



TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *CURRENT BOOSTER*
MENGUNAKAN MPPT UNTUK APLIKASI *SOLAR WATER*
*PUMPING***

Rizki Fadila Nur Setya
NRP 2213 100 034

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan., ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**DESIGN AND IMPLEMENTATION CURRENT BOOSTER WITH MPPT
FOR SOLAR WATER PUMPING APPLICATION**

Rizki Fadila Nur Setya
NRP 2213 100 034

Supervisors
Dedet Candra Riawan., ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

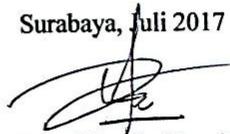
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain dan Implementasi Current Booster menggunakan MPPT untuk Aplikasi Solar Water Pumping**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

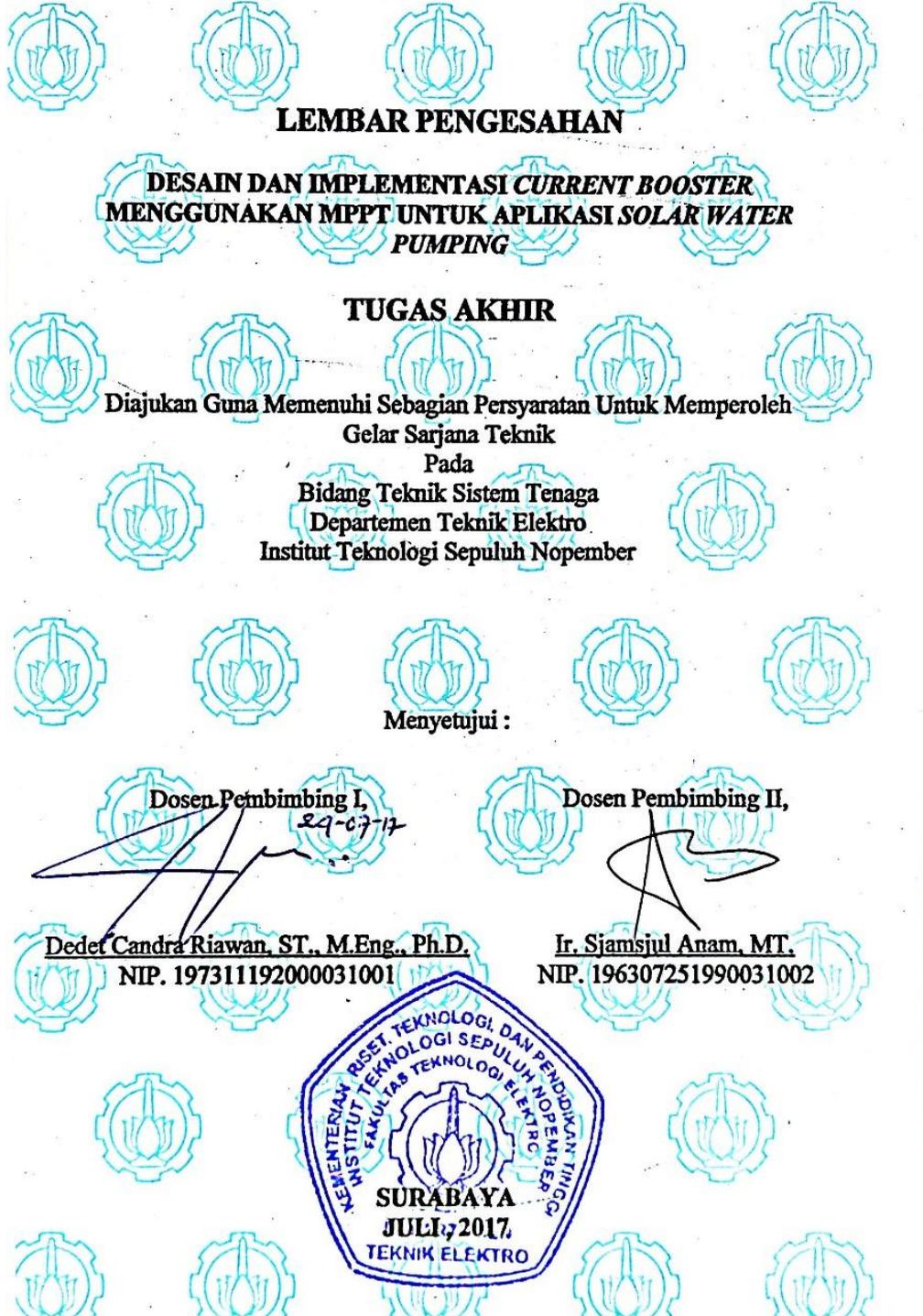
Surabaya, Juli 2017



Rizki Fadila Nur Setya

Nrp. 2213 100 034

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *CURRENT BOOSTER* MENGUNAKAN MPPT UNTUK APLIKASI *SOLAR WATER* *PUMPING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

29-07-17

Dosen Pembimbing II,

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

NIP. 19731119200031001

Ir. Sjamsjul Anam, MT.

NIP. 196307251990031002



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *CURRENT BOOSTER* MENGGUNAKAN MPPT DALAM APLIKASI *SOLAR WATER PUMPING*

ABSTRAK

Sistem solar water pumping merupakan sistem pompa air dengan tenaga sel surya (*photovoltaic*). *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem PV. Perbedaan intensitas matahari (*irradiant*) mempengaruhi kecepatan *startup* motor dalam menggerakkan pompa air. Hal ini yang menyebabkan motor tidak dapat *startup* lebih awal dengan *irradiant* yang rendah. Rangkaian *current booster* dengan menggunakan metode MPPT *Maximum Power Line (MPL)* dapat meningkatkan arus *starting* pada motor. Sehingga motor dapat *startup* lebih awal dengan *irradiant* yang rendah. Metode MPPT MPL akan melakukan *tracking* dengan menggunakan persamaan garis kemiringan (*gradient*) dari arus maksimum (*Imaks*) dan daya maksimum (*Pmaks*) agar mendapatkan titik daya maksimumnya.

Untuk itu, pada Tugas Akhir ini akan disimulasikan dan diimplementasikan sistem *solar water pumping* dengan dan tanpa menggunakan *current booster* metode MPPT (MPL), metode ini mampu menghasilkan efisiensi daya PV sebesar 92,8%, dengan peningkatan jumlah debit sebesar 1,13 kali dan waktu *startup* $\frac{1}{1,73}$ kali lebih cepat dibandingkan dengan sistem tanpa *current booster*.

Kata kunci : *current booster, MPPT Maximum Power Line (MPL), startup.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESIGN AND IMPLEMENTATION CURRENT BOOSTER WITH MPPT FOR SOLAR WATER PUMPING APPLICATION

ABSTRACT

Solar water pumping system is a water pump system with solar cell (photovoltaic). Maximum Power Point Tracker (MPPT) is used to improve the efficiency of PV systems. The difference in the intensity of the sun (irradiant) affects the startup speed of the motor in moving the water pump. This causes the motor can not startup early with a low irradiant. Current booster circuit using MPPT Maximum Power Line (MPL) method can increase the starting current on the motor. So the motor can startup early with a low irradiant. MPPT MPL method will perform tracking by using the gradient of the maximum current (I_{max}) and maximum power (P_{max}) to obtain its maximum power point.

Therefore, in this final project will be simulated and implemented solar water pumping system with and without using current booster MPPT method (MPL), this method can produce PV power efficiency equal to 92,8%, with increasing of debit amount equal to 1,13 times and Startup time is $\frac{1}{1,73}$ times faster than the system without current booster.

Keywords : *current booster, MPPT Maximum Power Line (MPL), startup.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul:

“DESAIN DAN IMPLEMENTASI *CURRENT BOOSTER* MENGGUNAKAN MPPT DALAM APLIKASI *SOLAR WATER PUMPING*”

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang memberi dukungan yang luar biasa baik secara moral dan spiritual.
2. Dosen pembimbing saya Bapak Dedet Candra Riawan, Bapak Sjamsjul Anam atas segala bimbingan ilmu dan moral dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Om, Tante, Pakde dan Budhe dan sepupu-sepupu yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.
4. Keluarga besar E53 dan teman-teman Laboratorium Konversi Energi yang selalu bersedia membantu dan menemani dalam proses pengerjaan alat.
5. Novia, Rahma, Dhany, Mbak Pian dan teman-teman “*Want it ah*” yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.
6. Rio Prakoso Wibowo, yang selalu menemani dan memberikan dukungan dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Besar harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi semua pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	4
BAB 2 SISTEM WATER PUMPING DENGAN PHOTOVOLTAIC	5
2.1 Sel Surya (<i>Photovoltaic</i>)	5
2.1.1 Rangkaian Ekuivalen <i>Photovoltaic</i>	6
2.1.2 Karakteristik Arus-Tegangan PV	7
2.1.3 <i>Fill Factor</i> (FF)	8
2.1.4 Efek Suhu dan <i>Irradiant</i>	8
2.2 <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i> Metode <i>Maximum Power Line (MPL)</i>	10
2.3 Topologi Current Booster	12
2.4 Motor DC	13
2.4.1 Karakteristik Motor DC <i>Shunt</i> dan Beban	14
2.4.2 Analisis Torsi-Kecepatan	15
BAB 3 DESAIN DAN SIMULASI SISTEM WATER PUMPING DENGAN PHOTOVOLTAIC	19
3.1 Pemodelan Sistem	19
3.2 Desain Rangkaian <i>PV Array</i>	19

3.3	Desain <i>Boost Converter</i>	20
3.3.1	Rangkaian <i>Boost Converter</i>	20
3.3.2	Parameter Rangkaian	25
3.4	Desain <i>Current Booster</i>	27
3.4.1	Penentuan Parameter Rangkaian.....	27
3.4.2	Desain Kontrol MPPT	28
3.4.3	Desain Kontrol <i>Duty Cycle</i>	28
3.5	Parameter Motor DC	29
3.6	Parameter Pompa Sentrifugal.....	30
3.7	Simulasi	34
BAB 4 IMPLEMENTASI CURRENT BOOSTER UNTUK SOLAR WATER PUMPING		41
4.1	Eksperimental <i>Set up</i>	41
4.1.1	Saklar Semikonduktor.....	41
4.1.2	Dioda	41
4.1.3	Pompa Sentrifugal.....	42
4.2	Hasil Eksperimen dan Perbandingan	42
4.2.1	Implementasi sistem <i>solar water pumping</i> dengan <i>Current Booster</i>	43
4.2.2	Pengujian sistem <i>solar water pumping</i> tanpa <i>Current Booster</i>	46
4.2.3	Perbandingan	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN		59
RIWAYAT HIDUP PENULIS		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem <i>Solar Water Pumping</i>	5
Gambar 2. 2 Sistem <i>Solar Water Pumping</i> dengan <i>Current Booster</i> ...	5
Gambar 2. 3 Rangkaian ekivalen sel surya	6
Gambar 2. 4 Sel Surya dihubungkan Pararel (a) dan Seri (b)	7
Gambar 2. 5 Grafik I-V dan P-V pada <i>photovoltaic</i>	8
Gambar 2. 6 Kurva I-V <i>photovoltaic</i> dengan perubahan nilai <i>irradiant</i>	9
Gambar 2. 7 Kurva V-P <i>photovoltaic</i> dengan perubahan nilai <i>irradiant</i>	9
Gambar 2. 8 Kurva I-V <i>photovoltaic</i> dengan perubahan nilai suhu matahari	10
Gambar 2. 9 Kurva V-P <i>photovoltaic</i> dengan perubahan nilai suhu matahari	10
Gambar 2. 10 Kurva titik kerja PV akibat perubahan beban.	11
Gambar 2. 11 Kurva Arus-Daya pada <i>Photovoltaic</i> dengan <i>Irradiant</i> yang berbeda	12
Gambar 2. 12 Blok Diagram <i>Current Booster</i>	13
Gambar 2. 13 Rangkaian ekuivalen motor DC <i>shunt</i>	14
Gambar 2. 14 Kurva karakteristik pompa sentrifugal	16
Gambar 2. 15 Kurva karakteristik torsi-kecepatan motor DC <i>shunt</i> dengan beban pompa sentrifugal.....	17
Gambar 2. 16 Torsi dan inersia motor-beban.....	17
Gambar 3. 1 Sistem <i>closed-loop solar water pumping</i>	19
Gambar 3. 2 Rangkaian <i>boost converter</i>	21
Gambar 3. 3 Rangkaian <i>boost converter</i> pada kondisi <i>switch on</i>	21
Gambar 3. 4 Rangkaian <i>boost converter</i> pada kondisi <i>switch off</i>	22
Gambar 3. 5 Rangkaian <i>boost converter</i> sisi kanan	23
Gambar 3. 6 Gelombang rangkaian <i>boost converter</i>	24
Gambar 3. 7 Gelombang arus induktor (I_L).....	26
Gambar 3. 8 Rangkaian <i>Current Booster</i>	27
Gambar 3. 9 Kontrol <i>Duty Cycle boost converter</i>	29
Gambar 3. 10 Pensaklaran <i>boost converter</i>	29
Gambar 3. 11 Kurva karakteristik motor-pompa	31
Gambar 3. 12 Blok diagram daya pompa sentrifugal.....	34
Gambar 3. 13 Rangkaian PV-Beban	35
Gambar 3. 14 Sistem <i>water pumping</i> dengan <i>current booster</i>	35
Gambar 4. 1 Sistem <i>solar water pumping</i> dengan <i>current booster</i>	43

Gambar 4. 2 Rangkaian <i>Current Booster</i>	43
Gambar 4. 3 Gelombang Rangkaian <i>Boost Converter</i>	44
Gambar 4. 4 Grafik Efisiensi <i>Boost Converter</i>	44
Gambar 4. 5 Grafik Daya Rangkaian <i>Current Booster</i>	45
Gambar 4. 6 Grafik daya sistem tanpa <i>current booster</i>	47
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan kecepatan.....	48
Gambar 4. 8 Arus <i>Starting Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 145 W/m ²	50
Gambar 4. 9 Ploting Grafik Arus <i>Starting Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 145 W/m ²	50
Gambar 4. 10 Arus <i>Starting Tanpa Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 250 W/m ²	51
Gambar 4. 11 Ploting Grafik Arus <i>Starting Tanpa Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 145 W/m ²	51
Gambar 4. 12 Arus <i>Starting Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 250 W/m ²	52
Gambar 4. 13 Ploting Grafik Arus <i>Starting Current Booster</i> dengan <i>Irradiant</i> 250 W/m ²	52
Gambar 4. 14 Sistem <i>solar water pumping</i> beban bohlam	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Panel Surya	20
Tabel 3. 2 Parameter Rangkaian <i>Boost Converter</i>	27
Tabel 3. 3 Data parameter motor <i>DC shunt</i>	30
Tabel 3. 4 Rasio tabulasi torsi-kecepatan motor dan pompa	31
Tabel 3. 5 Spesifikasi pompa sentrifugal FM50.....	32
Tabel 4. 1 Deskripsi implementasi sistem <i>solar water pumping</i>	42
Tabel 4. 2 Deskripsi implementasi sistem <i>solar water pumping</i>	45
Tabel 4. 3 Daya sistem tanpa <i>current booster</i>	46
Tabel 4. 4 Perbandingan kecepatan sistem <i>solar water pumping</i>	48
Tabel 4. 5 Perbandingan waktu <i>startup</i>	49
Tabel 4. 6 <i>Irradiant startup</i> sistem <i>solar water pumping</i>	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selain matahari, angin, udara bersih dan energi listrik, manusia juga membutuhkan air dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Sumber daya air juga diperlukan untuk menjaga ekosistem untuk kepentingan sosial dan ekonomi masyarakat [1]. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan sumber daya air, masyarakat menggunakan sistem pompa air. Dalam pengoperasiannya, sistem ini membutuhkan sumber energi listrik. Banyaknya wilayah di Indonesia yang belum teraliri energi listrik menyebabkan masyarakat di daerah terpencil kesulitan mendapatkan sumber energi sebagai penggerak pompa air. Akibatnya banyak masyarakat yang menggunakan genset dengan bahan bakar minyak.

