Vreferensi*

- Mendapatkan sinyal *error* dikondisikan dengan kontrol PI
- *Limiter* batas *error* untuk dibandingkan dengan arus induktor
- *Sensing* arus induktor dibandingkan dengan *error* tegangan *output*
- Sinyal *error* dikondisikan dengan kontrol PI
- Diberikan *limiter* (pembatas) untuk dibandingkan dengan sinyal gigi gergaji untuk mendapatkan sinyal PWM.

Pada konverter DC-DC digunakan kontrol PI untuk mengkondisikan sinyal *error* yang didapatkan. Kontrol PI cukup mengatasi untuk mempertahankan tegangan keluaran tetap. Untuk nilai konstanta kontrol PI pada konverter DC-DC *boost* ini dihitung dengan metode turunan *Zieger Nicholse* seperti yang dijelaskan pada bab 2. Kurva respon yang didapatkan dari simulasi ditunjukkan pada gambar 3.11 untuk mendapatkan parameter perhitungan nilai konstanta kontrol. Dengan hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 3.5.



**Gambar 3.11.** Kurva Respon Konverter DC-DC *Boost*.

**Tabel 3.5.** Hasil Perhitungan Nilai Konstanta Kontrol.

<i>Base</i>	<i>Steady</i>	$\Delta$	$\delta$	<i>Gain</i>
0	10.15	10.15	8.105	1.252313387

$0.63\Delta$	$0.28\Delta$	$t_{63\%}$	$t_{28\%}$	$\tau_i$
6.3945	2.842	0.200165	0.200106	8.85E-05

Dari hasil data perhitungan didapatkan nilai *Gain* untuk konstanta  $K_p$  sebesar 1.252313387 dan *time constant* untuk  $\tau_i$  adalah 8.85E-05. Nilai ini dimasukkan pada desain kontrol PI pada simulasi. Dari hasil perhitungan sederhana untuk desain simulasi DC-DC *boost* konverter dan desain kontrol PI untuk *voltage regulator* didapatkan hasil simulasi sebagai berikut. Untuk hasil simulasi desain *loop* terbuka DC-DC *boost* dengan kontrol PWM seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya didapatkan hasil.

**Tabel 3.6.** Hasil Simulasi Konverter DC-DC *Boost*.

$V_{s2}$ (Volt)	$V_{o2}$ (Volt)	$\Delta I_{L2}$ (Volt)	$\Delta V_{co2}$ (Volt)
45.27	56.71	0.41	0.24
55.89	70.07	0.5	0.19
61.48	77.09	0.56	0.17

Pada hasil simulasi desain konverter DC-DC *boost* regulator tegangan dapat dilihat bahwa hasil simulasi desain sudah sesuai dengan desain yang ditentukan. Dengan *error* pada kisaran 0.05 – 0.08 % untuk tegangan keluaran. Sedangkan untuk riak arus maupun tegangan, menghasilkan riak arus tepat sesuai dengan desain pada masukan tegangan rentang paling rendahnya. Dan akan naik seiring dengan kenaikan tegangan masukan, akan tetapi dengan riak arus yang tidak jauh nilainya dengan desain konverter. Sedangkan untuk riak tegangan pada kapasitor filter, riak tegangan berada pada nilai dibawah nilai desain konverter, sehingga dapat diambil kesimpulan hasil simulasi desain konverter sudah menghasilkan kondisi yang sama dengan nilai perhitungan pada desain konverter. Untuk hasil simulasi konverter dengan *loop* tertutup didapatkan hasil seperti pada tabel 3.7.

**Tabel 3.7.** Hasil Simulasi Konverter DC-DC *Boost* dengan Kontrol Tegangan.

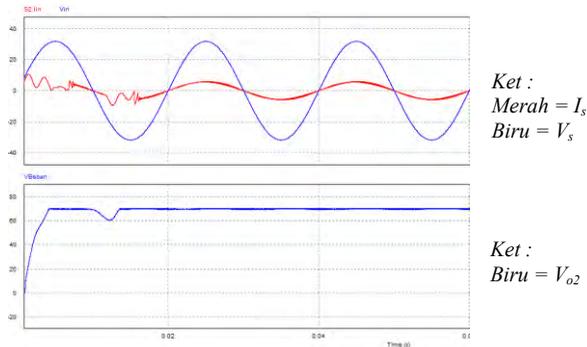
$V_{s2}$ (Volt)	$V_{o2}$ (Volt)
45.27	69.99
55.89	70
61.48	70.03

Dari data pada tabel 3.7. dapat dilihat bahwa kontrol PI yang dirancang pada desain simulasi mampu mempertahankan tegangan keluaran pada kisaran 70 Volt DC seperti pada desain, dengan *error* 0 – 0.24 % dengan tegangan masukan yang berubah sesuai desain konverter AC-DC pada tingkat pertama. Dari sini, konverter AC-DC dengan *bulk* kapasitor yang telah dirancang sebelumnya akan diintegrasikan, untuk menguji desain simulasi konverter dapat bekerja dengan baik sesuai desain yang diharapkan. Pengujian yang terakhir dilakukan pengujian integrasi pada seluruh konverter dan kontroler yang telah didesain simulasi. Dengan rangkaian seperti pada gambar 3.10. Didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.

**Tabel 3.8.** Hasil Pengujian Desain Simulasi Konverter.

$V_s$ AC (Volt)	PF <i>Bridgeless</i>	PF Catu Daya	$V_{o2}$ (Volt)
22.5	1	0.991	69.77
25	1	0.992	69.84
27.5	1	0.993	70.09

Dari data pengujian simulasi desain rangkaian *boost* konverter dengan kontrol tegangan menggunakan kontrol PI dari perhitungan konstanta PI dan integrasi konverter AC-DC *boost bridgeless* dengan PFC dapat dilihat menghasilkan PF yang tetap pada masukan tegangan yang berubah, serta sedikit penurunan berkisar pada 0,991 – 0,993. Adanya kontrol tegangan keluaran, arsitektur catu daya yang didesain pada simulasi ini juga terbukti mampu mempertahankan nilai tegangan berkisar pada 69,77 – 70,09 Volt sesuai dengan desain yang diinginkan, *error* hanya berkisar pada nilai 0,13 – 0,33 %. Penurunan nilai faktor daya ini diakibatkan karena sistem catu daya belum berada pada kondisi *steady state* dapat dilihat dari hasil gelombang tegangan dan arus pada arsitektur catu daya ini seperti pada gambar 3.12 berikut.