Sebagai salah satu energi terbarukan, energi matahari semakin mendapat banyak perhatian, terutama sebagai pengganti bahan bakar fosil yang semakin menipis dan juga polusi yang diakibatkannya. Radiasi matahari akan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan sel surya (*photovoltaic*). Sel surya merupakan teknologi yang bersih dan ramah lingkungan, serta memiliki biaya perawatan yang rendah [2]. Meski demikian, nilai efisiensi yang rendah dan mahalnya biaya investasi masih menjadi kendala bagi sistem PV ini.

Solar Water Pumping System sangat tepat untuk diterapkan pada daerah yang tidak terdapat jaringan listrik [3]. Sistem pompa ini menggunakan energi matahari (*PV*) sebagai sumbernya dan motor dc sebagai penggerak pompa air. Salah satu cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem PV adalah dengan menggunakan *MPPT* atau *Maximum Power Point Tracker*. *MPPT* ini dapat mengatasi sifat arus dan tegangan yang tidak linier.

Perbedaan intensitas pencahayaan (*irradiance*) pada *solar water pumping system* mempengaruhi kecepatan *startup* motor dalam menggerakkan pompa air. Hal ini menyebabkan motor tidak dapat *startup* lebih awal dengan tingkat intensitas cahaya yang rendah. Sehingga pada tugas akhir ini saya mengambil judul "*Desain dan Implementasi Current Booster menggunakan MPPT untuk Aplikasi Solar Water Pumping*". Sebagai solusi permasalahan tersebut.

Fungsi rangkaian *current booster* adalah meningkatkan kemampuan *power supply* dalam memberikan arus yang besar. Sehingga dengan arus yang besar maka solar water pumping dapat *startup* lebih awal dengan intensitas cahaya yang rendah.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana mengimplementasikan rangkaian *current booster* dalam aplikasi *solar water pumping* untuk menaikkan arus keluaran dari *PV* agar motor dapat *startup* lebih awal, cara menentukan *duty cycle* yang tepat pada *current booster* menggunakan kontrol *MPPT* dengan metode *Maximum Power Line (MPL)* pada sistem *PV* agar mendapatkan daya keluaran yang optimal.

1.3 Batasan Masalah

Target dari tugas akhir ini adalah mengimplementasikan rangkaian *current booster* dalam aplikasi *solar water pumping* dengan kontrol *MPPT* berbasis metode *Maximum Power Line (MPL)*. Agar didapatkan hasil yang terarah, maka tugas akhir ini terbatas pada pembuatan rangkaian elektronik serta perangkat lunak yang akan digunakan. Maka, batasan masalah yang tidak dapat dilakukan pada tugas akhir ini karena keterbatasan teknologi dan waktu antara lain:

1. Desain dan implementasi difokuskan pada waktu yang dibutuhkan untuk *startup* dan jumlah debit yang dihasilkan dari sistem *solar water pumping*.
2. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat di pasaran dan laboratorium konversi energi listrik.
3. Dalam implementasi, beban pompa sentrifugal dimodelkan dengan lampu bohlam.
4. Perhitungan *irradiant* didapatkan dengan menggunakan metode pendekatan.
5. Analisis perhitungan dan simulasi dilakukan dalam kondisi *steady state*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini yaitu:

1. Mengimplementasikan rangkaian *current booster* dalam aplikasi solar water pumping dengan kontrol *MPPT* dengan metode *Maximum Power Line (MPL)*.
2. Membandingkan waktu *startup* dan jumlah debit yang dihasilkan *solar water pumping* dengan dan tanpa menggunakan rangkaian *current booster*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari buku, jurnal, paper dan *proceeding* dari berbagai sumber mengenai keseluruhan dari sistem *solar water pumping*. Mulai dari spesifikasi masing-masing komponen seperti *PV*, *current booster*, motor DC dan metode *MPPT (Maximum Power Point Tracking)* yang akan digunakan.

2. Desain dan Analisa Rangkaian

Menentukan spesifikasi dan komponen-komponen yang akan digunakan. Maka akan dilakukan desain dan analisa terhadap sistem *solar water pumping* dan akan dilakukan penurunan rumus agar nilai dari komponen pada *current booster* dapat ditentukan sesuai arus yang diharapkan.

3. Implementasi Rangkaian

Dilakukan perakitan sistem *solar water pumping*. Dari hasil analisa, dapat ditentukan komponen-komponan yang akan digunakan dan disesuaikan dengan komponen yang sudah ada. Hal ini agar output yang diharapkan sesuai.

4. Uji Coba dan Evaluasi

Pengujian arus output yang dihasilkan dari *current booster*. Besarnya arus output harus sesuai agar sistem solar water pumping dapat *startup* lebih awal. Selain itu, akan dibandingkan hasil dari solar water pumping dengan atau tanpa *current booster*.

5. Penulisan Buku Tugas Akhir

Penulisan laporan Tugas Akhir dilakukan sebagai hasil yang didapatkan dari desain dan implementasi solar water

pumping. Selain itu, penulisan laporan ini juga sebagai gambaran kesimpulan dari Tugas Akhir ini.

1.6 Sistematika Penulisan

1. BAB I merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.
2. BAB II mencakup penjelasan teori-teori penunjang yang berkaitan dengan pembuatan Tugas Akhir. Pada bab ini akan dibahas tentang sel surya (*PV*), *MPPT Maximum Power Line (MPL)*, *current booster* dan pompa sentrifugal.
3. BAB III berisi tentang uraian perencanaan dan implementasi sistem *solar water pumping* dan penentuan parameter untuk setiap komponen.
4. BAB IV berisi hasil desain dan implementasi *solar water pumping* dan analisis terhadap hasil yang didapatkan.
5. BAB V berisi tentang kesimpulan dan saran-saran.

1.7 Relevansi

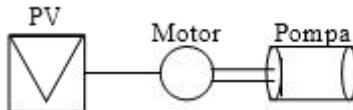
Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan relevansi manfaat sebagai berikut.

1. Dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya untuk mendapatkan debit yang lebih optimal.
2. Dapat menjadi referensi bagi masyarakat umum untuk mengatasi terjadinya kelangkaan energi dan juga *global warming*.

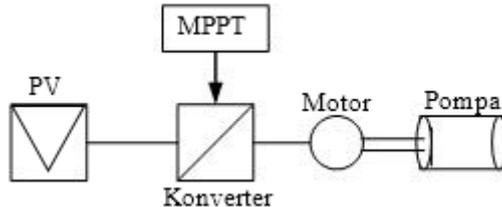
BAB 2

SISTEM WATER PUMPING DENGAN PHOTOVOLTAIC

Sistem *water pumping* dengan menggunakan *photovoltaic (PV)* umumnya dikenal dengan sistem *solar water pumping*. Rangkaian utama dari sistem ini adalah panel *photovoltaic (PV)*, Motor sebagai penggerak, dan pompa. Dalam Tugas Akhir ini, ditambahkan rangkaian *Current Booster* dengan menggunakan metode *MPPT Maximum Power Line (MPL)* yang dapat meningkatkan arus *startup* pada motor. Rangkaian dari sistem *solar water pumping* dengan dan tanpa *current booster* dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Sistem *Solar Water Pumping*



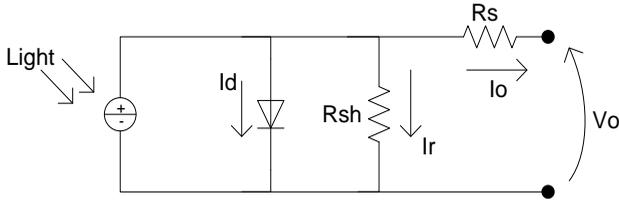
Gambar 2. 2 Sistem *Solar Water Pumping* dengan *Current Booster*

2.1 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang banyak digunakan sebagai sumber energi listrik. Pada dasarnya, sel surya adalah dioda semi konduktor. Konversi energi cahaya menjadi energi listrik terjadi pada saat *p-n junction* dari dioda terpapar cahaya, sehingga energi dari *photon* mampu melepaskan ikatan *electron* terluar dari material yang menyebabkan aliran arus saat sel surya dihubungkan dengan beban.

2.1.1 Rangkaian Ekivalen *Photovoltaic*

solar sel dapat direpresentasikan dengan rangkaian seperti Gambar 2.3. karakteristik dari tegangan-arus dinyatakan oleh persamaan (2.1)[4] :



Gambar 2. 3 Rangkaian ekivalen sel surya

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V-I.R_S)}{A.k.T}} - 1 \right) - \frac{V-I.R_S}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Dimana :

I = arus keluaran PV

T = suhu matahari

V = tegangan keluaran PV

R_S = resistansi seri

I_o = arus saturasi

R_{sh} = resistansi paralel

q = muatan elektron

I_L = arus masukan

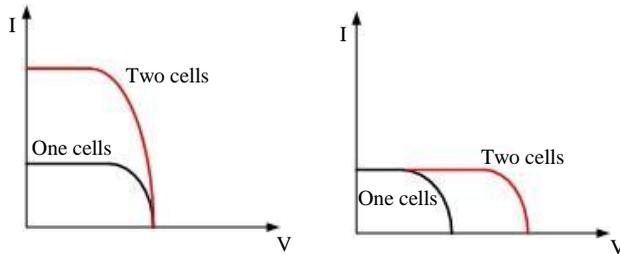
A = faktor kualitas dioda

k = konstanta Boltzman

Untuk menyederhanakan rangkaian, nilai dari resistansi paralel dapat diabaikan, sehingga R_{SH} bernilai tak terbatas jadi persamaan 2.1 berubah menjadi :

$$I \approx n_p I_L - n_p I_0 \left(e^{\frac{q(V-I.R_S)}{A.k.T.n_s}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Dimana n_p dan n_s adalah jumlah sel surya yang tersusun secara paralel dan seri. Pemasangan secara seri dan paralel pada sel surya dilakukan untuk mendapatkan besar tegangan dan arus dengan nilai tertentu maka. Gambar 2.4 adalah grafik arus dan tegangan (I - V) dari dua buah sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel.



Gambar 2. 4 Sel Surya dihubungkan Pararel (a) dan Seri (b)

2.1.2 Karakteristik Arus-Tegangan PV

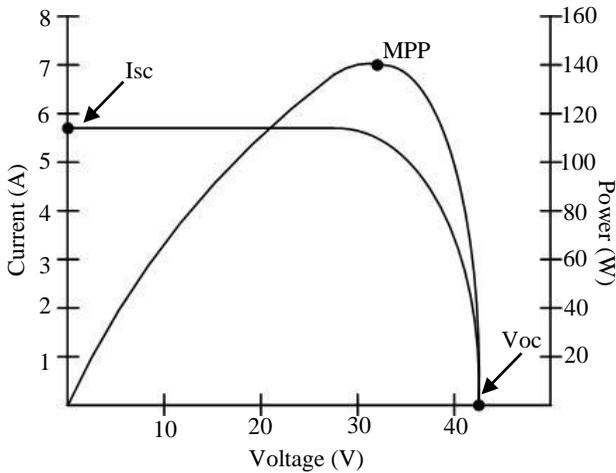
Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus rangkaian tertutup (I_{sc}) merupakan dua hal penting dari karakteristik arus-tegangan sel surya. Tegangan rangkaian terbuka dapat ditentukan dengan persamaan (2.3) saat arus keluaran sama dengan nol ($I=0$) dan tahanan seri diabaikan. sedangkan arus rangkaian tertutup adalah arus saat tegangan sama dengan nol ($V=0$) dan nilainya hampir sama dengan arus masukan (I_L) seperti persamaan (2.4) [4].

$$V_{OC} \approx \frac{A.k.T}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2.3)$$

$$I_{SC} \approx I_L \quad (2.4)$$

Pada saat beban sebenarnya dihubungkan, maka akan menghasilkan daya akibat kombinasi dari arus dan tegangan, dimana nilainya didasarkan pada karakteristik kurva $I-V$.

Nilai daya maksimal (MPP) merupakan hasil perkalian antara arus maksimal dan tegangan maksimal (I_m dan V_m) yang nilainya berada di ujung kurva $I-V$. Bentuk kurva karakteristik $I-V$ dan $P-V$ dapat dilihat pada Gambar 2.5 [4].



Gambar 2. 5 Grafik I-V dan P-V pada *photovoltaic*

Keterangan :

- Isc = *short-circuit current*
- Voc = *open-circuit voltage*
- MPP = *maximum power point*

2.1.3 Fill Factor (FF)

Pada umumnya *Fill factor* digunakan untuk mengetahui kualitas sel surya secara keseluruhan. Dengan menggunakan arus dan tegangan saat *MPP* (I_m dan V_m), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus rangkaian tertutup (I_{sc}), maka *fill factor* dapat ditentukan sesuai dengan persamaan (2.5) [4]:

$$FF = \frac{I_{MPP} \cdot V_{MPP}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \tag{2.5}$$

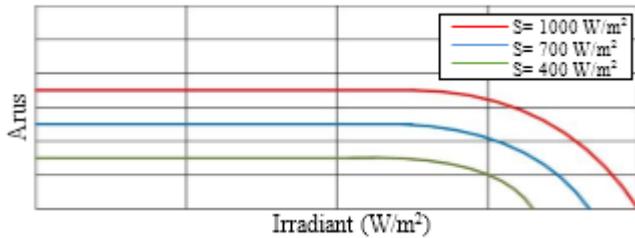
Sebenarnya rasio persamaan (2.5) tidak dapat ditentukan, hal ini dikarenakan nilai $V_m \cdot I_m$ selalu berada dibawah nilai $I_{sc} \cdot V_{oc}$. Nilai *FF* untuk sel surya komersial umumnya lebih dari 0.70 [4]

2.1.4 Efek Suhu dan Irradiant

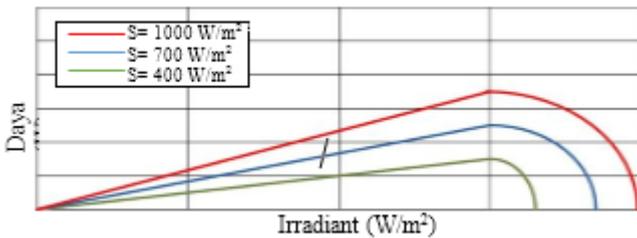
Faktor penting yang mempengaruhi kinerja sel surya adalah suhu matahari dan irradiant. Keduanya sangat berpengaruh terhadap perubahan

karakteristik dari modul surya. Hal inilah yang mengakibatkan titik maksimum daya bervariasi setiap saat. Sehingga titik maksimum daya harus ditentukan dan dipastikan agar daya yang dihasilkan modul surya maksimal.

Kurva $I-V$ dan kurva $P-V$ dari modul surya dengan suhu konstan 25°C dan $irradiant$ bervariasi berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7. Semakin besar nilai $irradiant$ maka arus keluaran PV semakin maksimal dan daya keluaran PV juga semakin besar [5].

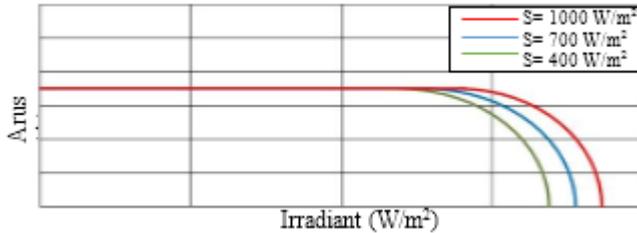


Gambar 2. 6 Kurva $I-V$ *photovoltaic* dengan perubahan nilai $irradiant$

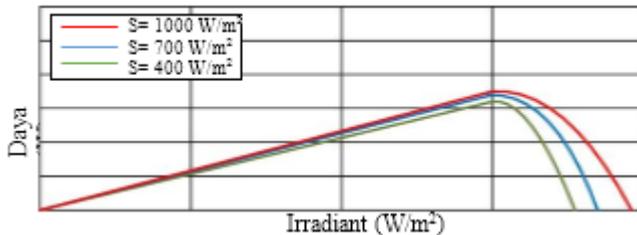


Gambar 2. 7 Kurva $V-P$ *photovoltaic* dengan perubahan nilai $irradiant$

Kurva $I-V$ dan kurva $P-V$ dari modul surya dengan suhu bervariasi dan $irradiant$ konstan berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan 2.9. Semakin tinggi nilai suhu matahari melebihi 25°C maka tegangan keluaran PV semakin kecil dan daya keluaran PV juga semakin kecil [5].



Gambar 2. 8 Kurva I-V *photovoltaic* dengan perubahan nilai suhu matahari

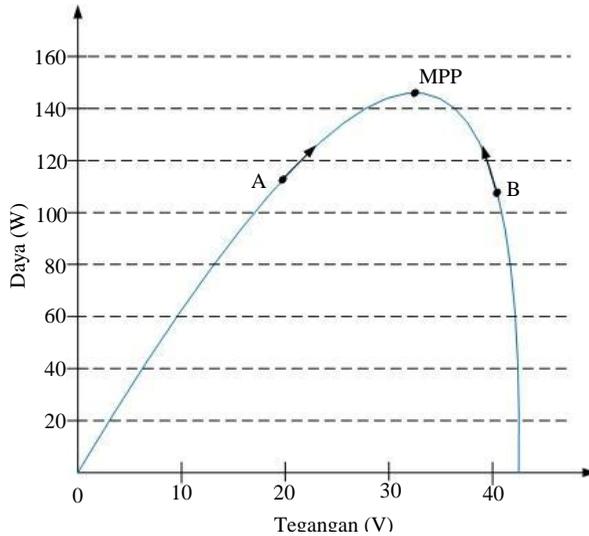


Gambar 2. 9 Kurva V-P *photovoltaic* dengan perubahan nilai suhu matahari

Apabila sistem *PV* tidak menggunakan daya maksimum, maka akan menghasilkan rugi-rugi yang besar. Sehingga dibutuhkan (*track*) titik daya maksimum modul surya agar menghasilkan daya yang selalu maksimum [5].

2.2 *Maximum Power Point Tracking (MPPT) Metode Maximum Power Line (MPL)*

Maximum Power Point Tracking atau yang biasa disebut dengan MPPT bukanlah tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi *PV* terhadap matahari untuk memperoleh energi maksimum matahari. Tetapi MPPT merupakan teknik yang digunakan untuk menjaga sistem *photovoltaic* bekerja dalam *point* MPP (*maximum power point*) (Azad, Sridhar & Miroslave, 2011). Gambar 2.10 adalah grafik karakteristik dari panel surya.



Gambar 2. 10 Kurva titik kerja PV akibat perubahan beban.

Untuk mempertahankan sistem bekerja pada kondisi MPP, Maka metode atau algoritma MPPT yang telah banyak dikembangkan yaitu :

- a) *Constant Voltage Methode*
- b) *Incremental Conductance Method*
- c) *Open Voltage Methode*
- d) *Perturb and Observe Method*
- e) *Short Current Pulse Method*
- f) *Temperature Methode*
- g) *Maximum Power Line*

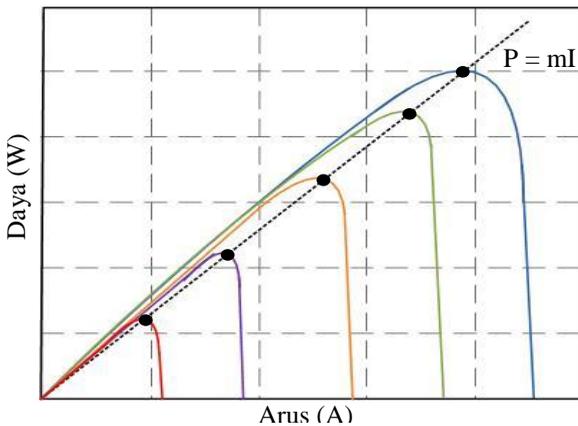
Yang membedakan dari masing-masing metode diatas adalah peralatan sensor yang digunakan, efektifitas metode, kecepatan menuju konvergensi, kompleksitas algoritma, dan cara pelacakan (*tracking*) daerah daya maksimum modul surya.

Metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *Maximum Power Line (MPL)*. Prinsip kerja dari metode ini adalah menentukan titik-titik maksimum dari kurva *P-I* dengan besar *irradiant* yang berbeda-beda seperti pada Gambar 2.11. Titik-titik tersebut saling dihubungkan sehingga membentuk garis linier yang memiliki gradien (*m*). Besarnya gradien dapat ditentukan dengan pembagian daya maksimum (P_{maks}) dan

arus maksimum (I_{maks}) sesuai pada persamaan (2.6). Perubahan *irradiant* menyebabkan arus yang dihasilkan oleh PV berubah-ubah. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan nilai daya dan arus yang selalu pada titik maksimal. Selanjutnya metode *MPL* akan membandingkan arus yang dihasilkan oleh PV (I) dengan arus referensi (I_{Ref}). Sehingga arus output akan bernilai besar.

$$P_{maks} = m \cdot I_{maks} \quad (2.6)$$

$$I_{Ref} = \frac{P}{m} \quad (2.7)$$



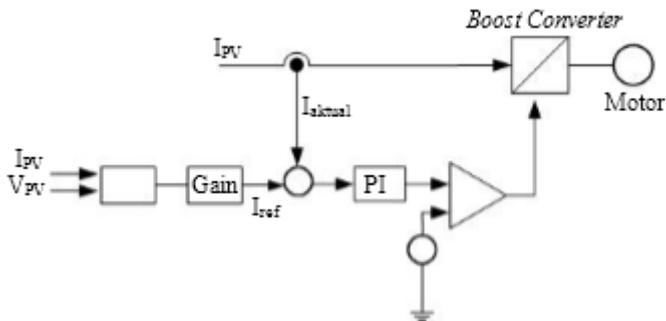
Gambar 2. 11 Kurva Arus-Daya pada *Photovoltaic* dengan *Irradiant* yang berbeda

2.3 Topologi Current Booster

Current booster atau yang biasa disebut dengan rangkaian penguat arus. Rangkaian utama dalam *current booster* yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *Boost Converter*. Dalam panel PV, daya maksimum yang dihasilkan memiliki nilai arus yang relatif rendah dan tegangan yang tinggi. Hal ini berlawanan dengan kebutuhan motor yang membutuhkan arus tinggi pada saat *startup* agar dapat memutar pompa lebih awal. Sehingga *Maximum Power Point Tracking* berbasis *Maximum Power Line (MPL)* digunakan untuk meningkatkan efisiensi dengan menghasilkan daya dari arus yang tinggi dan tegangan

yang rendah sehingga dapat memenuhi karakteristik dari motor dan pompa [6].

Current booster akan bertindak sebagai *MPPT* berbasis *MPL* sehingga dapat meningkatkan arus yang mengalir ke beban. Banyak penelitian yang sedang memfokuskan di bidang ini, karena jika *current booster* dapat bekerja sesuai dengan harapan maka akan memberikan banyak keuntungan di bidang teknologi sel surya [6]. Untuk mendesain sistem *solar water pumping* terlebih dahulu menghitung energi yang dihasilkan sel surya. Diagram blok dari rangkaian *current booster* ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Blok Diagram *Current Booster*

Pada blok diagram *Current Booster* diatas, besarnya nilai Gain (K) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5. Sinyal *PWM* hasil output dari komparator akan menjadi input *switch* pada *boost converter*. Rangkaian *current booster* ini akan meningkatkan arus *starting* pada motor yang terkopel dengan pompa sentrifugal sehingga dapat menghasilkan debit yang lebih besar.

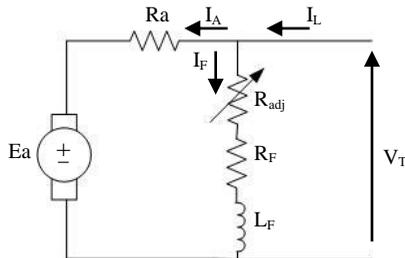
2.4 Motor DC

Motor DC atau motor arus searah merupakan motor listrik yang membutuhkan suplai tegangan DC pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Motor DC menggunakan arus langsung dan tidak langsung/*direct-undirectional*. Dalam penggunaannya, motor DC memerlukan penyalan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Berdasarkan sumber arus penguat magnetnya, motor DC dibedakan menjadi dua. Jika arus penguat magnet diperoleh dari sumber arus searah di luar motor tersebut disebut dengan motor DC penguat terpisah (*separated exciter*). Sedangkan jika arus penguat magnet diperoleh dari motor itu sendiri disebut dengan motor DC penguat sendiri (*self exciter*). Terdapat banyak jenis dari motor DC *self exciter* diantaranya ialah motor Shunt, seri dan kompon [7]. Dalam Tugas Akhir ini digunakan tipe motor DC *shunt* sebagai penggerak pompa sentrifugal.

2.4.1 Karakteristik Motor DC *Shunt* dan Beban

Motor DC *Shunt* adalah salah satu jenis motor DC dimana kumparan medan dan jangkarnya terpasang secara paralel. Sehingga motor jenis ini tidak dapat memproduksi arus yang besar ketika mulai melakukan putaran. Hal ini menunjukkan bahwa motor paralel mempunyai torsi awal yang relatif rendah. Gambar 2.13 adalah rangkaian ekuivalen dari motor DC *shunt* [7].



Gambar 2. 13 Rangkaian ekuivalen motor DC *shunt*

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad (2.8)$$

$$V_T = E_A + I_A R_A \quad (2.9)$$

$$I_L = I_A + I_F \quad (2.10)$$

Dimana :

- I_F = Arus medan (Ampere)
- V_T = Tegangan Terminal (Volt)
- R_F = Resistansi medan (Ohm)
- E_A = Tegangan terbangkitkan (Volt)
- I_A = Arus Jangkar (Ampere)
- R_A = Resistansi Jangkar (Ohm)
- I_L = Arus medan (Ampere)

Motor DC *shunt* digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan torsi starting medium seperti pompa sentrifugal, kipas blower, konveyor. Sehingga dalam tugas akhir ini beban yang digunakan adalah pompa sentrifugal. Pompa ini merupakan jenis pompa yang paling banyak digunakan karena penggunaannya sangat penting dalam dunia kontraktor mekanikal elektrikal. Hal ini disebabkan pengoperasiannya yang mudah, *maintenance* yang tidak terlalu mahal dan tidak berisik. dalam pengoperasiannya, pompa sentrifugal digerakkan oleh motor. tenaga dari motor diberikan pada poros pompa untuk memutar impeller yang dipasangkan pada poros pompa [8].

pompa jenis ini memiliki sebuah impeller (baling-baling) yang dapat mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat lain. zat cair di dalam impeller akan ikut berputar karena adanya dorongan sudu-sudu. pada saat impeller berputar, maka akan menimbulkan gaya sentrifugal. Sehingga zat cair akan mengalir dari tengah impeller keluar melalui saluran diantara sudu-sudu dan meninggalkan impeller dengan kecepatan yang tinggi

2.4.2 Analisis Torsi-Kecepatan

Pada Tugas Akhir ini, pompa sentrifugal yang digerakkan motor DC *shunt* membutuhkan torsi start yang relatif rendah jika dibandingkan dengan turbin uap, air dan gas [9]. Dengan persamaan torsi start yaitu:

$$T = 9549 \cdot \frac{P}{n} \quad (2.11)$$

Dimana : P = daya input (kW)
n = rpm

Berdasarkan hukum afinitas, nilai torsi bervariasi dengan kuadrat dari kecepatan, yaitu:

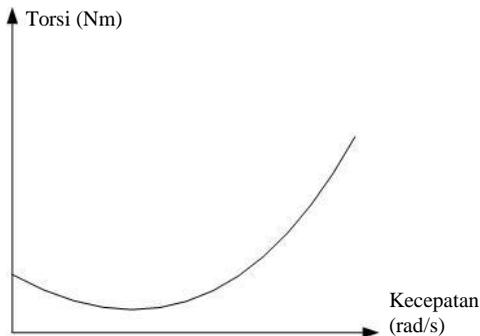
$$T_2 = T_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (2.12)$$

Untuk merencanakan kurva torsi-kecepatan dari pompa sentrifugal, dari persamaan (2.12) maka dapat dibuat rasio tabulasi dari pompa sentrifugal. Rasio tabulasi ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rasio tabulasi torsi-kecepatan dari pompa sentrifugal

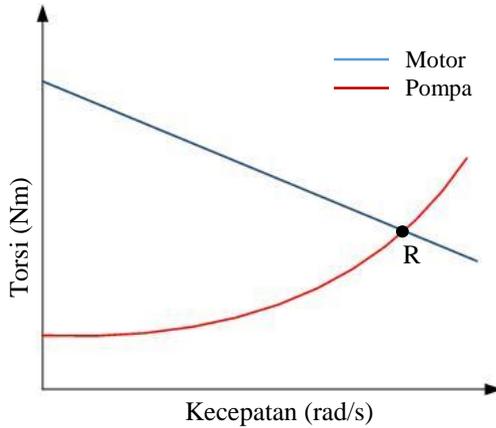
Kecepatan	Torsi
100%	1
75%	0,5625
50%	0,25
25%	0,0625
10%	0,015
0%	0,05

Dari tabel 2.1, nilai torsi yang dihasilkan dikalikan dengan torsi beban penuh (*full load torque*). Titik-titik yang dihasilkan kemudian di plot dengan menggunakan polynomial orde 3 agar didapatkan persamaan garis. Kurva torsi-kecepatan dari pompa sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 2.14.