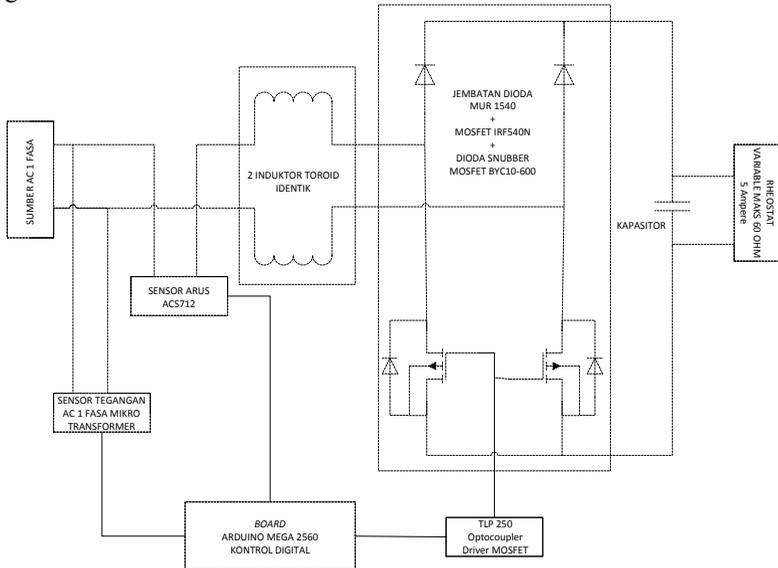
**Gambar 3.12.** Bentuk Gelombang Tegangan Masukan ( $V_s$ ), Arus Masukan ( $I_s$ ), dan Tegangan Beban ( $V_{o2}$ ).

Kontroler PFC mulai *steady state* setelah 1 *cycle* gelombang masukan atau pada  $t = 20\text{ms}$ . Hal ini yang mengakibatkan nilai *power factor* sistem yang terintegrasi antara kedua konverter menjadi sedikit turun. Dari data yang didapatkan pada hasil pengujian sistem catu daya yang dibuat pada simulasi, dapat diberikan kesimpulan bahwa untuk membuat sebuah arsitektur catu daya dengan kontrol arus sebagai *power factor correction* dan kontrol tegangan keluaran atau *voltage regulator* dapat dilakukan dengan membuat kontroler yang *independent* pada masing-masing konverter. Banyak cara dan topologi yang bisa digunakan untuk membuat arsitektur catu daya, seperti yang dijelaskan pada bab 2 tentang perhitungan efisiensi catu daya yang mengikuti nilai efisiensi konverter yang digunakan. Contoh arsitektur sebuah catu daya yang paling sederhana telah dijelaskan pada subbab ini.

### 3.4 Implementasi Konverter AC-DC *Boost Bridgeless*

Pada subbab ini akan dijelaskan komponen yang diimplementasikan berdasarkan desain yang telah dilakukan dengan memperhatikan komponen yang bisa didapatkan di pasaran. Konverter AC-DC *boost bridgeless* akan diimplementasikan dengan sebuah kontrol PFC. Perancangan implementasi dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian, konverter akan disuplai dengan sumber tegangan bolak-balik atau *Alternating Current (AC)*, 2 induktor identik pada sisi masukan, jembatan dioda yang diberi komponen penyaluran MOSFET, kapasitor pada sisi keluaran, dan beban R menggunakan rheostat yang

ada di laboratorium. Untuk perangkat kontrol digunakan kontrol digital menggunakan *board* mikrokontroler Arduino Mega 2560, komponen *sensing* digunakan modul sensor tegangan AC mikro transformer, dan modul sensor arus ACS712. Rangkaian implementasi dapat dilihat pada gambar 3.13. berikut :



**Gambar 3.13.** Desain Implementasi Konverter AC-DC *Boost Bridgeless*.

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## BAB 4

### HASIL PENGUJIAN KONVERTER DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil ujicoba dan analisis hasil perancangan rangkaian konverter AC-DC *boost bridgeless* dengan *power factor correction* (PFC). Pembahasan berdasarkan hasil yang didapatkan pada implementasi alat dengan target *power factor* mendekati 1 (*unity*) tanpa kontrol tegangan.

#### 4.1 Deskripsi Konverter

Hasil implementasi konverter AC-DC *boost bridgeless* adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1.** Daftar Komponen Implementasi Konverter.

Komponen	Tipe/Nilai	Jumlah
Induktor	- Toroida 0077439A7 Magnetics - Kawat Tembaga 0.8 mm /132uH	2
MOSFET	IRF540N	2
Fast Dioda	MUR1560 BYC10-600	2
Kapasitor	ELCO/ 47uF	1
Kontroler	Arduino Mega 2560 LCD 16x2	1
Sensor Arus	Modul ACS712	1
Sensor Tegangan	Modul Sensor Tegangan ZMPT101B	1
Resistor	Rheostat ECO 1 tube/ 250hm 5A, 250 Volt dan 100hm 5.7A	3

Pada implementasi rangkaian konverter AC-DC *boost bridgeless* digunakan 2 buah induktor toroid. Dari desain dan perhitungan yang telah dilakukan, konverter membutuhkan induktor dengan nilai  $\pm 132 \mu\text{H}$ , untuk mendapatkan nilai induktor sesuai desain dapat dilakukan perancangan induktor toroid dengan komponen toroida *magnetic* dan kawat tembaga. Bahan yang didapatkan di pasaran sebagai berikut :

1. Toroida Magnetics Tipe 0077439A7. *Magnetics Powder Cores* Changsung Corporation. [13]
2. Kawat Tembaga 0.8 mm.

Untuk menentukan jumlah lilitan yang harus dililitkan pada *cores* toroid dapat dihitung dengan persamaan yang didapatkan dari datasheet produsen pembuat *Toroida Magnetics* [14], sebagai berikut :

$$L = \frac{0.4\pi\mu N^2 A x 10^{-2}}{l}$$

$$L_N = A_L x N^2 x 10^{-3}$$

Dimana :

$L$  : Nilai Induktansi ( $\mu\text{H}$ )

$\mu$  : Permeabilitas Cores

$N$  : Jumlah lilitan

$A$  : *Effective Cross Section Area* ( $\text{cm}^2$ )

$l$  : *Mean Magnetics Path Length* (cm)

$L_N$  : Nilai induktansi pada belitan ke N ( $\mu\text{H}$ )

$A_L$  : Nominal Induktansi ( $\text{nH}/N^2$ )

Sehingga dari rumus diatas dapat ditentukan jumlah belitan tembaga pada toroida. Data yang dibutuhkan untuk menghitung jumlah belitan pada toroid adalah permeabilitas inti, *Effective Cross Section Area*, *Mean Magnetics Path Length*, dan nilai induktansi induktor yang diinginkan. Nilai tersebut bisa didapatkan pada *datasheet* toroida magnetics [14]. Dari datasheet toroida permeabilitas inti 60,  $A$  atau *cross section area*  $199 \text{ mm}^2$  atau sama dengan  $1,99 \text{ cm}^2$ , dan panjang *Path Length* ( $l$ ) adalah  $107 \text{ mm}$  atau  $10,7 \text{ cm}$ . Sehingga, dapat dihitung jumlah belitan pada toroid untuk mendapatkan nilai induktansi  $\pm 132 \mu\text{H}$  adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{0.4\pi\mu N^2 A x 10^{-2}}{l}$$

$$132 = \frac{0.4\pi 60 N^2 1.99 x 10^{-2}}{10.7}$$

$$N^2 = \frac{132 x 10.7}{0.4\pi 60 1.99 x 10^{-2}}$$

$$N = \sqrt{\frac{132 x 10.7}{0.4\pi 60 1.99 x 10^{-2}}}$$

$$N = 30.68 \text{ belitan}$$

Dioda, MOSFET dan Kapasitor dipilih sesuai dengan komponen yang dapat dan mudah ditemukan di pasaran. Untuk Dioda inti 2 buah dipilih dioda MUR 1560 karena dioda ini merupakan dioda tipe *Ultra Fast Recovery* dimana waktu *recovery* dioda ini sangat cepat, cocok