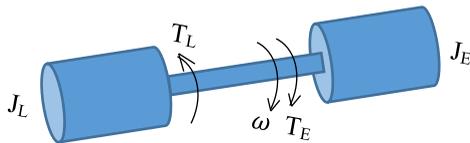
Gambar 2. 14 Kurva karakteristik pompa sentrifugal

Karakteristik dari torsi dan kecepatan motor dengan beban pompa sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.15, dimana titik *steady-state* operasi pompa ditunjukkan oleh titik R. Dimisalkan titik R berada pada kecepatan 1500 rpm dan torsi 1.91 Nm, sehingga dapat dikatakan saat torsi mencapai 1.91 Nm kecepatan motor harus dijaga pada kisaran 1500 rpm atau sekitar 157 rad/s. hal ini bertujuan agar didapatkan kerja optimal antara motor DC *shunt* dan pompa sentrifugal.



Gambar 2. 15 Kurva karakteristik torsi-kecepatan motor DC *shunt* dengan beban pompa sentrifugal

Gambar 2.16 menunjukkan hubungan torsi motor dan beban, persamaan differensial yang mendeskripsikan torsi motor DC *shunt* dengan torsi beban sesuai dengan persamaan (2.13) [11].



Gambar 2. 16 Torsi dan inersia motor-beban

$$J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L = T_E \quad (2.13)$$

$$T_E = K_E \Phi I_A \quad (2.14)$$

Dari persamaan 2.11, dalam menentukan besarnya torsi motor (T_E) selain dipengaruhi oleh torsi beban (T_L) juga dipengaruhi oleh *friction loss* (B) dan momen inersia beban dan motor (J). *Friction loss* nilainya dipengaruhi oleh kecepatan dari motor (ω).

Besar kapasitas pompa dapat ditentukan dengan memperkirakan terlebih dahulu besar debit yang mampu dialirkan oleh pompa dengan menggunakan daya sistem. Dengan mengatur kecepatan motor penggerak maka debit air dapat dikendalikan. Hukum Afinitas pada Persamaan (2.15) menjelaskan hubungan antara debit aliran dan kecepatan.

$$\begin{aligned} Q &\sim N \\ H &\sim N^2 \\ P &\sim N^3 \end{aligned} \tag{2.15}$$

Berdasarkan persamaan (2.15), dengan menggandakan kecepatan putaran pompa sentrifugal ($2N$), maka pemakaian daya akan meningkat 8 kalinya. Sebaliknya, penurunan kecepatan yang kecil akan mengakibatkan penurunan pemakaian daya yang besar. Hal ini dijadikan dasar untuk penghematan energi pada pompa sentrifugal dengan kebutuhan debit yang bervariasi.

Setelah menentukan perkiraan kapasitas pompa yaitu debit dan *head* maka selanjutnya dapat ditentukan besar daya yang dibutuhkan pompa dengan kapasitas yang diinginkan. Adapun parameter dan persamaan yang digunakan dalam mendesain sebuah pompa ialah [12] :

1. *Water Horse Power (WHP)* adalah tenaga yang dibutuhkan untuk memompa air dengan debit dan tinggi tertentu.

$$WHP = \frac{\rho \times Q \times H \times g}{1000} \tag{2.16}$$

2. *Shaft Horse Power (SHP)* adalah tenaga yang dibutuhkan pada poros pompa

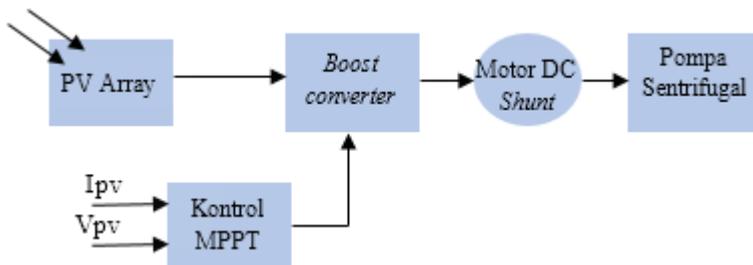
$$SHP = \frac{WHP}{\text{Efisiensi Pompa}} \tag{2.17}$$

BAB 3

DESAIN DAN SIMULASI SISTEM WATER PUMPING DENGAN PHOTOVOLTAIC

3.1 Pemodelan Sistem

Pada Tugas Akhir ini, simulasi dari sistem *water pumping* dengan *photovoltaic (PV)* menggunakan *software Power Simulator (PSIM)*. Dalam memodelkan sistem, saya hanya menunjukkan blok diagram berupa *subsistem* yang di dalamnya terdapat beberapa rangkaian. Tujuan pemodelan ini adalah untuk mempermudah pembaca melihat sistem secara keseluruhan. Blok diagram ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Sistem *closed-loop solar water pumping*

3.2 Desain Rangkaian PV Array

Dalam Tugas Akhir ini, panel surya (*solar cell*) digunakan sebagai sumber daya listrik. panel surya yang digunakan dalam mendesain sistem *solar water pumping* adalah merk “RAYDEN” kapasitas 80 Watt. *Datasheet* dari PV ditunjukkan pada Tabel 3.1

Beban yang digunakan pada sistem *solar water pumping* berupa motor DC *shunt* yang terkopel dengan pompa sentrifugal. Motor DC *shunt* ini memiliki kapasitas daya sebesar 300 Watt dengan tegangan sebesar 220 Volt. dalam mendesain sistem ini, dibutuhkan proses *sizing*. Agar didapatkan besar tegangan dan arus dengan nilai tertentu pada sel surya maka harus dilakukan pemasangan PV secara seri dan paralel.

Tabel 3. 1 Parameter Panel Surya

Parameter	Nilai
Daya maksimum	80 Watt
Tegangan daya maksimum	17,5 Volt
Arus daya maksimum	4,57 A
Tegangan rangkaian terbuka	21,6 Volt
Arus hubung singkat	4,88 A
Suhu operasi normal (NOCT)	$47 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Tegangan maksimum sistem	1000 DC
Rating fuse maksimum	10 A
<i>Opertaing temperature</i>	$-40^{\circ}\text{C} - +85^{\circ}\text{C}$
<i>Application Class</i>	<i>Class A</i>
<i>Cell Technology</i>	<i>Poly-si</i>
Berat	6,8 Kg
Dimensi	860x620x30mm

Pada Tugas Akhir ini, modul PV yang digunakan mempunyai daya sebesar 320 Watt. Setelah mengetahui daya PV, maka langkah selanjutnya adalah mengetahui nilai tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh PV. Sistem ini bekerja dengan arus nominal motor yaitu 2 A sesuai rating motor. Dengan daya 80 Watt per modul, maka PV array akan tersusun 4 buah modul. Modul-modul tersebut akan tersusun secara seri. Penyusunan modul secara seri maupun paralel akan mengubah parameter *datasheet* PV yang harus dimasukkan ke dalam *software* simulasi yang digunakan.

Penyusunan sel surya yang dihubunngkan seri sebanyak 4 modul akan mengubah parameter-parameter sebagai berikut :

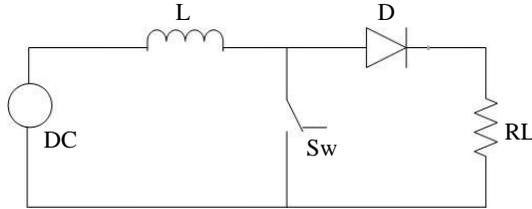
- a) Daya Maksimum (P_{max}) $\times 4$ = 320 Watt
- b) Tegangan daya maksimum (V_{mp}) $\times 4$ = 70 Volt
- c) Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) $\times 4$ = 86,4 Volt

3.3 Desain *Boost Converter*

3.3.1 Rangkaian *Boost Converter*

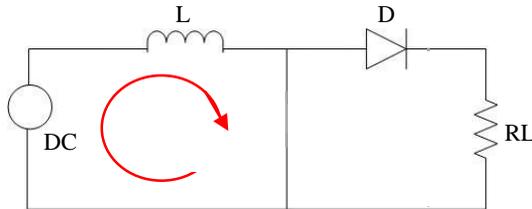
Pada Tugas Akhir ini, sistem *solar water pumping* menggunakan topologi *boost converter*. Konverter ini berfungsi untuk menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi dibandingkan tegangan sumber atau inputnya. Topologi *boost converter* terdiri dari satu induktor (L), satu saklar (Sw), satu dioda (D), satu kapasitor (C) dan RL sebagai beban

bayangan. Topologi konverter ditunjukkan pada Gambar 3.2. Berdasarkan kebutuhan sistem, topologi *boost converter* diharapkan mampu meningkatkan tegangan masukan (dari *PV*) sebesar 105 Volt menjadi 220 Volt. Tegangan keluaran dari *boost converter* ini merupakan tegangan masukan dari motor DC *shunt* yang terkopel dengan pompa sentrifugal.



Gambar 3. 2 Rangkaian *boost converter*

Prinsip kerja dari *boost converter* dapat dianalisa ke dalam dua mode, yaitu mode pengisian arus induktor (*switch on*) dan mode pengosongan arus induktor (*switch off*) [13]. Analisa rangkaian pada kondisi *switch on* ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan sesuai dengan persamaan berikut :



Gambar 3. 3 Rangkaian *boost converter* pada kondisi *switch on*

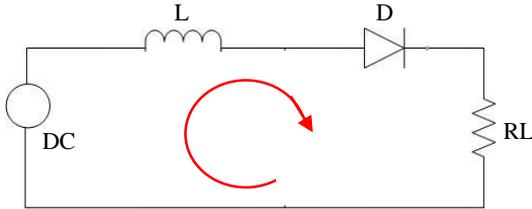
$$V_{in} = V_L \tag{3.1}$$

$$V_{in} = L \frac{di}{dt} \tag{3.2}$$

$$V_{in} = \frac{L \cdot \Delta I}{t_{on}} \tag{3.3}$$

$$t_{on} \cdot V_{in} = L \cdot \Delta I \tag{3.4}$$

Sedangkan analisa rangkaian pada saat kondisi *switch off* ditunjukkan oleh Gambar 3.4 dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 3. 4 Rangkaian *boost converter* pada kondisi *switch off*

$$-V_{in} - V_L + V_o = 0 \quad (3.5)$$

$$V_{in} + V_L = V_o$$

$$V_{in} + L \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_o \quad (3.6)$$

Pada persamaan 3.4 bahwa hasil perkalian dari $t_{on} \cdot V_{in}$ adalah sama dengan $L \cdot \Delta I$ yaitu perkalian antara nilai induktor (L) dan perubahan arus (ΔI). Sehingga persamaan menjadi :

$$V_{in} + \frac{t_{on} \cdot V_{in}}{t_{off}} = V_o$$

$$V_{in} \left(1 + \frac{DT}{(1-D)T} \right) = V_o$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (3.7)$$

Dimana D adalah *duty cycle* dan T adalah periode. Setelah menentukan besarnya *duty cycle*, selanjutnya adalah menentukan nilai dari induktor dan kapasitor. Besarnya nilai induktor dapat ditentukan dengan analisa rangkaian pada saat kondisi *switch on* sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_{in} = V_L$$

$$V_{in} = L \frac{di}{dt}$$

$$V_{in} = L \frac{\Delta I}{t_{on}}$$

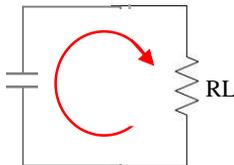
Pada persamaan diatas bahwa nilai ΔI adalah sama dengan hasil perkalian antara faktor ripple arus (FR) dan arus (i). Nilai dari faktor *ripple* arus biasanya 0% sampai 30%.

$$L = \frac{V_{in} \cdot D \cdot T}{FR \cdot i}$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{FR \cdot \frac{P}{V_{in}} \cdot f_S}$$

$$L = \frac{V_{in}^2 \cdot D}{FR \cdot P \cdot f_S} \quad (3.8)$$

Setelah mengetahui besarnya nilai L , maka langkah selanjutnya dalah menentukan besarnya nilai kapasitor (C) dengan analisa rangkaian dan persamaan seperti di bawah ini :



Gambar 3. 5 Rangkaian *boost converter* sisi kanan

$$\Delta V_o = I_o \cdot X_c \quad (3.9)$$

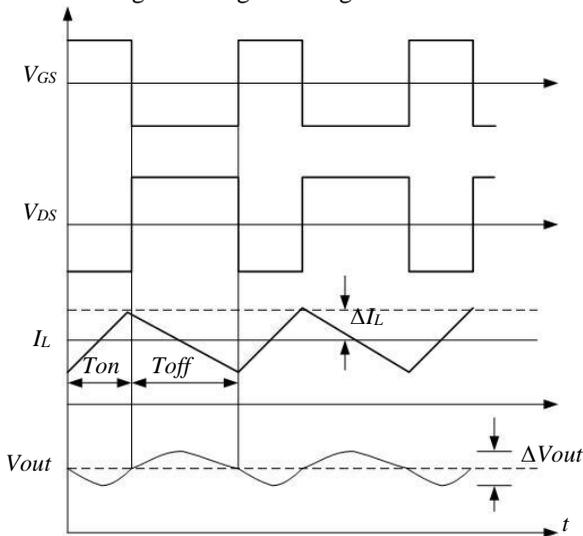
Dengan besar ΔV_o adalah sama dengan hasil perkalian antara arus di sisi output (I_o) dan reaktansi kapasitif (X_c), maka persamaan (3.9) menjadi :

$$FR \cdot V_o = I_o \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad (3.10)$$

$$C = I_o \frac{1}{FR \cdot 2\pi \cdot f \cdot V_o} \quad (3.11)$$

$$C = \frac{P_o}{FR \cdot 2\pi \cdot f \cdot V_o^2} \quad (3.12)$$

Untuk mengetahui apakah rangkaian *boost converter* telah berjalan dengan benar, maka dalam simulasi dan implementasi rangkaian harus memperhatikan bentuk gelombang yang dihasilkan. Berikut merupakan bentuk gelombang dari rangkaian *boost converter*.