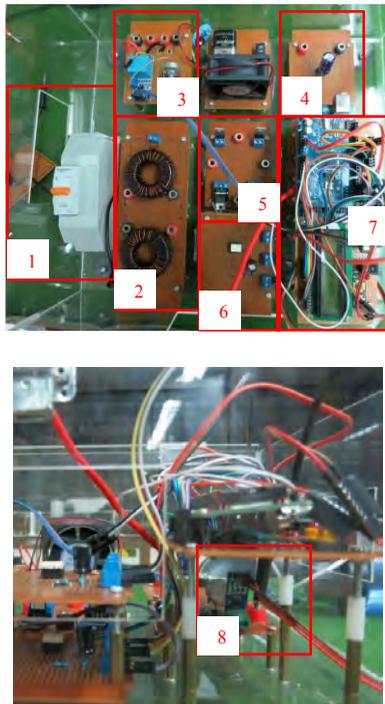
digunakan untuk konverter tipe penyalakan yang sangat cepat. Dari *datasheet* juga didapatkan bahwa dioda ini mampu menahan tegangan *reverse* hingga 600 Volt, nilai ini sangat jauh dari nilai *stress* tegangan dioda pada konverter AC-DC *boost bridgeless*. Dari *datasheet* juga disebutkan bahwa dioda ini memiliki *losses* yang sangat kecil [15].

Untuk komponen penyalakan dipilih menggunakan sebuah MOSFET karena komponen semikonduktor ini cocok untuk penyalakan pada frekuensi yang sangat tinggi hingga 50Mhz [8]. Diharapkan komponen MOSFET akan lebih stabil saat dilakukan penyalakan dengan frekuensi 50kHz. Selain itu, tipe semikonduktor penyalakan ini lebih mudah didapatkan dipasaran. Pada implementasi konverter AC-DC *boost bridgeless* ini digunakan MOSFET tipe IRF540N. MOSFET ini mampu menahan *stress* tegangan hingga 100 Volt, cukup terpaut dengan nilai *stress* tegangan pada MOSFET konverter dari hasil simulasi yang berkisar pada 70 – 80 Volt. Dari *datasheet* MOSFET juga didapatkan data  $R_{DS(on)}$  berada pada nilai 44 mOhm yang diharapkan menghasilkan rugi penyalakan yang kecil. MOSFET IRF540N juga memiliki kemampuan aliran arus atau  $I_D$  hingga 33A [16]. Nilai ini cukup tinggi jika dibandingkan arus yang mengalir pada MOSFET pada konverter ini sesuai dengan simulasi.

Karena MOSFET yang dipakai pada konverter ini IRF540N tidak memiliki *internal body diode*, pada implementasi ditambahkan 2 buah dioda *snubber* MOSFET untuk jalur balik arus menuju sumber tegangan. Dipilih dioda tipe *hyperfast* yang secara umum memiliki karakteristik yang sama dengan dioda MUR1560, dioda ini bernama dioda BYC10-600 yang mampu menahan tegangan balik hingga 600 Volt. Dari *datasheet* juga dapat diketahui bahwa dioda ini dapat diaplikasikan pada *Continuous Current Mode (CCM) Power Factor Correction (PFC), Half-bridge/full-bridge switched-mode power supplies, Half-bridge lighting ballasts*, sehingga dioda ini cocok untuk digunakan pada konverter AC-DC *boost bridgeless* dengan *power factor correction* ini [17].

Untuk pemilihan kapasitor filter pada sisi keluaran digunakan kapasitor tipe polar *elco* atau *electrolyte capacitor*. Kapasitor jenis ini memiliki ketahanan tegangan yang bervariasi dan mudah didapatkan dipasaran dengan harga yang terjangkau. Dari desain konverter didapatkan hasil perhitungan kapasitor yang dibutuhkan adalah  $\pm 33\mu\text{F}$ . Karena di pasaran tidak mudah mendapatkan nilai kapasitor yang sama dengan perhitungan, pemilihan kapasitor berdasarkan tegangan keluaran

maksimal yang dihasilkan konverter dan nilai kapasitansi lebih besar atau sama dengan nilai desain perhitungan. Di pasaran didapatkan kapasitor dengan nilai 47  $\mu\text{F}$  dengan kemampuan tegangan hingga 160 Volt. Nilai yang cukup tinggi dibandingkan nilai tegangan keluaran kapasitor pada simulasi, sehingga kapasitor ini dapat digunakan untuk implementasi konverter. Hasil Implementasi alat secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada gambar 4.1.



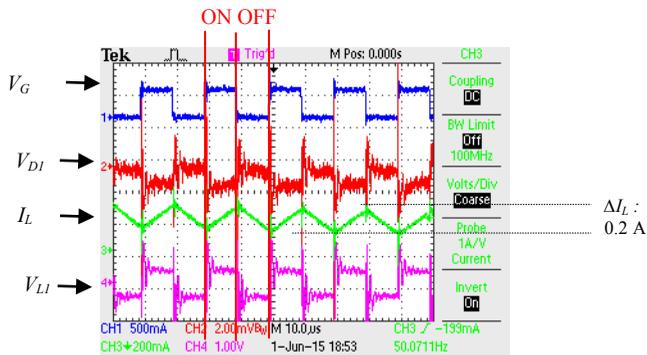
**Gambar 4.1.** Implementasi Konverter. (1) Saklar dan Fuse. (2) Induktor Toroid. (3) Sensor Tegangan. (4) Kapasitor. (5) Jembatan Dioda dan MOSFET. (6) Driver MOSFET. (7) Kontroler. (8) Sensor Arus Dibawah Kontroler.

## 4.2 Hasil Pengujian Konverter Secara Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan pada keseluruhan sistem implementasi alat yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan melihat bentuk gelombang dari implementasi alat, *power factor* alat sebelum diberikan kontrol dan sesudah diberikan kontrol, serta efisiensi dari alat. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope* dan alat ukur yang ada di Laboratorium.