Gambar 3. 6 Gelombang rangkaian *boost converter*

Gambar 3.6 adalah bentuk gelombang pada rangkaian *boost converter*, dimana (V_{GS}) adalah tegangan pensaklaran pada sisi *gate-source*, (V_{DS}) adalah tegangan pensaklaran pada sisi *drain-source*, arus

induktor (I_L) yang merupakan arus pada sisi input atau arus pada induktor, dan gelombang tegangan output (V_{out}).

3.3.2 Parameter Rangkaian

Rangkaian *boost converter* dapat meningkatkan tegangan tanpa menggunakan trafo untuk memenuhi kebutuhan input dari motor DC *shunt* agar dapat mengeluarkan tegangan nominal (V_o) sebesar 220 V dengan daya (P) sebesar 300 Watt. Selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai resistansi sebagai beban bayangan dengan menggunakan persamaan :

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3.13)$$

$$R = \frac{220^2}{300} = 161,3 \Omega$$

Dengan daya yang digunakan sistem 300 Watt dan tegangan keluaran 220 V. Jadi nilai resistansi yang dibutuhkan rangkaian sebesar 161,3 Ω .

Langkah selanjutnya adalah menentukan besar *duty cycle* yang dibutuhkan untuk menaikkan tegangan masukan konverter. Tegangan masukan berasal dari modul *PV array* sebesar 70 V. Berdasarkan persamaan (3.7), maka dapat ditentukan nilai *duty cycle*.

$$V_o = V_i \frac{1}{(1 - D)}$$

$$D = \frac{V_i - V_o}{-V_o}$$

$$D = \frac{70 - 220}{-220} = 0,68$$

Dengan demikian nilai *duty cycle* yaitu 0,68. Setelah mengetahui nilai *duty cycle* maka dapat ditentukan nilai induktor dan kapasitor dengan menggunakan persamaan :

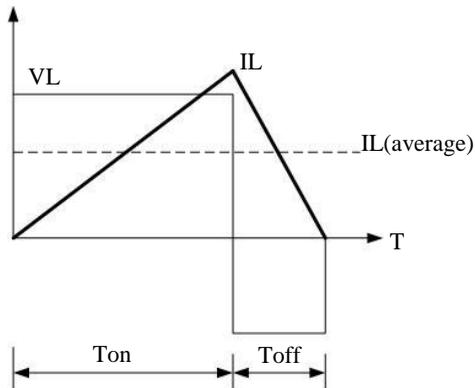
$$L = \frac{V_{in}^2 \cdot D}{FR \cdot P \cdot f_s}$$

Pada simulasi ini besarnya faktor ripple arus adalah 30% atau 0,3 dengan frekuensi switching sebesar 30 KHz. Sehingga nilai L adalah:

$$L = \frac{70^2 \cdot 0,68}{30\% \cdot 300.30000}$$

$$L = 2,12 \text{ mH}$$

Sementara, dalam mendesain induktor harus memperhatikan nilai induktor pada keadaan boundary point yaitu titik antara mode *discontinuous current conduction (DCM)* dan *continuous current conduction (CCM)*. Keadaan ini terjadi saat nilai rata-rata arus induktor setengah dari arus induktor, seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Gelombang arus induktor (I_L)

Agar arus induktor tidak berubah ke dalam kondisi *DCM* saat konverter beroperasi dalam *CCM*, maka nilai dari L dikalikan 10. Sehingga besarnya L menjadi 21,2 mH.

Langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya kapasitor di sisi output. Dengan faktor *ripple* tegangan sebesar 1% atau 0,01 maka besarnya kapasitor adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{P_o}{FR \cdot 2\pi \cdot f \cdot V_o^2}$$

$$C = \frac{300}{0,1.2\pi. 30000. 220^2} = 3,3 \times 10^{-7} F$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mendesain rangkaian *boost converter* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

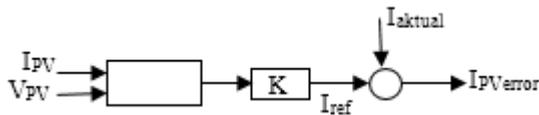
Tabel 3. 2 Parameter Rangkaian *Boost Converter*

Parameter	Nilai
Tegangan masukan (V_{in})	70 V
Tegangan keluaran (V_o)	220 V
Daya sistem (P)	300 Watt
Duty Cycle (D)	0,68
Resistor (R)	161,3 Ohm
Induktor (L)	2,12 mH
Kapasitor (C)	$3,3 \times 10^{-7} F$
Frekuensi <i>switching</i> (f_s)	30 KHz

3.4 Desain *Current Booster*

3.4.1 Penentuan Parameter Rangkaian

Rangkaian *current booster* dalam sisitem *solar water pumping* digunakan untuk meningkatkan nilai arus starting dari motor DC *shunt* yang akan menggerakkan pompa sentrifugal. Rangkaian *current booster* ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Rangkaian *Current Booster*

Besarnya nilai K (Gain) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11). langkah pertama mencari besarnya nilai *gradien* (m) dengan rumusan :

$$m = \frac{P_{maks}}{I_{maks}}$$

$$m = \frac{300}{4,88} = 70,021$$

Setelah menentukan nilai gradien, maka sesuai dengan persamaan (2.12) bahwa I_{ref} adalah hasil pembagian daya (P) dengan gain. Sehingga besarnya nilai gain adalah $\frac{1}{70,021}$.

3.4.2 Desain Kontrol MPPT

Pencarian titik daya maksimum atau MPPT dari PV adalah dengan menggunakan metode *Maximum Power Line (MPL)*. Teknik MPL ini digunakan untuk mengatur *duty cycle boost converter*. Cara kerja MPPT dapat dilihat pada Gambar 2.11.

Desain MPPT yang digunakan memiliki input berupa arus dan tegangan yang digunakan untuk memperoleh daya PV (P_{pv}). Kemudian nilai dari P_{pv} akan dikalikan dengan nilai gain (K). Hasil dari perkalian daya PV dengan gain akan menghasilkan I_{ref} . Selanjutnya I_{ref} akan diproses oleh sebuah rangkaian kontrol dengan membandingkan dengan I_{aktual} untuk mengatur *duty cycle*.

3.4.3 Desain Kontrol Duty Cycle

Konsep kerja dari kontroler ini adalah membandingkan arus referensi yang dihasilkan oleh kontrol MPPT dengan arus aktual PV. Desain kontrol *duty cycle* yang digunakan adalah seperti pada gambar 3.4. Perbandingan arus akan menghasilkan sinyal *error* dengan rumusan sebagai berikut :

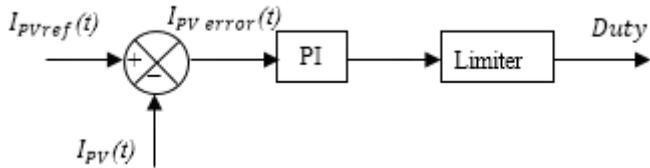
$$I_{PV\ error}(t) = I_{PVref} - I_{PV}(t) \quad (3.14)$$

Selanjutnya sinyal *error* akan diolah oleh kontroler PI yang menghasilkan sinyal referensi dengan rumusan :

$$I_{Dref}(t) = K_{pdc} \times I_{PV\ error}(t) + K_{idc} \int_0^t I_{PV\ error}(t) dt \quad (3.15)$$

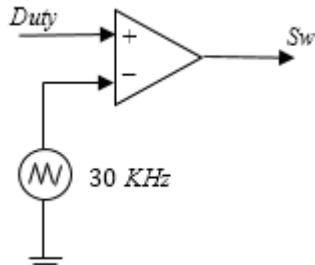
Dimana:

$I_{PV\ error}$	= Sinyal arus <i>error</i> PV (Ampere)
I_{PVref}	= Arus referensi PV (Ampere)
I_{PV}	= Arus PV terukur (Ampere)
I_{Dref}	= Sinyal output PV yang akan dimodulasi
K_{pdc}	= Konstanta proportional PI
K_{idc}	= Konstanta integral PI



Gambar 3. 9 Kontrol *Duty Cycle boost converter*

Sinyal keluaran dari limiter (*duty cycle*) akan dikomparasikan dengan sinyal segitiga melalui komparator dan menghasilkan sinyal PWM yang akan digunakan untuk pensaklaran *boost converter* seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Pensaklaran *boost converter*

3.5 Parameter Motor DC

Pada Tugas Akhir ini digunakan motor DC *shunt* dengan daya keluaran 220 Volt. Parameter dari motor yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Data parameter motor *DC shunt*

Parameter	Nilai
Daya	300 Watt
V_t	220 Volt
R_a	9,451 Ohm
L_a	166,97 mH
R_f	1,13 Ohm
L_f	6,47 mH
Momen inersia	0,015503
I_a	2 A
N	1500 rpm
I_f	0,18 A

3.6 Parameter Pompa Sentrifugal

Pada Tugas Akhir ini, pompa sentrifugal digunakan untuk memompa air. Pompa sentrifugal akan digerakkan oleh motor *DC shunt*. Langkah pertama dalam menentukan pemodelan pompa sentrifugal adalah dengan menghitung besarnya torsi *full load* sesuai dengan persamaan 2.11.

$$T = 9549 \cdot \frac{0,3}{1500} = 1,91 \text{ Nm}$$

Setelah mengetahui besarnya torsi *full load*, langkah selanjutnya adalah menentukan torsi pada kecepatan tertentu dengan menggunakan rasio tabulasi torsi-kecepatan dari pompa sentrifugal. Besarnya nilai *full load* dikalikan dengan faktor pengali akan dihasilkan nilai torsi pada kecepatan tertentu seperti pada tabel 3.4. Dimana persentase kecepatan dalam rad/sekon. Sebelumnya telah diketahui bahwa 100% kecepatan adalah 1500 rpm. Sehingga kecepatan dengan satuan rpm dikonversikan ke dalam rad/s sesuai dengan persamaan (3.16). dimana nilai n adalah kecepatan dalam *radiant per minute* (rpm).

$$\text{Rad/s} = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \quad (3.16)$$

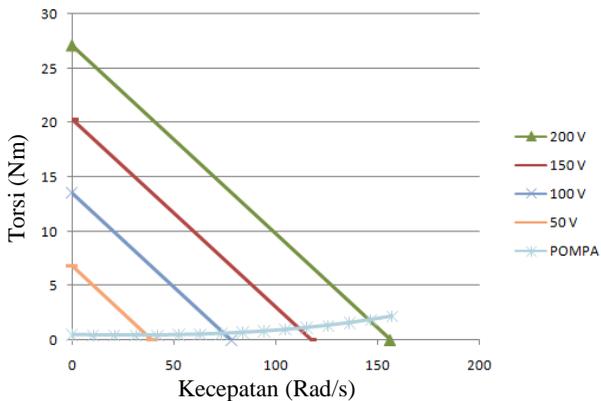
Tabel 3. 4 Rasio tabulasi torsi-kecepatan motor dan pompa

Persentase Kecepatan (%)	Torsi (Nm)
100%	1,91
75%	1,074375
50%	0,4775
25%	0,119375
10%	0,02865
0%	0,0955

Langkah selanjutnya adalah menentukan persamaan pompa sentrifugal dengan menggunakan *polynomial* orde 3. Persamaan orde 3 dapat ditentukan dengan plotting di *Excel* atau menggunakan *software* MATLAB. Pada Tugas Akhir ini, penentuan orde 3 menggunakan *Excel* dengan persamaan:

$$y = 3 \times 10^{-7} x^3 + 0,00004 x^2 - 0,003 x + 0.5 \quad (3.17)$$

Dimana nilai Y adalah torsi (Nm) dan X adalah kecepatan (rad/s). Selanjutnya persamaan tersebut yang akan menjadi pemodelan matematis pompa sentrifugal.



Gambar 3. 11 Kurva karakteristik motor-pompa

Dengan menggunakan *software* PSIM, maka pemodelan ini akan dibawa ke sisi mekanik. Sehingga dapat terhubung dengan motor DC *shunt* sebagai penggerak pompa. Pompa sentrifugal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah pompa air merk FM50 dengan spesifikasi pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Spesifikasi pompa sentrifugal FM50

Parameter	Nilai
Rata-rata aliran maksimum	1,6 L/s
<i>Head</i> maksimum	9 Meter
Kecepatan maksimum	1800 rpm
Motor power rating	250 Watt

Karena dalam Tugas Akhir ini penggerak pompa yang digunakan adalah motor DC *shunt* dengan rating kecepatan 1500 rpm, maka dalam menentukan rata-rata aliran dan ketinggian *head* menggunakan perbandingan dari kecepatan maksimum yaitu 1500 rpm. Sehingga didapatkan nilai dari rata-rata aliran maksimum 1,3 L/s dan *head* maksimum 5 meter.

Setelah mengetahui spesifikasi dari pompa, maka dapat menentukan parameter *Function Box 1*. *Function Box* ini merepresentasikan besarnya *Water Horse Power (WHP)* yaitu daya (HP) yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida. Sesuai dengan persamaan 2.16, dengan massa jenis air 1000 kg/m³ dan percepatan gravitasi 9,87 m/s² maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$WHP = \frac{\rho \times Q \times H \times g}{1000}$$

$$WHP = \frac{1000 \times 1,3 \times 5 \times 9,87}{1000} = 64,2 \text{ HP}$$

Function Box 2 menentukan besarnya *Shaft Horse Power (SHP)* yaitu daya (HP) yang dibutuhkan untuk menggerakkan batang torak. Dari persamaan 2.17 dengan efisiensi pompa sebesar 70% maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$SHP = \frac{WHP}{\text{Efisiensi Pompa}} = \frac{64,2}{0,7} = 91,65 \text{ HP}$$

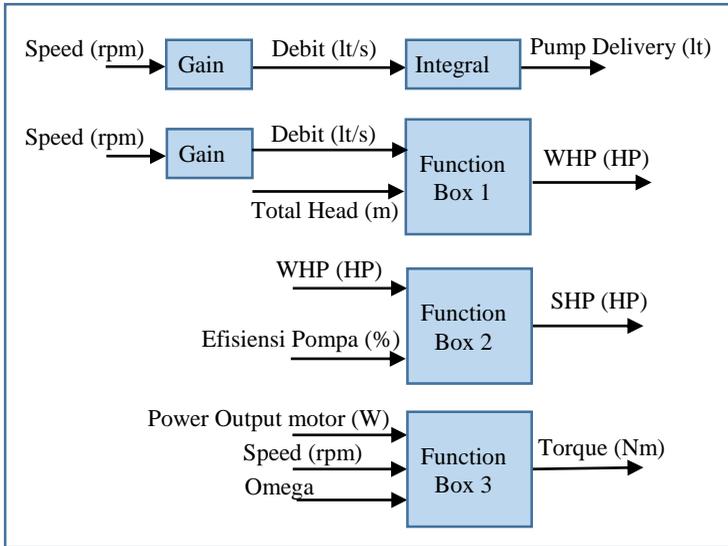
Kemudian menentukan volume air yang diairkan, untuk menentukan volume kita harus menentukan debit dari pompa sentrifugal. Berdasarkan persamaan 2.18 bahwa debit pompa sebanding dengan kecepatan maka kita dapat menentukan debit (Q) dengan mengalikan kecepatan (Ns) dengan gain.

$$Q = Ns \times Gain \quad (3.18)$$

Nilai gain dalam pemodelan pompa bernilai $\frac{1,3}{1500}$, karena pada saat kecepatan 1500 rpm, debit pompa akan bernilai 1,3 liter/s. Untuk mencari akumulasi volume di tiap detiknya maka nilai debit diintegrasikan dengan koefisien integral bernilai 1. Pada function box 3 dapat ditentukan torsi pompa melalui persamaan (3.19).

$$T = \frac{P_o \times 60}{N \times 2\pi} \quad (3.19)$$

Dimana N adalah kecepatan aktual motor dan P_o adalah daya keluaran pompa pada saat mengalirkan debit maksimum (1,3 liter/s). Setelah menentukan parameter maka dapat disusun blok diagram seperti Gambar 3.12 sesuai dengan perhitungan di atas.

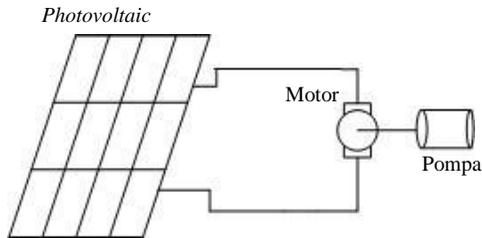


Gambar 3. 12 Blok diagram daya pompa sentrifugal

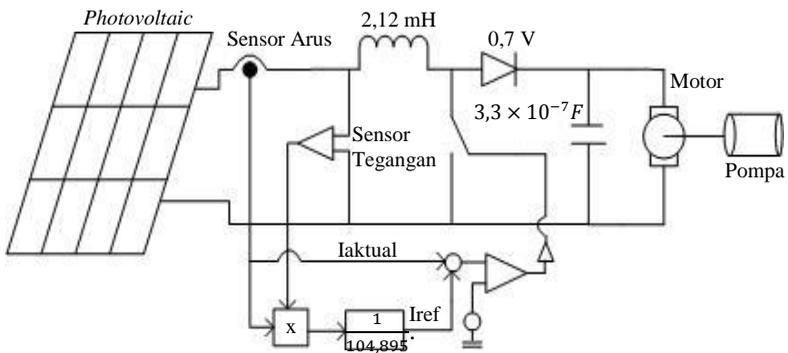
3.7 Simulasi

Simulasi sistem *water pumping* dengan menggunakan *photovoltaic* digunakan untuk mengetahui apakah rangkaian dapat berjalan atau tidak. Simulasi ini bertujuan untuk membandingkan waktu *startup* dan jumlah debit yang dihasilkan sistem *water pumping* dengan dan tanpa menggunakan *current booster*. Parameter awal yang sama yaitu tegangan input, tegangan output, daya, dan beban yang digunakan (motor DC *shunt* yang terkopel dengan pompa sentrifugal). Maka akan didapatkan hasil bahwa sistem *water pumping* dengan *current booster* membutuhkan waktu *startup* yang lebih cepat dan jumlah debit yang lebih banyak dibandingkan dengan sistem *water pumping* tanpa menggunakan *current booster*.

Oleh karena itu, pada tahap simulasi ini akan dibuat dua buah rangkaian sebagai media pembanding. Simulasi pertama merupakan simulasi sistem *water pumping* yang langsung terhubung dengan beban tanpa menggunakan *current booster* seperti pada Gambar 3.13. Simulasi kedua merupakan simulasi sistem *water pumping* menggunakan *current booster* seperti Gambar 3.14. Hal yang membedakan dari kedua simulasi adalah ada dan tidaknya rangkaian *current booster*.

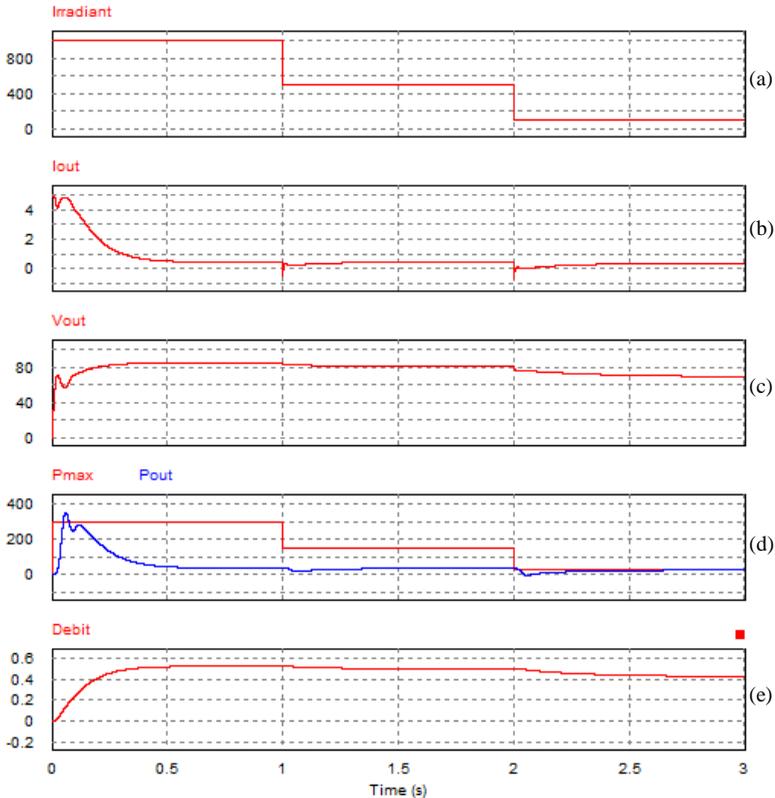


Gambar 3. 13 Rangkaian PV-Beban



Gambar 3. 14 Sistem *water pumping* dengan *current booster*

Pada simulasi pertama yaitu rangkaian PV yang langsung terhubung dengan beban tanpa menggunakan rangkaian *current booster* akan diamati bentuk gelombang tegangan output PV (V_o) yang juga merupakan tegangan masukan ke beban, arus output PV (I_o) atau arus masukan ke beban, daya (P), kecepatan putar motor DC shunt (rpm), dan debit yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal. Simulasi rangkaian PV ke beban ini menggunakan *irradiant* yang bervariasi. Besar *irradiant* dimulai dari 1000 W/m^2 , 500 W/m^2 dan 100 W/m^2 selama masing-masing 1 detik. Adapun parameter-parameter sistem sesuai dengan desain. Hanya saja parameter untuk rangkaian *current booster* tidak digunakan. Berikut adalah bentuk gelombang pada rangkaian PV ke beban motor.

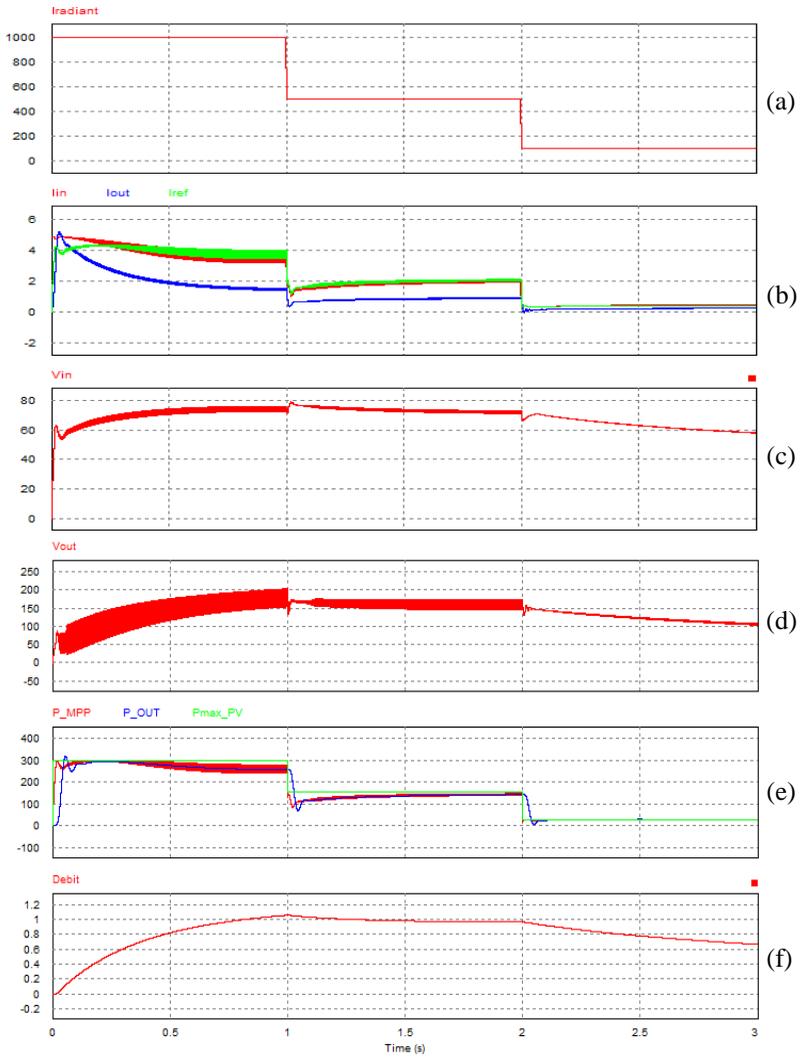


Gambar 3.14 Gelombang rangkaian PV-beban tanpa *current booster*. (a)gelombang *irradiant*, (b)gelombang *Iout*, (c) gelombang *Vout*, (d)gelombang *Pmax* dan *Pout*, (e) gelombang debit.

Dari Gambar 3.14 dapat dilihat bahwa, arus *starting* yang dihasilkan dengan *irradiant* 1000W/m^2 hanya sebesar 4,7 A. Sedangkan daya yang masuk ke beban jauh dari daya maksimum PV. Dalam simulasi ini, jumlah PV yang digunakan 4 buah modul yang masing-masing memiliki daya sebesar 80 Watt sehingga total daya maksimal adalah 300 Watt. Daya output yang kecil ini disebabkan karena pada sistem ini tidak menggunakan *Maximum Point Power Tracking (MPPT)* sehingga daya output PV belum maksimal. Dengan daya yang jauh dari maksimal maka kecepatan putar dan jumlah debit yang dihasilkan juga akan jauh dari

kondisi idealnya. Dengan irradiant 1000W/m^2 jumlah debit yang dihasilkan hanya mencapai $0,5\text{ L/s}$.

Selanjutnya simulasi kedua adalah simulasi sistem *water pumping* menggunakan *current booster*. Parameter untuk PV, motor dan pompa sama dengan parameter yang digunakan pada simulasi pertama. Sedangkan untuk parameter rangkaian *current booster* sesuai dengan Gambar 2.12 , dimana untuk rangkaian *boost converter* sendiri sesuai dengan tabel 3.2 . Pada simulasi ini yang akan diamati adalah arus referensi (I_{ref}), arus aktual PV (I_{in}), arus output (I_{out}), tegangan input (V_{in}) dan tegangan output (V_{out}), daya yang dihasilkan PV (P_{mppt}), daya maksimal PV (P_{maks}), dan debit yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal (Liter/s). Untuk dioda dan MOSFET yang digunakan dalam kondisi ideal. Berikut adalah bentuk gelombang pada rangkaian sistem *water pumping* menggunakan *current booster*.



Gambar 3.15 Gelombang rangkaian sistem *solar water pumping* dengan *current booster*. (a)gelombang *irradiant*, (b)gelombang Arus, (c)gelombang tegangan input, (d) gelombang tegangan output, (e) gelombang daya, (f) gelombang debit.

Dari Gambar 3.15 dapat dilihat bahwa arus starting (I_{out}) yang masuk ke motor mencapai 5,3 A dan daya yang dihasilkan oleh PV (P_{mpp}) hampir mendekati daya maksimalnya (P_{maks}). Dengan irradiant sebesar 1000 W/m^2 , daya yang dihasilkan steady state pada 300 Watt dengan jumlah debit yang dihasilkan sebesar 1,1 L/s.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

IMPLEMENTASI CURRENT BOOSTER UNTUK SOLAR WATER PUMPING

Setelah mendesain dan mensimulasikan sistem *solar water pumping*, maka langkah selanjutnya dilakukan implementasi sistem dan analisa data. Untuk melihat rangkaian *current booster* telah berjalan dengan benar, maka dibutuhkan rangkaian pembanding. Rangkaian pembanding ini sesuai dengan simulasi yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu PV yang akan terhubung langsung dengan motor yang terkopel dengan pompa sentrifugal. Implementasi dilakukan untuk mengamati waktu *startup* dan jumlah debit yang dihasilkan sistem *water pumping* dengan dan tanpa *current booster*.

4.1 Eksperimental Set up

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai komponen yang akan digunakan pada implementasi sistem *water pumping* berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan pada proses desain dan simulasi. Komponen yang digunakan selain berdasarkan desain dan simulasi juga memperhatikan komponen yang bisa didapatkan di pasaran dan Laboratorium Konversi Energi. Berikut komponen yang mengalami perbedaan nilai dengan desain awal.

4.1.1 Saklar Semikonduktor

Selanjutnya ialah pembuatan sinyal input MOSFET berupa PWM (*Pulse Wave Modulation*) beserta driver MOSFET. PWM adalah gelombang persegi yang digunakan untuk proses pensaklaran pada MOSFET. MOSFET merupakan salah satu bahan semikonduktor yang digunakan untuk proses *on-off* yang memanfaatkan *duty cycle*.

Tipe MOSFET yang digunakan adalah IRFP460. Untuk mendapatkan sinyal PWM digunakan *Microcontroller Arduino Nano* dengan sumber tegangan 5 Volt. PWM yang akan dihasilkan akan diatur dengan frekuensi 30kHz. Karena sistem *close-loop* maka untuk besarnya *duty cycle* akan berubah-ubah.

4.1.2 Dioda

Dalam desain, dioda yang digunakan pada rangkaian *boost converter* adalah dioda ideal. Dalam implementasinya, perlu diperhatikan mengenai spesifikasi dari dioda, apakah dioda dapat bekerja pada tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Karena dalam implementasi *solar water pumping* dibutuhkan dioda yang dapat bekerja pada tegangan dan

frekuensi yang tinggi maka digunakan dioda tipe MUR1560. Dioda MUR1560 mampu bekerja hingga tegangan 600V dan frekuensi hingga 20MHz.