### 4.2.1 Pengujian Loop Terbuka

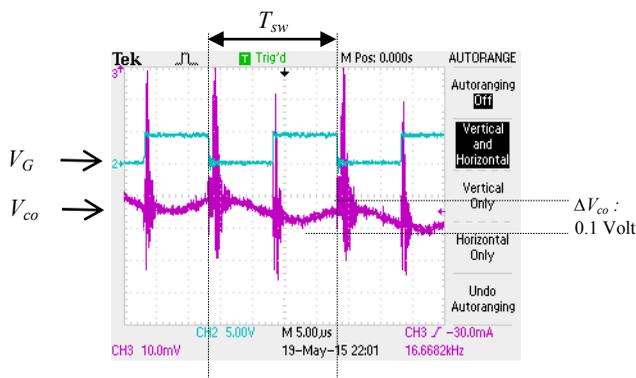
Pada pengujian *loop* terbuka dimaksudkan untuk menguji kerja konverter AC-DC *boost bridgeless* agar sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian *loop* terbuka dilakukan untuk mengetahui performa konverter yang akan dibandingkan antara nilai perhitungan dan nilai yang didapat dari implementasi. Pengujian dilakukan dengan cara melakukan penyaklaran pada *duty cycle* tetap sebesar 50% atau 0.5 dengan tegangan masukan dirubah pada rentang desain 25 Vrms AC  $\pm$  10%. Dari implementasi didapatkan gelombang penyaklaran, tegangan induktor dan tegangan dioda serta riak arus sebagai berikut.



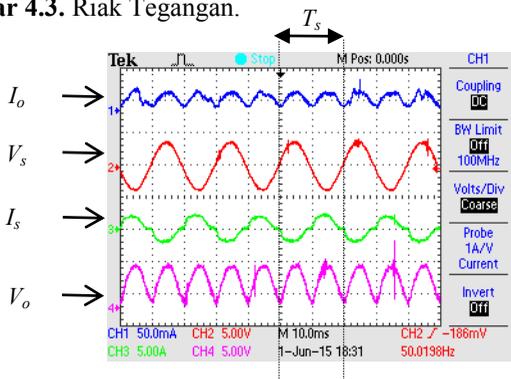
**Gambar 4.2.** Bentuk Gelombang Penyaklaran ( $V_G$ ), Tegangan Dioda ( $V_{DI}$ ), Riak Arus Induktor ( $\Delta I_L$ ), dan Tegangan Induktor ( $V_{LI}$ ).

Bentuk gelombang pada gambar 4.2. akan membuktikan bahwa konverter bekerja sesuai dengan desain. Dari gambar terlihat bahwa ketika  $V_G$  menyala atau MOSFET *HIGH*, dioda dalam keadaan bertegangan karena tidak ada arus yang melewati dioda, kondisi berada pada *loop* saklar menyala melakukan *charging*, induktor dialiri arus

charging sehingga ada tegangan pada induktor. Begitu juga sebaliknya saat saklar dalam keadaan *OFF* atau *LOW*, kondisi ini sesuai dengan kerja dari konverter seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Dari sini, dapat dikatakan bahwa konverter AC-DC *boost bridgeless* telah bekerja sesuai desain yang diharapkan. Untuk bentuk gelombang tegangan masukan, tegangan keluaran, arus masukan dan arus keluaran ditunjukkan pada gambar 4.3. Untuk melihat riak arus dan tegangan, gelombang dirubah time/div pada *oscilloscope* hingga terlihat periode penyaklaran dari konverter. Bentuk gelombang penyaklaran konverter dengan riak tegangan ditunjukkan pada gambar 4.4. Sedangkan untuk riak arus sudah ditunjukkan pada gambar 4.2.

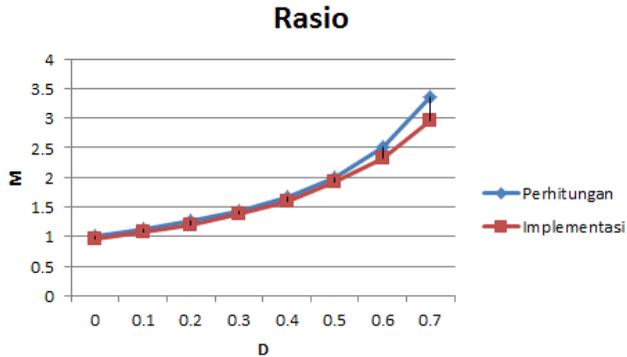


Gambar 4.3. Riak Tegangan.



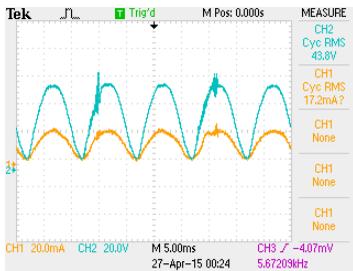
Gambar 4.4. Bentuk Gelombang  $I_o$ ,  $V_s$ ,  $I_s$ , dan  $V_o$ .

Dari bentuk gelombang pengujian, terlihat bahwa riak tegangan dan riak arus berada pada nilai berturut-turut  $\pm 0.1$  Volt dan  $\pm 0.2$  A. Sedangkan untuk pengujian rasio konversi dari *boost* konverter AC-DC didapatkan hasil seperti pada gambar grafik 4.5. berikut :

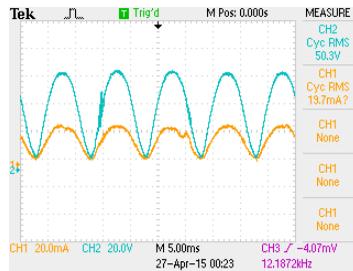


**Gambar 4.5.** Kurva D-M Perbandingan Implementasi dan Perhitungan.

Dari pengujian *loop* terbuka dapat dipastikan konverter sudah berjalan sesuai dengan desain yang diinginkan. Pengujian konverter untuk *loop* terbuka tidak dilakukan secara mendalam mengingat pada Tugas Akhir implementasi AC-DC *boost bridgeless* difokuskan pada pengujian *loop* tertutup untuk pengkondisian *power factor* mendekati satu atau *unity*. Konverter ini memiliki karakteristik yang sama dengan konverter *boost* konvensional maupun konverter AC-DC konvensional yang merubah tegangan masukan bolak-balik atau AC menjadi tegangan DC dengan riak yang tinggi atau dengan kata lain berupa gelombang tegangan DC *full-wave-rectifier*. Gambar tegangan keluaran dan arus keluaran dari 3 masukan yang berbeda. Dengan tegangan masukan dari 22.5 Volt, 25 Volt, dan 27.5 Volt dapat dilihat pada gambar 4.6.



(a)



(b)



(c)

Keterangan :  
 Biru =  $V_o$   
 Kuning =  $I_o$

**Gambar 4.6.** Bentuk Gelombang Keluaran Arus dan Tegangan. (a)  $V_s = 22.5$  Volt. (b)  $V_s = 25$  Volt. (c)  $V_s = 27.5$  Volt.

Dari hasil implementasi, bentuk gelombang sudah sesuai dengan bentuk tegangan keluaran dan arus keluaran dari konverter pada simulasi. Sehingga, dari sini sudah dapat dipastikan bahwa konverter bekerja sesuai dengan desain dan simulasi.

#### 4.2.2 Pengujian *Loop* Tertutup Perbandingan PF

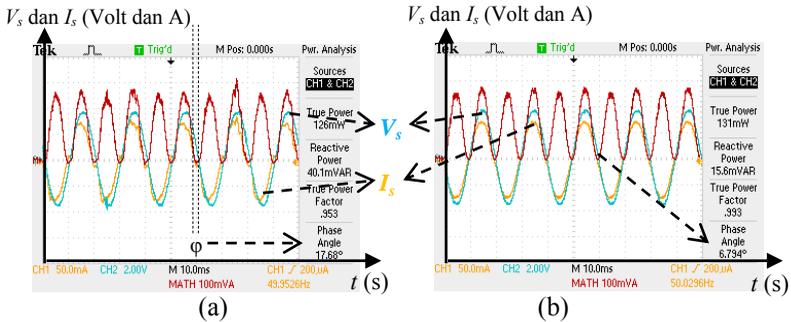
Pada subsub bab ini akan dibahas hasil pengujian konverter untuk data *power factor* sebelum dan sesudah yang didapatkan dari *oscilloscope*. Dari hasil pengujian konverter dengan kontrol arus memakai *board* Arduino didapatkan hasil seperti pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Hasil Pengujian Implementasi PFC dengan  $V_s$  25 Volt.

$P_o$	<i>True</i> PF Sebelum	<i>True</i> PF Sesudah
90	0,953	0,993
79,2	0,94	0,990
70	0,926	0,988
60	0,908	0,985
50	0,893	0,979
44,2	0,873	0,978

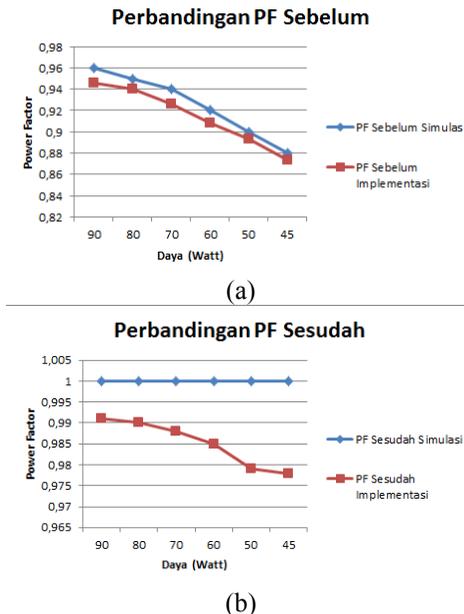
Dari hasil pengujian implementasi PFC pada konverter AC-DC *boost bridgeless* dapat dilihat bahwa, kontrol *Power Factor Correction* terlihat sudah mampu memperbaiki PF sebelum diberikan kontroler. Dari PF 0,953 mampu mengkoreksi hingga 0,993 pada daya penuh dan pada daya rendah pengujian 44.2 Watt konverter dapat mengkoreksi dari 0,873 menjadi 0,978. Semakin turun daya keluaran dari konverter, semakin turun nilai PF atau faktor daya dari sistem. Hal ini dikarenakan dengan semakin turunnya daya yang diberikan konverter, arus masukan juga akan semakin turun sehingga bentuk arus masukan yang terdistorsi oleh penyaklaran konverter akan semakin kurang bagus, sehingga akan menyebabkan turunnya nilai faktor daya dari konverter. Bentuk arus sebelum dan sesudah diberikan kontroler dapat dilihat pada gambar 4.7.

Dari bentuk gelombang yang didapatkan, kontroler akan mengkoreksi gelombang arus yang terdistorsi dengan memberikan penyaklaran pada gelombang arus yang *error*, sehingga bentuk gelombang yang cacat dapat diperbaiki. Hasil kontrol pada implementasi mampu memperbaiki gelombang arus dengan faktor daya mendekati 1, akan tetapi pada daya rendah faktor daya tidak mampu diperbaiki mendekati 1 atau 0.99. Jika dibandingkan dengan hasil desain simulasi kontrol ditunjukkan pada gambar 4.8. grafik perbandingan simulasi dan implementasi.



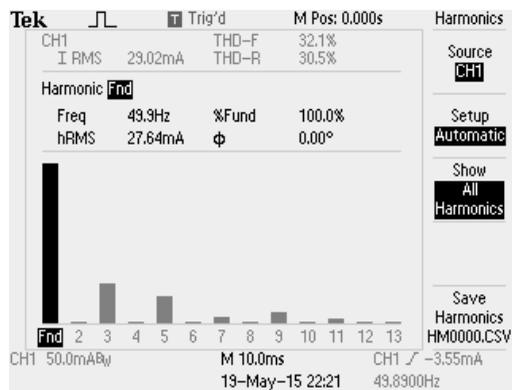
**Gambar 4.7.** Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Masukan pada Beban Penuh 90 Watt. (a) Sebelum Diberikan Kontrol. (b) Setelah Diberikan Kontrol.

Grafik perbandingan simulasi dan implementasi, ditunjukkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8.** Perbandingan Nilai *Power Factor* Simulasi dan Implementasi. (a) Sebelum Diberikan Kontroler. (b) Sesudah Diberikan Kontroler.

Dari gambar grafik dapat dilihat bahwa, nilai PF sebelum diberikan kontrol atau PF pada kondisi *loop* terbuka untuk implementasi memiliki nilai *trend* yang sama dengan nilai PF pada simulasi walaupun sebenarnya lebih kecil dibandingkan hasil simulasi. Begitu juga pada grafik PF sesudah diberikan kontrol terdapat sedikit perbedaan sekitar 1% - 3% dari simulasi. Jika dilihat dari bentuk gelombang hasil implementasi yang terdistorsi, hal ini disebabkan karena adanya *harmonic* pada konverter sehingga nilai PF tidak bisa konstan seperti pada hasil yang diberikan pada simulasi. Analisa ini diperkuat dengan adanya data spectrum THD pada gelombang hasil implementasi, *sample* spectrum THD ditunjukkan pada gambar 4.9. berikut.



**Gambar 4.9.** Harmonisa.

Adanya harmonisa menyebabkan penurunan nilai PF karena faktor distorsi, nilai PF yang terbaca pada *oscilloscope* adalah nilai *True Power Factor*, sehingga nilai PF tidak sesuai dengan nilai yang dihasilkan oleh simulasi. Hubungan PF dengan THD atau harmonisa dijelaskan pada subsub bab selanjutnya.

#### 4.2.3 Hubungan PF dengan THD (*Total Harmonic Distortion*) Arus

Untuk membuktikan nilai THD berpengaruh pada bergesernya nilai *power factor*, dalam subsub bab ini akan dibahas perhitungan dan pengukuran nilai harmonisa arus yang digunakan untuk mendapatkan nilai faktor distorsi atau *Distortion Power Factor* untuk membuktikan teori hubungan Harmonisa dan *power factor* dari rumus (2.22) dan

(2.23). Berikut hasil pengukuran dan perhitungan nilai *True Power Factor*, *Displacement Power Factor*, *Distortion Power Factor* dan THD arus.