4.1.3 Pompa Sentrifugal

Dikarenakan kendala teknis dan keterbatasan alat yang ada di laboratorium, maka dalam implemetasi ini beban pompa diganti dengan pemodelan beban lain. Sebelumnya jenis pompa sentrifugal yang akan digunakan adalah type FM 50. Dalam implementasinya, digunakan beban motor DC *shunt* yang terhubung dengan generator. Agar hasil lebih terlihat, generator dihubungkan dengan beban lampu bohlam.

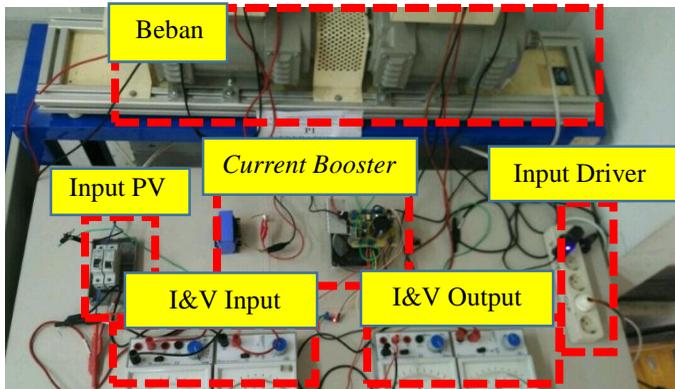
4.2 Hasil Eksperimen dan Perbandingan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai hasil implementasi sistem *solar water pumping*. Sebelum mengimplementasikan sistem, terlebih dahulu menguji rangkaian *boost converter*. Berikut deskripsi implementasi sistem *solar water pumping* :

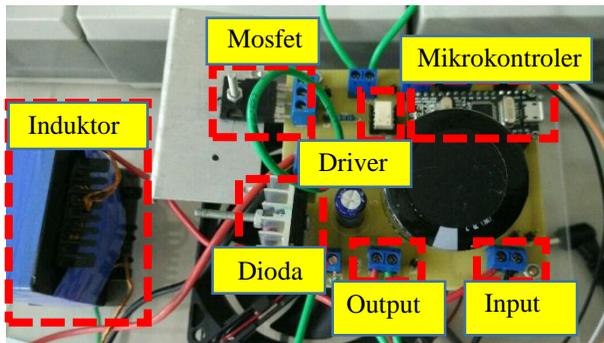
Tabel 4. 1 Deskripsi implementasi sistem *solar water pumping*

No.	Komponen	Nilai
1	Tegangan sumber	70V
2	Tegangan Output	220V
3	Daya	300Watt
4	Frekuensi <i>Switching</i>	30KHz
5	Induktor	2,33mH
6	Kapasitor (sisi input)	Nichicon 1mF 450V
7	Kapasitor (sisi output)	SAMWhA 10uF 250V (1 buah)
8	Dioda	MUR1560 (1 buah)
9	MOSFET	IRFP460 (1 buah)
10	Driver MOSFET	TLP250 (1 buah)
11	Modul PV	RAYDEN (4 buah)
12	Motor	DC <i>Shunt</i> (1 buah)

Komponen yang digunakan pada implemetasi sistem *solar water pumping* merupakan komponen yang terdapat dipasaran dan laboratorium.



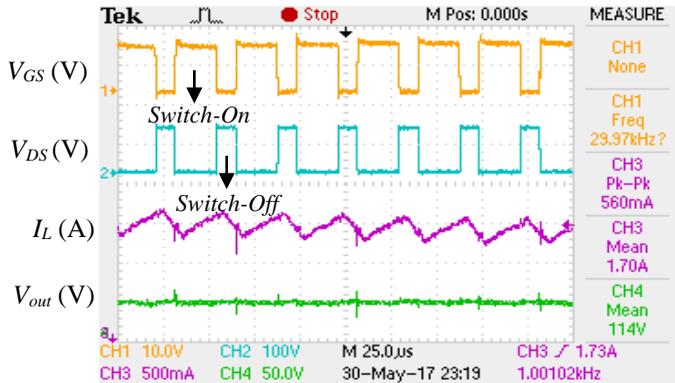
Gambar 4. 1 Sistem *solar water pumping* dengan *current booster*



Gambar 4. 2 Rangkaian *Current Booster*

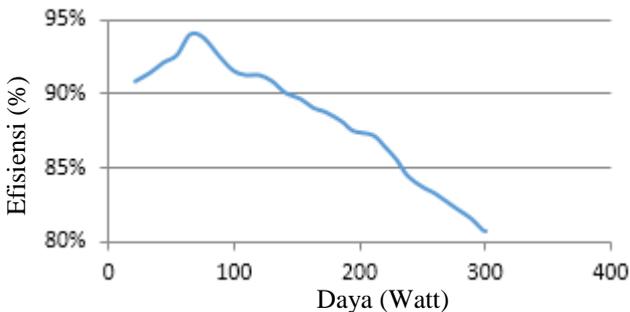
4.2.1 Implementasi sistem *solar water pumping* dengan *Current Booster*

Langkah pertama dalam implementasi *current booster* ialah menguji rangkaian *boost converter*, pengujian dilakukan untuk mengamati sinyal tegangan *gate-source* (V_{GS}), tegangan *drain-source* (V_{DS}), arus induktor (I_L), dan gelombang tegangan output (V_{out}). *Duty cycle* pada rangkaian *boost converter* diatur sedemikian hingga agar mampu menaikkan tegangan dari 70V ke 220V. Sehingga besarnya *duty cycle* adalah 68% atau 0,68. Dengan menggunakan *power supply* sebagai sumber, berikut bentuk gelombang rangkaian *boost converter*:



Gambar 4. 3 Gelombang Rangkaian *Boost Converter*

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa bentuk gelombang yang dihasilkan oleh implementasi rangkaian *boost converter* telah sesuai. Arus induktor sesuai dengan Gambar 3.7 dengan *ripple* arus sebesar 33%. Selain itu, melihat grafik efisiensi dari rangkaian *boost converter* seperti pada Gambar 4.4. Didapatkan besarnya efisiensi rata-rata dari *boost converter* sebesar 88%.



Gambar 4. 4 Grafik Efisiensi *Boost Converter*

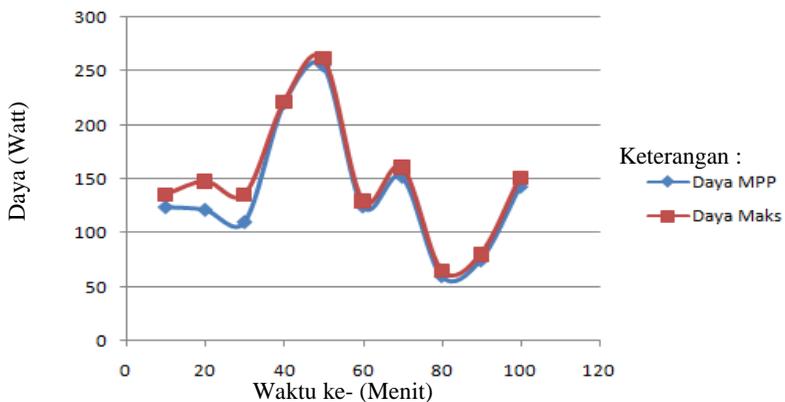
Selanjutnya rangkaian *boost converter* dapat dirangkai menjadi rangkaian *closed-loop current booster* dengan menggunakan metode *Maximum Power Line (MPL)*. Sumber yang digunakan pada pengujian ini menggunakan modul PV “RAYDEN” yang tersusun 4 modul secara seri.

Nilai dari gradien adalah 70,021. Sehingga besarnya gain (k) adalah $\frac{1}{70,021}$. Yang diamati pada rangkaian *current booster* menggunakan metode *MPL* ini adalah daya yang dihasilkan (P_{mpp}). Pada tabel 4.2 akan ditunjukkan hasil dari pengujian daya maksimum (P_{maks}), dan daya MPPT atau daya input (P_{mpp}) dengan lama pengujian selama 100 menit, pengambilan data ini dilakukan setiap 10 menit sekali.

Tabel 4. 2 Deskripsi implementasi sistem *solar water pumping*

Waktu (menit ke-)	P_{mpp} (Watt)	P_{maks} (Watt)
10	124	136
20	121,5	148
30	110,25	136
40	220	222
50	254,8	262,2
60	124,6	130
70	152	161,2
80	60,18	65,39
90	74,8	80
100	142,7	151,5

Dari tabel diatas akan dibuat grafik daya terhadap perubahan waktu agar lebih terlihat jelas perbedaan dari ketiga daya tersebut. Gambar 4.5 menunjukkan grafik yang merepresentasikan tabel diatas.



Gambar 4. 5 Grafik Daya Rangkaian *Current Booster*

Dari Gambar 4.5 dapat dihitung rata-rata dari besarnya masing-masing daya. Sehingga didapatkan nilai rata-rata dari daya maksimum PV (P_{maks}) sebesar 149,229 Watt dan daya yang dihasilkan oleh *current booster* (P_{mpp}) atau daya input (P_{in}) sebesar 138,483 Watt. Dengan melihat besarnya daya yang dihasilkan maka nilai efisiensi *tracking* PV sebesar 92,8 %. Dari grafik daya yang dihasilkan oleh *current booster* (P_{mpp}) sudah mendekati nilai dari daya maksimum (P_{maks}) PV. Hal ini menunjukkan bahwa MPPT metode *Maximum Power Line* (MPL) telah berhasil melakukan *tracking* terhadap daya maksimum *photovoltaic*.

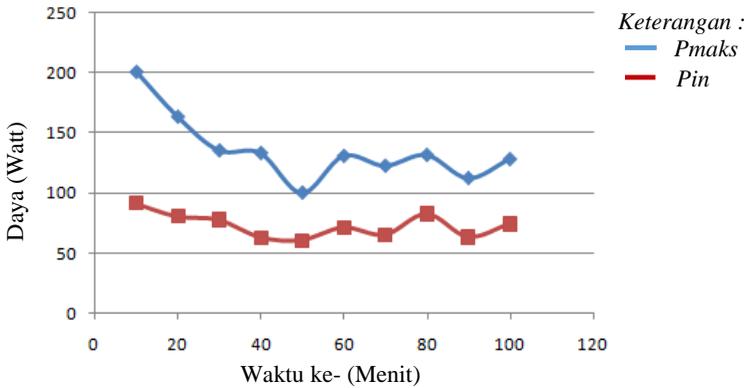
4.2.2 Pengujian sistem solar water pumping tanpa Current Booster

Pengujian sistem *solar water pumping* tanpa *current booster* dilakukan untuk membandingkan hasil dari sistem yang menggunakan rangkaian *current booster*. Pada pengujian ini rangkaian PV langsung dihubungkan ke motor. Langkah pertama dalam pengujian ini adalah melihat daya yang dihasilkan oleh PV dan membandingkan dengan daya maksimum PV (P_{maks}). Berikut hasil yang didapatkan dari pengujian ini:

Tabel 4. 3 Daya sistem tanpa *current booster*

Waktu (menit ke-)	P_{maks} (Watt)	P_{in} (Watt)
10	201,5	91,2
20	164	80,5
30	135,8	77,6
40	133,6	63
50	100,5	60,7
60	131,2	71,3
70	123	65,2
80	132	82,7
90	112,7	63,5
100	128,5	74,3

Dari tabel diatas akan dibuat grafik daya terhadap perubahan waktu agar lebih terlihat jelas perbedaan dari daya maksimum (P_{maks}) dan daya input sistem (P_{in}). Gambar 4.6 menunjukkan grafik yang merepresentasikan tabel diatas.



Gambar 4. 6 Grafik daya sistem tanpa *current booster*

Dari Gambar 4.6, dapat dihitung rata-rata dari besarnya masing-masing daya. Sehingga didapatkan nilai rata-rata dari daya maksimum PV (P_{maks}) sebesar 136,28 Watt dan daya input sistem (P_{in}) sebesar 73 Watt. Dengan melihat besarnya daya yang dihasilkan maka didapatkan efisiensi sebesar 53,57 %. Nilai efisiensi yang kecil ini menunjukkan bahwa daya yang di serap belum maksimal. Dari grafik dapat dilihat bahwa perbedaan daya maksimum PV (P_{maks}) dan daya input sistem (P_{in}) cukup besar.

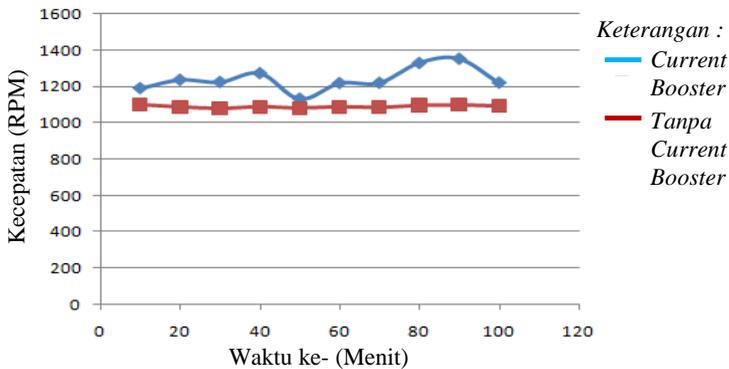
4.2.3 Perbandingan

Disini akan dibahas mengenai perbandingan sistem *solar water pumping* dengan dan tanpa menggunakan *current booster*. Perbandingan diantara keduanya difokuskan pada jumlah debit yang dihasilkan dan juga waktu yang dibutuhkan untuk *startup*.

Tabel 4. 4 Perbandingan kecepatan sistem *solar water pumping*

Waktu (menit ke-)	Current Booster (Rpm)	Tanpa Current Booster (Rpm)
10	1190	1100
20	1236	1089
30	1224	1081
40	1272	1090
50	1132	1083
60	1218	1090
70	1219	1086
80	1328	1097
90	1351	1099
100	1220	1093

Dari tabel diatas akan dibuat grafik kecepatan putar motor DC shunt terhadap perubahan waktu agar lebih terlihat jelas perbedaan dari kecepatan putar dengan dan tanpa *current booster*. Gambar 4.7 menunjukkan grafik yang merepresentasikan tabel diatas.



Gambar 4. 7 Grafik perbandingan kecepatan

Dari Gambar 4.7 terlihat jelas bahwa kecepatan putar (rpm) yang dihasilkan sistem *solar water pumping* dengan menggunakan rangkaian *current booster* lebih cepat dibandingkan rangkaian tanpa *current booster*. Kecepatan rata-rata yang dihasilkan dengan menggunakan rangkaian *current booster* sebesar 1239 rpm. Sedangkan tanpa rangkaian

current booster hanya mencapai 1090,8 rpm. Terjadi peningkatan sebesar 11,3% dengan menggunakan *current booster*. Meskipun dalam pengujian ini tidak digunakan pompa sebagai beban, namun jumlah debit dapat diketahui sesuai dengan persamaan 2.18. Dimana kecepatan putar (rpm) sebanding dengan jumlah debit yang dihasilkan.