**Tabel 4.3.** Perhitungan *Power Factor*.

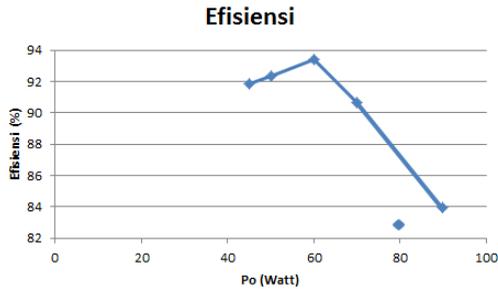
<i>True PF</i>	<i>Displacement PF</i>	<i>Distortion PF</i>	THD I
0,991	1,05	0,941	0,358
0,99	1,03	0,952	0,321
0,988	1,04	0,941	0,358
0,985	1,06	0,926	0,406
0,979	1,09	0,893	0,503
0,978	1,09	0,890	0,511

Nilai *True Power Factor* dan THD I langsung didapatkan dari nilai yang terbaca oleh *oscilloscope* sedangkan nilai *Distortion PF* dan *Displacement PF* didapatkan dari hasil perhitungan dengan rumus (2.22) dan rumus (2.23). Dari tabel 4.3. dapat dilihat bahwa nilai *Displacement Power Factor* sama dengan nilai yang ditunjukkan pada hasil simulasi yaitu 1. Pada simulasi nilai *power factor* 1 karena semua simulasi dilakukan pada kondisi ideal. Pada hasil perhitungan nilai *Displacement PF* bisa dikatakan pada nilai 1, karena nilai terbesar dari PF adalah 1 atau *unity*, faktor desimal dibelakang nilai 1 didapatkan karena perhitungan dan pembulatan-pembulatan yang dilakukan tidak dengan perhitungan *cosinus* atau nilai trigonometri yang tepat akan tetapi perhitungan THD dengan persamaan akar, perkalian dan pembagian biasa. Karena pada Tugas Akhir ini tidak digunakan filter dan cara lain untuk mengurangi harmonisa, analisis hubungan harmonisa hanya digunakan untuk membuktikan kontroler pada konverter ini sudah bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

#### 4.2.4 Pengujian Efisiensi

Pengujian efisiensi konverter dilakukan dengan cara merubah daya keluaran konverter pada tegangan masukan yang sama. Karena pada implementasi ini menggunakan tegangan masukan yang tetap, pengujian dilakukan dengan tegangan masukan yang tetap yaitu 25 Volt rms. Dari hasil pengujian didapatkan nilai efisiensi seperti yang ditunjukkan pada

gambar grafik 4.10. Berikut ini ditunjukkan hasil pengujian efisiensi konverter.



**Gambar 4.10.** Grafik Efisiensi.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa konverter ini memiliki efisiensi rata-rata 88,90 %, dengan semakin kecil daya keluaran semakin tinggi efisiensi konverter. Hal ini dikarenakan dengan tegangan masukan yang sama, semakin rendah daya keluaran konverter akan mengakibatkan arus masukan semakin rendah, sehingga rugi pada jembatan dioda dan komponen penyaluran semakin rendah. Daya aktif sebanding dengan arus kuadrat dan hambatan pada penghantar, sehingga dengan semakin kecil arus yang melewati komponen atau konduktor semakin kecil rugi konduksi pada konverter.

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Dalam bab ini diberikan beberapa kesimpulan dari Tugas Akhir yang telah dikerjakan beserta saran untuk kelengkapan dan kelanjutan penelitian selanjutnya.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian implementasi rangkaian konverter AC-DC *Boost Bridgeless* dengan *Power Factor Correction*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada implementasi dengan tegangan masukan tetap 25 Volt rms dan dengan *duty cycle* tetap 0,5 , konverter dapat menghasilkan tegangan DC *full-wave-rectifier* dengan rasio 2x lipat rms sesuai teori *boost converter* konvensional.
2. Konverter ini dapat diberikan kontrol *power factor correction* dan mampu mengoreksi *power factor* mendekati 1 (*unity*). Pada implementasi alat, PF tertinggi didapat pada beban penuh konverter yaitu 0,993.
3. Efisiensi tertinggi pada implementasi alat dicapai saat pembebanan 66,67% dari desain, yaitu pada beban 60 Watt. Efisiensi tertinggi sebesar 93%, sedangkan efisiensi rata-rata pada pengujian implementasi alat yaitu sebesar 88,90%.
4. Nilai PF pada konverter dipengaruhi oleh nilai harmonisa. Semakin tinggi harmonisa yang ditunjukkan dengan nilai THD, semakin rendah nilai *True Power Factor* yang terbaca pada alat ukur *oscilloscope*.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk perkembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada penggunaan kontroler digital seperti *microcontroller* pastikan memiliki *rate sampling ADC* yang tinggi.
2. Ditambahkan konverter regulator tegangan, sehingga konverter ini siap diintegrasikan untuk catu daya.
3. Ditambahkan filter untuk mengurangi *Electromagnetic Interference* dan filter untuk mengurangi nilai harmonisa untuk menekan nilai rugi-rugi konverter.

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Parvez akter, Muslem Uddin, Md. Mizanur Rahman, Monirul Islam, and Md. Rezaul Basher Bhuiyen, "*Efficiency Improvement of Semi-Bridgeless Phase-Shifted Boost Converter with Power Factor Correction in Energy Storage System*", International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2013.
- [2] Laszlo Huber, Yungtaek Jang, and Milan M. Jovanonic, "*Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers*", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, No. 3, May 2008.
- [3] M. Gopinath and D. Yogeetha, "*Efficiency Analysis of Bridgeless PFC Boost Converter with the Conventional Method*", International Journal of Electronic Engineering Research ISSN 0975 - 6450, Volume 1, Number 3 (2009), pp. 213-221.
- [4] Prof. Chi K. Tse, "*Circuit Theory and Design of Power Factor Correction Power Supplies*", IEEE Distinguished Lecture 2005, Circuits and Systems.
- [5] Chi K. Tse, Martin H. L. Chow, "*Theoretical Study of Switching Power Converters with Power Factor Correction and Output Regulation*", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 47, No. 7, July 2000.
- [6] Chi K. Tse, Martin H. L. Chow, Martin K.H. Cheung, "*A Family of PFC Voltage Regulator Configurations with Reduced Redundant power Processing*", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16, No. 6, November 2001.
- [7] Fariborz Musavi, Wilson Eberle, William G. Dunford, "*A High-Performance Single-Phase Bridgeless Interleaved PFC Converter for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers*", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 4, July/August 2011.
- [8] Prof., Ir., Mochammad Ashari, M.Eng., PhD, "*Sistem Konverter DC, Desain Rangkaian Elektronika Daya*", ITS Press, Surabaya 2012.

- [9] Bing Lu, Ron Brown, Marco Soldano, “*Bridgeless PFC Implementation Using One Cycle Control Technique*”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. APEC 2005. Twentieth Annual IEEE.
- [10] Muhammad H Rashid, "*Power Electronics Handbook (Third Edition)*", Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK, 2011.
- [11] Jepry, “*Perancangan Pengendali PID pada Proportional Valve*”, Skripsi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Teknik Elektro, Depok, Juni 2010.
- [12] W. Mack Grady, Robert J Gilleskie, “*Harmonics and How They Relate to Power Factor*”, Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA 93), San Diego, CA, November 1993.
- [13] Magnetic\_powder\_cores, “**Magnetic Powder Cores**”, Changsung Corporation, 2015.
- [14] 0077439A7, “**MAGNETICS**”, Mag-Inc, 2015.
- [15] MUR1560, “**MUR1520, MUR1520, Ultra Fast Recovery Diodes**”, Sirectifier, 2015.
- [16] IRF540N, “**IRF540N, HEXFET Power MOSFET**”, International Rectifier, 2015.
- [17] BYC10-600, “**BYC10-600, Hyperfast Power Diodes**”, NXP Semiconductors, 2013.
- [18] A000047, “**Arduino Mega 2560**”, Arduino, 2015.

## LAMPIRAN

### 1. *Listing* program Arduino Mega 2560 untuk membangkitkan sinyal PWM dengan frekuensi 50kHz dan kontrol PID.

```
#include <Wire.h>
#include <PID_v1.h>
#include <PWM.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(21, 20, 19, 18, 17, 16);
const int BUTTON1 = 6;
const int BUTTON2 = 7;
const int PIDButton = 5;
int led = 9;
int brightness = 0;
int i = 3;
int val = 0;
int val_old = 0;
float duty = 0.0;
float pengali = 0.0;
int32_t frequency = 50000;
int Arus = A0;
int Tegangan = A1;
double Setpoint, Input, Keluar;
float consKp=1, consKi=100000, consKd=0.0000001;
PID myPID(&Input, &Keluar, &Setpoint, consKp, consKi, consKd,
DIRECT);
double lightLevel;
double lightLevel2;
int duty_PID = 0;

// Arrays to save our results in
unsigned long start_times[100];
unsigned long stop_times[100];
unsigned long values[100];

unsigned long start_timess[100];
unsigned long stop_timess[100];
unsigned long valuess[100];
```

```

// Define various ADC prescaler
const unsigned char PS_16 = (1 << ADPS2);
const unsigned char PS_32 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_64 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1);
const unsigned char PS_128 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 <<
ADPS0);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Welcome to the ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("PWM-PID Control");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  myPID.SetOutputLimits(94.35 ,153); //PID Setup
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  pinMode(Arus, INPUT);
  pinMode(Tegangan, INPUT);
  InitTimersSafe(); //Setup Frekuensi
  bool success = SetPinFrequencySafe(led, frequency);
  if (success) {
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, HIGH);
    pinMode(BUTTON1, INPUT);
    pinMode(BUTTON2, INPUT);
  }

  // set up the ADC
  ADCSRA &= ~PS_128; // remove bits set by Arduino library

  // you can choose a prescaler from above.
  // PS_16, PS_32, PS_64 or PS_128
  ADCSRA |= PS_64; // set our own prescaler to 64
}

void loop() {
  val = digitalRead(BUTTON1);

```

```

if((val == HIGH) && (val_old == LOW)) {
    brightness = brightness + i;
    delay(200);
    if (brightness == 255) {
        brightness = brightness - 0;
        delay(200);
    }
}
val = digitalRead(BUTTON2);
if((val == HIGH) && (val_old == LOW)) {
    brightness = brightness - i;
    delay(200);
    if (brightness == 0) {
        brightness = brightness - 0;
        delay(200);
    }
}
val_old = val;
pengali = brightness;
duty = pengali / 255.0;
unsigned int j;
// capture the values to memory
for(j=0;j<100;j++) {
    start_times[j] = micros();
    values[j] = analogRead(Arus);
    stop_times[j] = micros();
}
unsigned int k;
// capture the values to memory
for(k=0;k<100;k++) {
    start_timess[k] = micros();
    valuess[k] = analogRead(Tegangan);
    stop_timess[k] = micros();
}
lightLevel = ((values[j]*5*100)/1023)*(1/3.75)*(1/1.53); //Loop Baca
Sensor
lightLevel2 = ((valuess[k]*5*100)/1023)*(1/83.5);
Input = lightLevel;
Setpoint = lightLevel2;

```

```

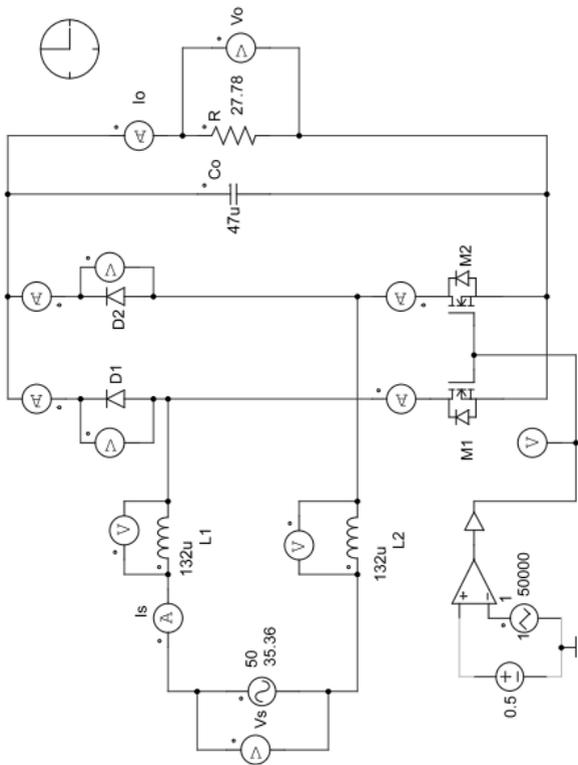
myPID.Compute();

duty_PID = digitalRead (PIDButton); //Baca PID On atau Off
if (duty_PID == HIGH){
analogWrite(led, Keluar);
delay(30);}
else {pwmWrite(led, brightness);}

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("DS:");
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(duty);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("DP:");
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(Keluar/255.0);
lcd.setCursor(10, 0);
lcd.print("1:");
lcd.setCursor(12, 0);
lcd.print(lightLevel2);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print("2:");
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(lightLevel);
}

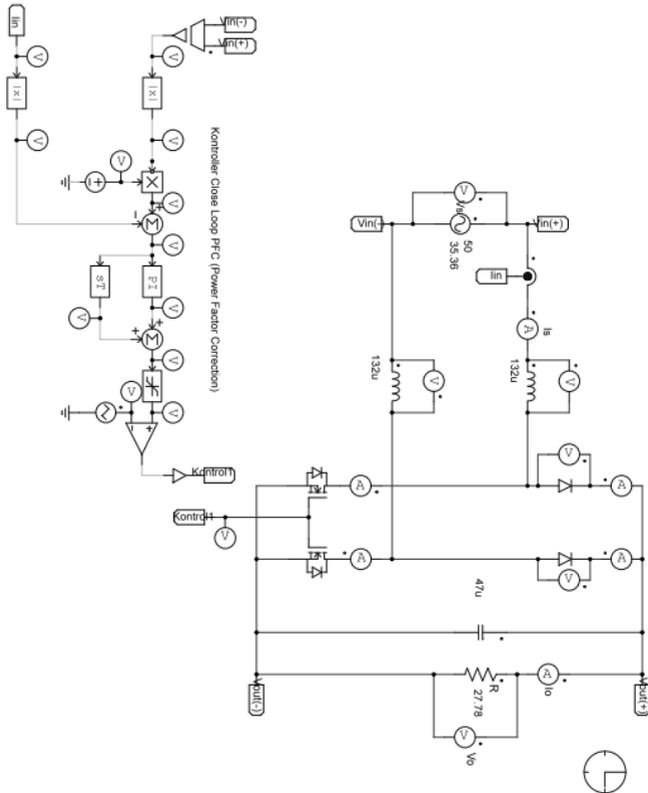
```