Selanjutnya membandingkan waktu yang dibutuhkan untuk *startup* sistem dengan dan tanpa rangkaian *current booster*.

Tabel 4. 5 Perbandingan waktu *startup*

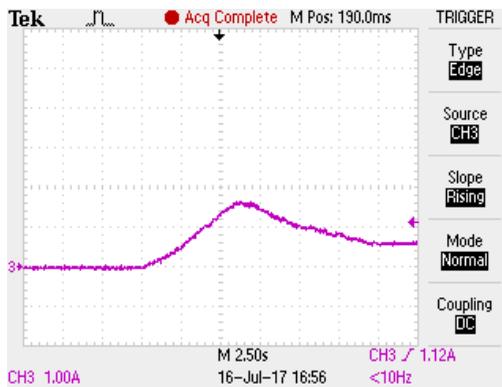
Waktu (menit ke-)	<i>Startup Current Booster</i> (s)	<i>Startup</i> tanpa <i>Current Booster</i> (s)
10	0,5	1,1
20	0,7	1,3
30	1	1,5
40	0,8	1,1
50	0,5	1
60	0,6	0,9
70	1	1,4
80	0,4	1
90	0,4	0,9
100	0,5	1,1

Dari hasil yang didapatkan, dengan menggunakan rangkaian *current booster* maka waktu *startup* rata-rata sebesar 0,67 sekon. Sedangkan waktu rata-rata yang dibutuhkan rangkaian tanpa menggunakan rangkaian *current booster* untuk dapat *startup* sebesar 1,16 sekon. Waktu *startup* dipengaruhi oleh arus *starting*, sesuai dengan hasil simulasi bahwa arus *starting* dari rangkaian *current booster* lebih besar dibandingkan rangkaian tanpa *current booster*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil dengan menggunakan rangkaian *current booster* maka waktu yang dibutuhkan untuk *startup* 0,58 kali lebih cepat.

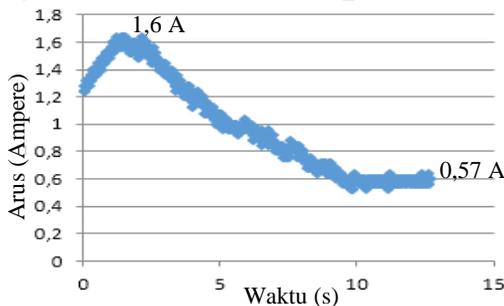
Selain memperkirakan waktu yang dibutuhkan sistem untuk dapat *startup* menggunakan pengujian setiap 10 menit, disini juga dilakukan pengujian dengan *irradiant* berapa sistem dapat berjalan. Karena keterbatasan alat, maka besarnya *irradiant* ditentukan dengan menggunakan metode pendekatan. Dimana besarnya *irradiant* sebanding dengan arus *short circuit* (*Isc*), maka dengan perbandingan ini didapatkan

nilai *irradiant*. Berikut hasil yang didapat dari pengujian dengan *irradiant* sebesar 130 W/m^2 , 145 W/m^2 dan 250 W/m^2 . Pada *irradiant* 130 W/m^2 arus yang dihasilkan baik dengan dan tanpa menggunakan *current booster* masing-masing $0,46 \text{ A}$ dan $0,39 \text{ A}$. Arus yang dihasilkan adalah arus *steady* dan tidak memiliki arus *starting*, karena pada *irradiant* ini kondisi motor belum berputar.

Kondisi kedua yaitu pada saat *irradiant* sebesar 145 W/m^2 . Tanpa menggunakan *current booster*, kondisi motor belum berputar sehingga hanya didapatkan besarnya arus *steady* sebesar $0,4 \text{ A}$. Sedangkan dengan menggunakan *current booster*, motor mulai berputar. Besarnya arus dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



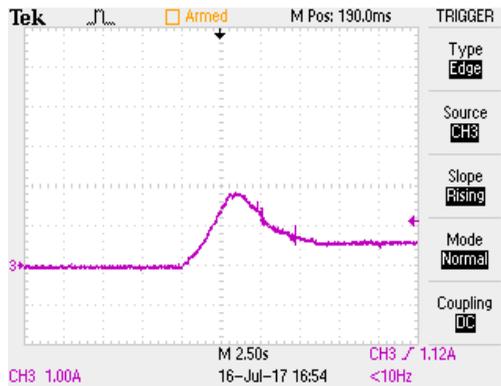
Gambar 4. 8 Arus *Starting Current Booster* dengan *Irradiant* 145 W/m^2



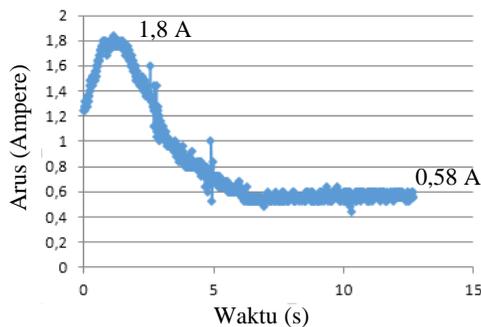
Gambar 4. 9 Ploting Grafik Arus *Starting Current Booster* dengan *Irradiant* 145 W/m^2

Dengan menggunakan osiloskop, maka bentuk dan besar arus *starting* dapat ditentukan sesuai pada gambar 4.8. Dalam tampilan layar osiloskop sebenarnya sudah dapat dilihat berapa besar arus *starting* yang dihasilkan rangkaian *current booster* pada *irradiant* 130 W/m². Untuk lebih akurat, dilakukan *ploting* yang ditunjukkan pada gambar 4.9. didapatkan besar arus *starting* 1,62 A dan arus *steady* 0,57 A.

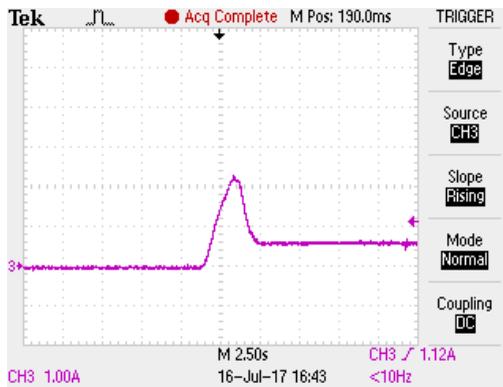
Selanjutnya dengan *irradiant* 250 W/m², rangkaian tanpa *current booster* mulai dapat berputar dengan arus *steady* sebesar 0,58 A dan arus *starting* sebesar 1,8 A. Sedangkan dengan *current booster* didapatkan besar arus *steady* dan *starting* masing-masing sebesar 0,6 A dan 2,16A.



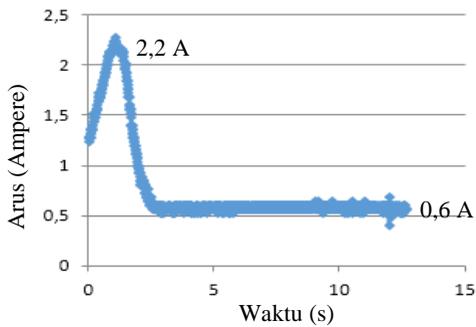
Gambar 4. 10 Arus Starting Tanpa *Current Booster* dengan *Irradiant* 250 W/m²



Gambar 4. 11 Ploting Grafik Arus *Starting* Tanpa *Current Booster* dengan *Irradiant* 145 W/m²



Gambar 4. 12 Arus *Starting Current Booster* dengan Irradiant 250 W/m²



Gambar 4. 13 Ploting Grafik Arus *Starting Current Booster* dengan Irradiant 250 W/m²

Tabel 4. 6 Irradiant startup sistem solar water pumping

Irradiant (W/m ²)	Tanpa Current Booster				Current Booster			
	Kondisi	V	Is	Ir	Kondisi	V	Is	Ir
130	X	71	0,39	-	X	71	0,46	-
145	X	72	0,4	-	v	71,5	0,57	1,6
250	v	75	0,58	1,8	v	73	0,6	2,2

Keterangan :

- (V) : Sistem mulai berjalan
- (X) : Sistem belum berjalan
- (Is) : Arus steady (Ampere)
- (Ir) : Arus starting (Ampere)
- (V) : Tegangan (Volt)



Gambar 4. 14 Sistem solar water pumping beban bohlam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan implementasi sistem solar water pumping dengan dan tanpa menggunakan current booster dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Efisiensi *tracking* PV yang dihasilkan dengan menggunakan rangkaian *current booster* sebesar 92,8%. Sedangkan tanpa rangkaian *current booster* hanya sebesar 53,57%.
2. Kecepatan putar motor DC *shunt* dengan menggunakan *current booster* akan meningkat sebesar 11,3 % dari kecepatan putar tanpa menggunakan *current booster*. Sehingga, jumlah debit yang dihasilkan juga semakin besar.
3. Dengan menggunakan rangkaian *current booster*, sistem *water pumping* akan mulai berjalan (*startup*) pada *irradiant* 145 W/m², Sedangkan untuk rangkaian tanpa *current booster* membutuhkan *irradiant* sebesar 250 W/m².
4. Dengan menggunakan rangkaian *current booster* waktu yang dibutuhkan untuk *startup* $\frac{1}{1,73}$ kali lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan rangkaian *current booster*.

5.2 Saran

Adapun saran pada tugas akhir ini yang dapat digunakan sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

1. Dalam implementasi, menggunakan sensor arus dan tegangan yang presisi agar daya MPPT dapat terlacak dengan tepat.
2. Menggunakan alat ukur yang sesuai dan beban pompa sehingga mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Melakukan analisa lebih lanjut mengenai *current booster* agar mendapatkan arus *starting* yang lebih tinggi sehingga mampu *startup* lebih cepat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhihiro Oi, "*Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System*" Thesis of Master of Science in Electrical Engineering, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2005.
- [2] Pranesh, K., "*Solar Tracking System using DC Gear Motor*", Journal on Applications of Information and Communication Engineering, February, 1(2), pp. 20-23, 2015
- [3] Chris Callahan, PE, "*Solar Water Pumping Basic*", Project of Agricultural Engineering, The University of Tennessee, 2013.
- [4] David S. Morales, "*Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic applications*" Thesis of Master of Science in Technology, Aalto University
- [5] Dwi Susetyo, Radi. "Desain dan Simulasi Boost Converter Empat Tingkat menggunakan MPPT untuk Aplikasi Solar Water Pumping". Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2015.
- [6] Radhakrishnan. Smrithi, "Linear Current Booster for Solar FED DC Pumps". IEEE, 2105
- [7] Stephen J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals", McGraw-Hill Companies, 2005.
- [8] Sri Utami H., ST, MT, "Bahan Ajar Pompa & Kompresor", 2014.
- [9] Sulzer Centrifugal Pump Handbook, Elsevier Science Publishers LTD, 1989.
- [10] Girdhar. Paresh, Moniz. Octo, "Practical Centrifugal Pumps", IDC Technologies, 2014.
- [11] Krause. Paul C, Waszynczuk. Oleg, Sudhoff. Scott D, "Analysis of Electric Machinery and Drive System" The Intitute of Electrical Engineer. Inc, 2002.
- [12] Ir. Yuriadi Kusuma M.Sc, "Modul 14 Audit Energi : Pompa dan Sistem Pemompaan", Pusat Pengembangan bahan Ajar, UMB.
- [13] Ashari, Mochamad."Sistem Konverter DC". Surabaya: ITS Press. 2012.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Coding arduino nano

```
int pwmPin = 9;
int vinPin = A6;
int iinPin = A1;
int val = 0;
int sensorValue = 0;
float holder = 0;
int sampling = 5000;
int iter= 5000;
double Iref;
double Vin;
double P;
//double Vout;
//double Iout;
float Iin=0.0, sample=0.0,Iavg=0.0,Iread=0.0;
//int atursetpoint;
float dutyx;
double Setpoint, Input, Output;
double Kp=5, Ki=0.005, Kd=0;//Kp=2, Ki=0.001, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd,
DIRECT);

void setup() {
  pinMode(pwmPin,OUTPUT);
  TCCR1A = _BV(COM1A1);
  TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
  ICR1 = 267;
  Serial.begin(9600);

  //initialize the variables we're linked to
  Input = analogRead(iinPin);
  Vin = analogRead(vinPin);

  //turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  myPID.SetOutputLimits(0,212);//212 = 80%, 187=70%
```

```

}
void loop() {
  for (int y=0;y<iter;y++){//100 sampel data
    Iin= analogRead(A1);
    sample = sample+Iin;
  }
  Iavg= sample/iter;
  sample = 0;
  Iread = ((Iavg*(5.0/1023.0))-2.50)/0.1*1.045;//2.5 offset, 0.1
  conversion to voltage
  Input = Iread;
  for (int s=0; s<sampling; s++) {
    int sensorValue = analogRead(vinPin);
    holder+=sensorValue;
  }
  int average = holder/sampling;
  // print out the value you read:
  float x = average;
  Vin = (x/1023)*120;
  P = Iread*Vin;
  //Vout = Vin/(1-
  //Iout = P/Vout
  //if (P>300)P=300;
  Iref = P/70.021;//P/104.895;//138.23
  Setpoint = ((Iref+2.5)/5*1023)*0.1/1.045;//798; //
  (312/1023)*400=798

  myPID.Compute();
  OCR1A = Output;
  holder = 0;
  //dutyx =(Output/ICR1)*100%;
  delayMicroseconds(100);
  Serial.print(Output);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("Vin =");
  Serial.print(Vin);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("I ref =");
  Serial.print(Iref);

```

```
Serial.print(" ");  
Serial.print("I read =");  
Serial.print(Iread);  
Serial.print(" ");  
Serial.print("P =");  
Serial.println(P);
```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Rizki Fadila Nur Setya, adalah penulis dari buku “**Desain dan Implementasi *Current Booster* menggunakan MPPT untuk Aplikasi *Solar Water Pumping*”**. Penulis akrab dipanggil Kiki lahir di Jombang 6 Agustus 1995. Penulis tinggal bersama keluarga di Kabupaten Jombang. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak Al-Ikhlas di Kecamatan Sumobito Jombang pada tahun 2001, pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 1 Talun Kidul Sumobito pada tahun 2007, pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Sumobito pada tahun 2010, pendidikan tingkat lanjut di SMA Negeri 2 Jombang pada tahun 2013 dan pendidikan tingkat tinggi di Jurusan Teknik Elektro FTE-ITS pada tahun 2017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi dan mengikuti perlombaan keilmiahan, seperti : Sekertaris Departemen Lingkar Kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Periode 2014/2016, Medali emas Pekan Keilmiahan Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke-28, Juara 1 PAPER COMPETITION ITS EXPO 2015, dan juara 2 CALL FOR PAPER Oceanovolution ITB 2016.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)