## 2. Simulasi Konverter AC-DC *Boost Bridgeless Loop Terbuka*



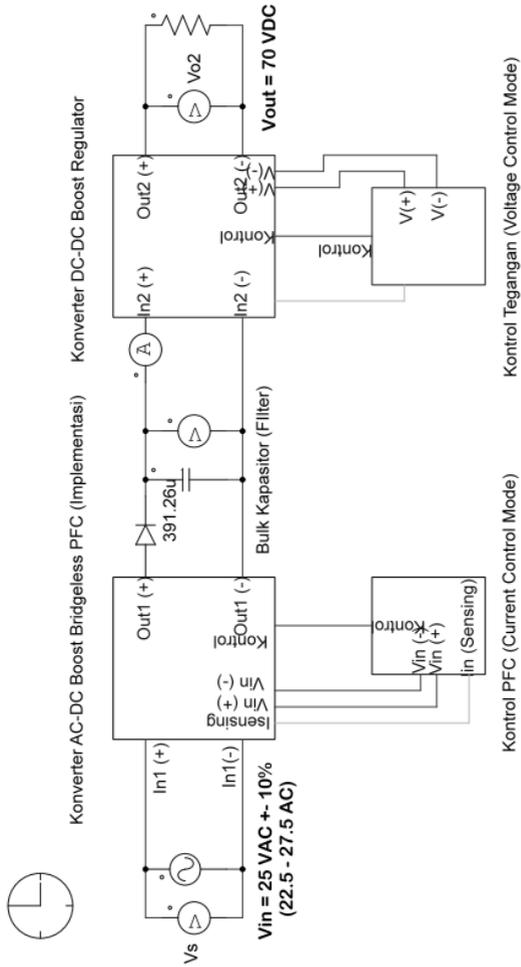
S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	
Konverter AC-DC Boost Bridgeless Loop Terbuka	
Designed by	Decki Resdyanto Sudiro
Revision	rev3
Page 1 of 1	

### 3. Simulasi AC-DC Boost Bridgeless Loop Tertutup



S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	
Title Konverter AC-DC Boost Bridgeless dengan Power Factor Correction Loop Tertutup	
Designed by	Dechi Resnyanto Sudiro
Revision	rev.3
Page 1 of 1	

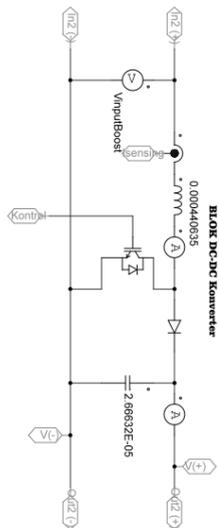
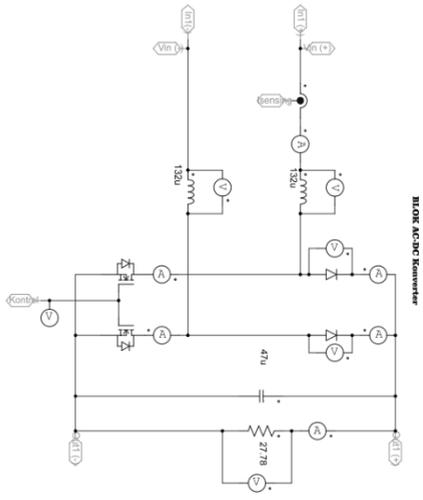
## 4. Simulasi Arsitektur Sistem Catu Daya



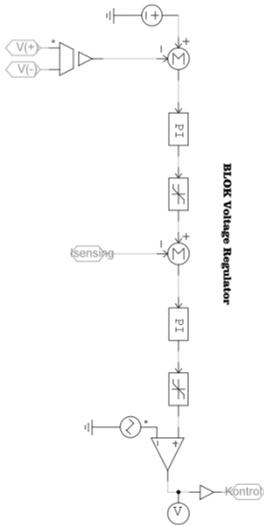
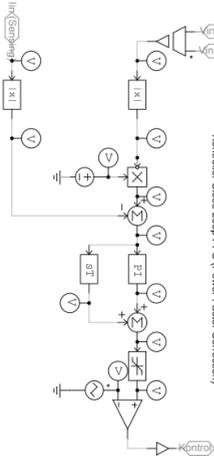
### ARSITEKTUR SISTEM CATU DAYA MOBIL LISTRIK SEDERHANA (UMUM)

S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	
Title Arsitektur Sistem Catu Daya	
Designed by	Decki Resdyanto Sudirio
Revision	rev.3
Page 1 of 1	

## 5. Blok Arsitektur Catu Daya



**BLOK PFC Kontrol**  
Kontroler Close Loop PFC (Power Factor Correction)



S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	
Blok Arsitektur Catu Daya	
Designed by	Dachil Reslyanto Sudiro
Revision	rev3
	Page 1 of 1

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Decki Resdyanto Sudiro** lahir di Wonogiri Jawa Tengah pada tanggal 28 Desember 1992. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Joko Sudiro dan Widatik Sudaryatni. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Muhammadiyah Nambangan tahun 1999-2005, SMP Negeri 1 Selogiri tahun 2005-2008 dan lulus dari SMAN 1 Sukoharjo pada tahun 2011. Saat ini penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), jurusan Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Saat kuliah, aktif mengikuti beberapa organisasi seperti UKM Perisai Diri, UKM Robotika, Klub Keilmiah Teknik Elektro, dan Ikatan Keluarga Mahasiswa Sukoharjo di Surabaya. Sempat menjadi ketua umum Ikatan mahasiswa dan ketua departemen di UKM Robotika serta menjadi Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik B101. Beberapa karya tulis ilmiah pernah dibuat dan mendapatkan penghargaan tingkat regional hingga nasional.

*e-mail:* [d.resdyanto@gmail.com](mailto:d.resdyanto@gmail.com)

*--Halaman ini sengaja dikosongkan--*